

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Öğütme Devresinin Simülasyonu: Ortaklar Bakır
Zenginleştirme Tesisi, Gaziantep/Türkiye

Mamadou Boye DIALLO

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Eylül, 2024

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAYI

Öğütme Devresinin Simülasyonu: Ortaklar Bakır
Zenginleştirme Tesisi, Gaziantep/Türkiye

Mamadou Boye DIALLO

Maden Mühendisliği Bölümü

Bu Yüksek Lisans Tezi 13 / 09 / 2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Değerlendirilmiş ve Oy Birliği / Oy Çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

Jüri : Prof. Dr. Oktay BAYAT
(Danışman)

.....

: Doç. Dr. Mahmut ALTINER

.....

: Doç. Dr. Onur GÜVEN

.....

Bu Tez Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanmıştır.
Tez No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No:

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, Tablo ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

ÖZ	i
ABSTRACT	ii
GENİŞLETMİŞ ÖZET	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİL LİSTESİ	V
ÇİZELGE LİSTESİ.....	VI
SIMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	VII
1. GİRİŞ	1
1.1. Ortaklar Bakır Madeni.....	1
1.1.1. Bölgenin Jeolojisi.....	1
1.2. Miryıldız Gaziantep Bakır Genel Akım Şeması	2
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. MATERYAL VE METOT	11
3.1. Materyal.....	11
3.2. Tesiste öğütme ünitesinde yapılan testler	11
3.3. Metot.....	12
3.4. Elek analizi yöntemi	12
3.5. METSIM.....	12
3.6. METSIM Kullanımı: Simülasyon Adımları	12
3.6.1. Proje Dosyasının Oluşturulması	12
3.6.2. Elementlerin ve Bileşenlerin Seçimi.....	13
3.6.3. Elek Analizi Verilerinin Girilmesi.....	15
3.6.4. Öğütme Makineleri ve Akış Şeması Çizimi.....	15
3.6.5. Makine Parametrelerinin Girişi.....	16
3.6.6. Besleme Girdisi ve Tane Boyutu Dağılımı	17
3.6.7. Etiketlerin ve Değer Fonksiyonlarının Girişi.....	18
Şekil 3.8. Etiketlerin ve Değer Fonksiyonlarının girişi ekranı.....	19
3.6.8. Birim Operasyonların Hesaplanması	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	21
4.1. Test 1–2.....	21
4.1.1. Tane boyutu dağılımı	21
4.2. Test 3.....	23
4.2.1. Tane boyutu dağılımı	23
4.3. Hidrosiklon seçimi.....	29
4.4. Simülasyon	30

4.5. Simülasyon-1	30
4.6. Simülasyon-2	31
4.7. Simülasyon-3	32
4.8. Modelleme	33
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	43
EKLER	45
Ek-1. Miryıldız Firması İzin Yazısı	47
Ek-2. Kimyasal Analizleri Sonuçları	48



Öğütme Devresinin Simülasyonu: Ortaklar Bakır Zenginleştirme Tesisi, Gaziantep/Türkiye

Mamadou Boye DIALLO

Danışman: Prof. Dr. Oktay BAYAT

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZ

Bu yüksek lisans çalışması kapsamında; Miryıldız Bakır Zenginleştirme Tesisindeki (Gaziantep, Türkiye) öğütme devresinin performansı simülasyon ve kütle denge analizleri ile değerlendirilmiştir. Tesise beslenmekte olan tüvanan cevherin, tesis tasarımı sırasında çalışılan cevherden tamamen farklı mineralojik ve kimyasal özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle mevcut akım şemasının, kullanılan cevherin zenginleştirilmesi için uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla üç farklı simülasyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Simülasyon için METSIM (Demo versiyonu) yazılımı kullanılmıştır. 70 t/s, 90 t/s ve 100 t/s besleme tonajlarında simülasyon yapılmıştır. 70 t/s besleme miktarında P80 değerinin 33,72 mm'den 0,036 mm'ye düştüğü ve flotasyon beslemesinin katı içerik oranının %35,27 olduğu tespit edilmiştir. 90 t/s besleme miktarında ise hidrosiklon üst akımına ait P80 değerinin 0,040 mm'ye düştüğü, katı içerik oranının ise %31,06 olarak korunduğu belirlenmiştir. Son olarak; tesis besleme tonajı 100 t/s seviyesine çıkarılmış ve hidrosiklon P80 değerinin 0,044 mm olduğu, flotasyon beslemesinin katı içerik oranının ise %32,39 olduğu görülmüştür. Kütle denge analizlerinde, Model-1 ve Model-2 üzerinden iki farklı öğütme devresi değerlendirilmiştir. Model-1'de, 70 t/s katı ve 26 t/s suyun SAG değirmenine beslenmesiyle %73 katı konsantrasyonuna sahip bir bulamaç elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda, dolaşım yük oranı %250 olarak belirlenmiş ve bypass oranının %34,66 olduğu tespit edilmiştir. Model-2'de ise, 95 t/s katı ve 49 t/s su beslenmesiyle %66 katı konsantrasyonu elde edilmiştir ve dolaşım yük oranı yine %250 olarak belirlenmiştir; bypass oranı ise %25,79 olarak hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçları, JKSimMet yazılımı kullanarak yapılan benzer simülasyon çalışmaları ile karşılaştırılmış ve iki simülasyon arasında yüksek bir tutarlılık tespit edilmiştir. Bu kapsamda yapılan simülasyonlar ve kütle denge analizleri, mevcut öğütme devresi koşullarını iyileştirmek ve daha sürdürülebilir bir cevher zenginleştirme sürecine geçiş yapılmasına yönelik değerli bilgiler sunmaktadır.

Anahtar Kelime: Öğütme devresi, simülasyon, optimizasyon, modelleme, kütle dengesi

Simulation Of Grinding Circuit: Ortaklar Copper Processing Plant, Gaziantep/Türkiye

Mamadou Boye DIALLO

Advisor: Prof. Dr. Oktay BAYAT

ABSTRACT

In this master's thesis, the performance of the grinding circuit at the Miryıldız Copper Processing Plant (Gaziantep, Türkiye) was evaluated through simulation and mass balance analyses. It was determined that the ore currently fed to the plant had completely different mineralogical and chemical properties compared to the ore studied during the plant's design phase. Therefore, three different simulation studies were conducted to determine whether the current flow sheet was suitable for the beneficiation of the ore being processed. The grinding circuit performance was simulated using METSIM (DEMO version) software. Simulations were conducted at three different feed tonnages: 70 t/h, 90 t/h, and 100 t/h. When the feed tonnage was set at 70 t/h, the P80 value was reduced from 33.72 mm to 0.036 mm, and the solid content of the flotation feed was found to be 35.27%. The P80 value of the hydrocyclone overflow was reduced to 0.040 mm, while the solid content was maintained at 31.06% when the feed tonnage was increased to 90 t/h. As a third simulation, the feed tonnage was raised to 100 t/h, and the P80 value of the hydrocyclone overflow was 0.044 mm, with the solid content of the flotation feed at 32.39%. In the mass balance analyses, two different grinding circuits were evaluated using Model-1 and Model-2. In Model-1, a slurry with a solid concentration of 73% was obtained by feeding 70 t/h of solids and 26 t/h of water to the SAG mill. As a result of this process, the recirculation load was determined to be 250%, and the bypass ratio was 34.66%. In Model-2, a solid concentration of 66% was obtained by feeding 95 t/h of solids and 49 t/h of water, with the recirculation load again determined to be 250% and the bypass ratio calculated as 25.79%. The simulation results were compared with similar studies using JKSImMet software, and a high consistency was found between the two simulations. These simulation and mass balance analyses provide valuable insights for improving current grinding circuit conditions and transitioning to a more sustainable beneficiation process.

Keywords: Grinding circuit, simulation, optimization, process modeling, mass balance

GENİŞLETMİŞ ÖZET

Bu çalışma, Miryıldız Bakır Zenginleştirme Tesisindeki öğütme devresinin performansını simülasyon ve kütle denge analizleri ile değerlendirmektedir. Tesise beslenmekte olan cevherin, tesisin tasarımı sırasında çalışılan cevherden farklı mineralojik ve kimyasal özelliklere sahip olması, mevcut akım şemasının uygunluğunun yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, mevcut cevherin işlenmesine uygun bir akım şeması geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2022 yılında, tesisin çeşitli noktalarından numune alımı (SAG değirmeni besleme konveyöründen, SAG değirmeni çıkışından, siklon alt akışından, siklon üst akışından ve bilyalı değirmen giriş ve çıkışı) gerçekleştirilmiş ve testler yapılmıştır. Tane boyut dağılımlarının tespiti için 31,500–4,000 mm boyut aralığındaki malzemelerde kuru elek analizi ve 4,000-0,025 mm aralığındaki malzemelerde ise yaş elek analizi yöntemi kullanılmıştır. Bu analizler, öğütme devresi performansını anlamak ve süreç iyileştirmelerine yön vermek için gerekli verileri sağlamıştır.

Çalışmada METSIM (DEMO versiyonu) yazılım kullanılarak üç farklı besleme tonajında (70 t/s, 90 t/s ve 100 t/s) simülasyon gerçekleştirilmiştir. İlk simülasyonda besleme tonajı 70 t/s olarak belirlenmiş ve sonuç olarak P80 değerinin 33,72 mm'den 0,036 mm'ye düştüğü ve flotasyon beslemesinin katı içerik oranının %35,27 olduğu tespit edilmiştir. İkinci simülasyonda besleme tonajı 90 t/s'ye artırılmış ve hidrosiklon üst akımına ait P80 değerinin 0,040 mm'ye düştüğü, katı içerik oranının ise %31,06 olarak korunduğu belirlenmiştir. Üçüncü simülasyonda ise besleme tonajı 100 t/s seviyesine çıkarılmış ve hidrosiklon P80 değeri 0,044 mm olarak tespit edilmiş, flotasyon beslemesinin katı içerik oranı %32,39 olmuştur.

Kütle denge analizlerinde, Model-1 ve Model-2 üzerinde iki farklı öğütme devresi değerlendirilmiştir. Model-1'de, 70 t/s katı ve 26 t/s suyun SAG değirmenine beslenmesiyle %73 katı konsantrasyonuna sahip bir bulamaç elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda, dolaşım yük oranı %250 ve bypass oranı %34,66 olarak belirlenmiştir. Model-2'de ise, 95 t/s katı ve 49 t/s su beslenmesiyle %66 katı konsantrasyonu elde edilmiş, dolaşım yük oranı %250, bypass oranı ise %25,79 olarak hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçları, Minova'nın (Ergün ve diğ., 2022) JKSImMet kullanarak yaptığı benzer çalışmalar ile karşılaştırılmış ve bulgularda yüksek bir benzerlik tespit edilmiştir. Bu simülasyonlar ve kütle denge analizleri, öğütme devresinin performansını iyileştirmeye ve daha sürdürülebilir bir cevher zenginleştirme sürecine katkı sağlamaya yönelik bilgiler sunmaktadır.

Elde edilen sonuçlar, öğütme ve flotasyon devrelerinin iyileştirilmesine yönelik somut öneriler sunmaktadır. Bu çalışmanın sonucunda, daha verimli ve sürdürülebilir bir işleme süreci hedeflenmiş olup, öğütme devresinin verimliliğini artırmaya yönelik stratejiler belirlenmiştir. Sonuç olarak, tesisin performansı iyileştirilmiş ve uzun vadede sürdürülebilirlik ile karlılık hedeflenmiştir.

TEŞEKKÜR

Sayın Prof. Dr. Oktay BAYAT'a, beni değerli akademik topluluğuna katılma ve bu Yüksek Lisans derecesini takip etme fırsatı verdiği için derin bir minnet duyuyorum. Onun paha biçilmez rehberliği ve kararlı desteği, bu araştırma çalışmasını şekillendirmede önemli olmuştur.

Ayrıca, tavsiye ve hoşgörülerini için Doç. Dr. Mahmut ALTINER'e ve Doç. Dr. Onur GÜVEN'e en derin şükranlarımı sunarım.

Miryildiz firması CEO'su Sayın Celal YILDIZ ve tüm ekibine, araştırmamı işleme tesislerinde gerçekleştirebilmem için nazikçe izin verdiği için içtenlikle teşekkür ederim. Benimle iş birliği yapan mühendisler ve yöneticilere, ayrıca Minova'daki özverili ekibe, Prof. Dr. Özgür ÖZCAN dâhil, anketlerle sağladıkları paha biçilmez yardımları için minnettarım.

Ayrıca, ayrı bir kapasitede uzmanlığı ve rehberliği için Doç. Dr. Namik AYDOĞAN'a da teşekkürlerimi sunmak isterim.

Sürekli teşvikleri ve kıymetli rehberliği rahmetli babam Mamadou Hassimiou'ya ve abim Bocar MAIGA'ya özel bir teşekkürü ifade etmek isterim.

Arkadaşlarım; Abdourahman Hassan Brahim Fariss, Aljali Ibrahim, ve Grema Omar Mohamed'a, dostluğu ve desteği için içten teşekkürlerimi iletmek isterim.

Son olarak, aileme kararlı teşvikleri ve desteği için en derin minnettarlığımı ifade etmek isterim. Onların varlığı ve duygusal desteği, başarımın temel taşı olmuştur.

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 Miryıldız Gaziantep bakır zenginleştirme tesisi genel akım şeması	4
Şekil 3.1 Proje dosyasının oluşturulması ve hesaplama parametrelerinin ayarlanması	13
Şekil 3.2 Elementlerin seçimi ekranı	14
Şekil 3.3 Bileşenlerin tanımlanması ekranı.....	14
Şekil 3.4 Elek analizi ekranı.....	15
Şekil 3.5 Öğütme makineleri ve akım şeması	16
Şekil 3.6 Makine parametrelerinin girişi ekranı.....	17
Şekil 4.1 Test-1 Tane boyut dağılımı grafiği	22
Şekil 4.2 Test-2 Tane boyut dağılımı grafiği	23
Şekil 4.3 Test-3 Elek analizleri grafikleri (Flotasyon besleme, Siklon besleme ve alt akım)	28
Şekil 4.4 Test-3 Elek analizleri grafikleri (Numune alınan tüm noktalardaki tane boyut dağılımları)...	29
Şekil 4.5 70 t/s Simülasyon 1	31
Şekil 4.6 90 t/s Simülasyon-2.....	31
Şekil 4.7 100 t/s Simülasyon-3.....	32
Şekil 4.8 90 t/s Minova Simülasyonu (Ergün ve diğ., 2022)	32
Şekil 4.9 Model-1 70 t/s katı besleme kütle dengliği hesaplaması	34
Şekil 4.10 Model-2 95 t/s katı besleme kütle dengliği hesaplaması	35

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 4.1 Test-1 Tane boyutu dağılımı.....	21
Çizelge 4.2 Test-2 Tane boyutu dağılımı.....	22
Çizelge 4.3 Test-3 Bant-2 (SAG Değirmen Besleme) tane boyu dağılımı.....	25
Çizelge 4.4 Test-3 SAG Değirmen çıkış tane boyu dağılımı	26
Çizelge 4.5 Test-3 Siklon besleme tane boyu dağılımı	26
Çizelge 4.6 Test-3 Siklon alt akışı (bilyalı değirmen beslemesi) tane boyu dağılımı	27
Çizelge 4.7 Test-3 Bilyalı çıkış tane boyu dağılımı	27
Çizelge 4.8 Test-3 Siklon üst akış (Flotasyon besleme) tane boyu dağılımı.....	28
Çizelge 4.9 Siklon seçimi için gerekli madde denkliği.....	29
Çizelge 4.10 Seçilen hidrosiklon bataryasının özellikleri.....	30
Çizelge 5.1 METSIM ile JKSİM (90 t/h ve 100 t/h) Flotasyon Besleme Tonajları Simülasyonlarının Karşılaştırılması	38

SIMGELER VE KISALTMALAR DIZINI

Axb:	Darbe kırma parametresi
MLA:	Mineral Serleşme Analizi
Mm:	milimetre
Mg/L:	Litre başına miligram
T/s:	ton başına saat
G/l:	Litre başına gram
Au:	Altın
Zn:	Çinko
Cu:	Bakır
Fe:	Demir
P80:	Devre ürününün %80 geçiş boyutu (μm)
F80:	Beslemenin %80 geçiş boyutu (μm)
KW:	Kilovat
KPa:	Kilo paskal
TPH:	Saat başına ton
SAG:	Yarı-Otojen öğütme
QA:	Kalite güvencesi
QC:	Kalite kontrol
μm :	Mikron
%:	Yüzde

1. GİRİŞ

Cevher zenginleştirme süreçlerinde öğütme devrelerinin optimizasyonu, verimliliği artırma, enerji tüketimini düşürme ve maliyetleri azaltma açısından kritik bir öneme sahiptir. Bu tez, Miryıldız Bakır Zenginleştirme Tesisindeki öğütme devresinin simülasyon ve kütle denge analizleriyle performansının değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Tesiste işlenen cevherin mineralojik ve kimyasal özelliklerinde yaşanan farklılıklar, mevcut akım şemasının uygunluğunun yeniden değerlendirilmesini zorunlu kılmıştır. Bu bağlamda, tesisin öğütme devresinin verimliliğini artırmaya yönelik iyileştirme önerileri geliştirilmiştir.

Öğütme devreleri, cevherin işlenmesi sırasında değerli minerallerin ekonomik olarak kurtarılmasını sağlamak için temel bir işlev görmektedir. Yüksek enerji tüketimi, değişken cevher özellikleri ve maliyetleri düşük tutma zorlukları bu devrelerin optimizasyonunda karşılaşılan temel zorluklardır. Cevher zenginleştirme tesislerinde, bu devrelerin verimli bir şekilde çalışması, işletme maliyetlerini ve çevresel etkiyi en aza indirerek, sürdürülebilir bir işleyişe katkı sağlamaktadır.

Bu çalışma, öğütme devresindeki performansı etkileyen faktörlerin incelenmesine odaklanmaktadır. Bunun yanında, çeşitli tonajlarda yapılan simülasyon çalışmalarıyla, akım şeması optimize edilmiştir. Farklı besleme tonajlarında yapılan üç ayrı simülasyonla, öğütme devresinin verimliliği ve P80 gibi parametrelerin etkisi değerlendirilmiş, öğütme devresinin optimizasyonu için somut veriler sağlanmıştır. Enerji tüketiminin optimize edilmesi ve öğütme verimliliğinin artırılması için öneriler geliştirilmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma, öğütme devresi performansının artırılmasına yönelik bir rehber niteliği taşımaktadır. Tesiste gerçekleştirilen numune alımları ve simülasyon çalışmalarıyla elde edilen sonuçlar, öğütme ve flotasyon süreçlerinde daha verimli ve sürdürülebilir bir işleyişin sağlanmasına yönelik önemli katkılar sunmaktadır. Tezde yer alan analizler, mevcut teknolojilerin ve metodolojilerin nasıl daha verimli kullanılabileceğini ve modern madencilik operasyonlarının gereksinimlerini karşılayacak sürdürülebilir stratejilerin nasıl geliştirilebileceğini göstermektedir.

1.1. Ortaklar Bakır Madeni

1.1.1. Bölgenin Jeolojisi

Ortaklar VMS yatağı, Neotetis'in güney kolunun kapanması sırasında gelişen Güneydoğu Anadolu Orojenik Kuşağı'nda yer alır. Bu bölgede, Üst Triyas-Geç Kretase yaşlı Koçali karmaşığı, Arap Platformu'nun üzerine tektonik olarak yerleşmiş ve transgresif çökellerle örtülmüştür. Cevherleşmeler, çamurtaşı, radyolaritler ve spilitik bazalt-yastık lavlar içinde merceğimsi ve tabakamsı şekillerde bulunur. Koçali Karmaşığı okyanusal kabuk kökenlidir ve çeşitli volkanik kayaçlar ile metal içeren sedimanlardan oluşur. Cevherleşmeler genellikle bindirme düzlemlerine uyumludur ve 10-100 metre kalınlığında, 1

kilometre uzunluğunda alterasyon zonları içerir. Cevherleşme, yüzeyde oksidasyon zonu ile başlar ve alt seviyelerde masif kalkopirit-sfalerit, manyetit ve pirit damarları içerir. Ortalama %45 Fe, %3 Cu ve 0,5 g/t Au içeren masif cevher, yaklaşık 1,5 milyon ton rezerv ile ekonomik açıdan önemlidir. Mineral parajenezi, iki evreli bir cevher oluşumunu gösterir; ilk evrede pirit, kalkopirit ve sfalerit, ikinci evrede ise oksijen fugasitesi ve pH'ın artmasıyla manyetit ve hematit oluşmuştur. Cevherleşmenin jeokimyasal verileri, Kıbrıs tipi VMS yatakları ile benzerlikler göstermektedir. Tetis kenet zonu boyunca Türkiye'deki Koçali Karmaşığı'ndaki cevherleşmeler, Kıbrıs, İran ve Umman'da bulunan VMS yatakları ile ilişkilidir. Ortaklar VMS yatağı, yüksek manyetit içeriği ile diğer yataklardan ayrılmaktadır (Yıldırım ve ark., 2014)

1.2. Miryıldız Gaziantep Bakır Genel Akım Şeması

Gaziantep Bakır Zenginleştirme Tesisine beslenen tüvanan cevher, Yıldız 1 ve Yıldız 2 galerilerinden çıkarılmaktadır. Öncelikle, çıkarılan tüvanan cevherin mineralojik ve kimyasal analizleri yapılarak içeriği ve tenörü belirlenir. Bu analiz sonuçlarına göre, cevher stoklanır ve cevherin yapısına bağlı olarak oksitli cevher, ikincil yapıdaki bakır cevheri ve "yellow ore" olarak adlandırılan sorunsuz cevher şeklinde sınıflandırılır. Tesiste flotasyon devresinde sorun teşkil eden oksitli cevher stokları, yapılan kimyasal analizler doğrultusunda tespit edilmiştir. Bu sorunu çözmek amacıyla laboratuvarında çeşitli deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş; mineralojik ve kimyasal analizler ışığında fiziksel yıkamanın oksitli cevher stokları üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.

Cevher işleme süreci, bunkerden apron besleyici yardımıyla acil besleme bunkerine yönlendirilir ve buradan Apron-2 aracılığıyla Konveyör Bant'a aktarılır. Konveyör bant 2, malzemeyi Yarı Otojen Değirmen'e (SAG) besler. SAG değirmeninde, pirit mineralini bastırmak ve pH'ı artırmak amacıyla kireç eklenir. Yarı Otojen değirmen çıkışı, pompa yardımıyla 4'lü siklon bataryasına taşınır. Siklonların alt akışı, bilyalı değirmen beslemesi olarak kullanılır ve bilyalı değirmen çıkışı, kapalı devre olarak yeniden siklonlara gönderilir. Siklon üst akışı ise flotasyon devresine beslenir.

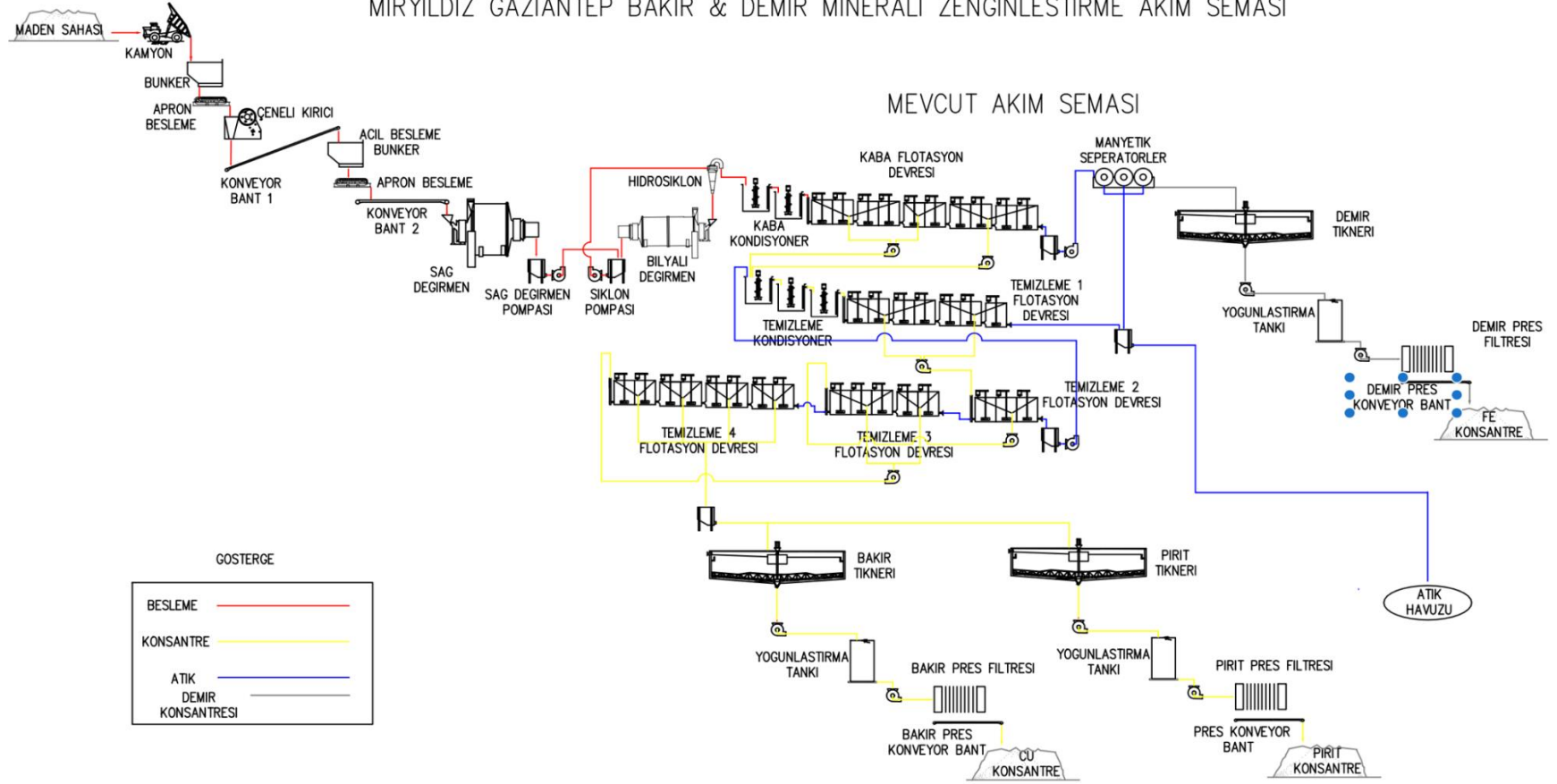
Flotasyon devresinde ilk olarak malzeme, 2x15 m³'lük kondisyoner tanklarına beslenir. Burada, 1. kondisyonere Aerophine 3418A toplayıcı kimyasalı, besleme tenörü ve saatlik tonajına göre dozlanır. 2. kondisyonerin çıkışına ise M41 köpürtücü kimyasalı eklenir. Pulp daha sonra 10x10 m³'lük kaba flotasyon ünitesine aktarılır. Kaba flotasyon ünitesinin konsantresi, köpük pompaları yardımıyla 3x10 m³'lük Temizleme Kondisyonerine, ardından 7x10 m³'lük Temizleme-1 ünitesine taşınır. Kaba flotasyon ünitesinin atığı, 4 adet manyetik separatöre beslenir. Manyetik separatörlerin konsantresi, yer çekimi yardımıyla pirit tiknerine akar; atık ise nihai atık olarak atık tankına ve oradan da atık barajına gönderilir.

Temizleme-1 flotasyon ünitesinin konsantresi, köpük pompaları yardımıyla 5x3 m³'lük Temizleme-2 ünitesine beslenir. Temizleme-1'in atığı, kaba atıkla birleşerek manyetik separatörlere yönlendirilir. Temizleme-2'nin konsantresi, zenginleştirme sürecinin son aşaması olan 8x1.2 m³'lük Temizleme-3

flotasyon devresine aktarılır. Temizleme-2'nin atığı ise Temizleme-1 devresine geri döner. Temizleme-3 ünitesinin konsantresi, Temizleme-4 devresine yönlendirilir ve burada nihai konsantre olarak bakır tiknerine basılır. Bakır tiknerinde flokülant kullanılarak çözeltideki bakır çöktürülür ve tiknerin alt akışı pres filtreye gönderilir. Ortalama %13 nem oranıyla yaklaşık 150 ton ve %14 Cu tenörlü bakır konsantresi elde edilir (Şekil 1.1).



MIRYILDIZ GAZİANTEP BAKIR & DEMİR MINERALİ ZENGİNLEŞTİRME AKIM SEMASI



Şekil 1.1. Miryıldız Gaziantep bakır zenginleştirme tesisi genel akım şeması

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Wikedzi (2018), Buzwagi Altın Madeni (BGM) de devre incelemeleri, laboratuvar deneyleri ve simülasyonlar aracılığıyla öğütme devresinin performansını değerlendirmiş ve optimize etmiştir. Üç örnekleme gerçekleştirilmiş ve devredeki kilit noktalarda tane boyu dağılımları ve katı içerikleri belirlenmiştir. Çalışma, cevher öğütülebilirliği ve kırılma parametrelerini belirlemek amacıyla standart Bond testleri, tane boyu dağılımı testleri ve mineral serbestleşme analizleri gibi çeşitli kırılma testlerini içermektedir. Bir kütle dengesi hesaplanmış ve değirmenler, elekler ve hidrosiklonlar için modeller MODSIM yazılımında kullanılmıştır. Çalışma, mevcut tesisi optimize etmek için SAG elek açıklığının azaltılması, siklon besleme katı içeriğinin ayarlanması ve vortex ile apex çaplarının küçültülmesi gibi seçenekleri araştırmıştır. Ayrıca, devre modifikasyonları da simüle edilmiştir; bunlar arasında siklon alt akışının kısmen SAG değirmenine geri döndürülmesi, ikinci bir sınıflandırma aşamasının eklenmesi ve ikinci bir bilyalı değirmenin eklenmesi bulunmaktadır. Wikedzi (2018), mevcut cevher için Bond iş indeksinin 17,20 ila 18,70 kWh/t arasında olduğunu ve tesis tasarımı sırasında tahmin edilen 14,50-16,50 kWh/t değerlerinden daha yüksek olduğunu bulmuştur, bu da cevher sertliğinin son yedi yılda arttığını göstermektedir. Cevher sertliğinin periyodik olarak gözden geçirilmesi, daha iyi harmanların oluşturulması ve uygun tonajların tahmin edilmesi için önerilmektedir. Cevher harmanlarının iş indeksleri ile kuvars içerikleri arasında güçlü bir doğrusal ilişki ($R^2=0,95$) bulunmuş ve bu, sertlik değişimlerinin izlenmesi için bir araç sağlamıştır. Mineral serbestleşme çalışmaları, değerli fazın daha kaba boyutlarda (200-400 μm) serbestleşebileceğini göstermiştir, bu da gravite devresinin verimliliğinde bir sorun olmadığını göstermektedir. Ancak, flotasyon ve siyanürleme işlemleri için daha ince bir besleme gereklidir. Bond verimlilik faktörleri (%48-61) öğütme devresinin verimsiz çalıştığını göstermiştir ve bu durum, besleme boyutu kontrolü ve harmanlama oranlarının iyileştirilmesini gerektirmektedir. Bilyalı değirmen devresi, değirmen çıkışında <125 μm fraksiyonunun düşük olması ve hidrosiklon performansının zayıf olması nedeniyle kötü öğütme verimliliği göstermiştir. Simülasyonlar, çalışma koşullarının değiştirilmesiyle 327 μm ürün inceliğinin elde edilebileceğini göstermiş, ancak mevcut ekipmanla hedeflenen $P_{80}=125$ μm ürün inceliğine ulaşamamıştır. İkinci bir bilyalı değirmenin eklenmesi, istenen incelik ve artan işleme kapasitesi sağlayabilir, ancak bu seçenek maliyet yoğun olup uzun vadeli çözümler için uygundur. Sonuç olarak, Wikedzi mevcut tasarımın optimize edilmesinin, BGM operasyonlarını kısa vadede iyileştirebileceğini, hidrosiklon performansını artırabileceğini ve aşağı akış süreçlerinin verimliliğine katkıda bulunabileceğini önermiştir.

Kawatra, Eisele, Weldum, Larsen, Mariani ve Pletka tarafından yürütülen bu çalışma, birincil ve ikincil öğütme değirmenleri arasındaki kapasite dengesizliklerini gidermek amacıyla gerçekleştirilmiştir (Kawatra ve diğ., 2005). Önceki çeyreklerde gerçekleştirilen örnekleme sonuçları, birincil öğütme

değirmenlerinin kapasitenin altında çalıştığını ve genel öğütme devresi kapasitesinin ikincil öğütme değirmenleri tarafından sınırlandırıldığını ortaya koymuştur. Bu durum, devreye yapılan ve birincil kırma aşamasının etkinliğini artıran değişikliklerin bir sonucudur. Devre kapasitesini artırmak için önerilen potansiyel yaklaşımlardan biri, birincil öğütme değirmeni tarafından gerçekleştirilen öğütme miktarını artırmaktır. Bu amaçla, ikincil değirmen beslemesinin daha kaba fraksiyonlarını ayırmak ve bunları birincil değirmene geri göndermek için bir ekran kullanmanın pratik olup olmayacağı incelenmiştir. Araştırma kapsamında örnekleme sonuçları dikkatle analiz edilmiştir. İlk olarak, ikincil değirmen beslemesindeki daha kaba fraksiyonların ayrılması ve bu fraksiyonların birincil değirmene geri gönderilmesi, iki önemli fayda sağlayacağı öngörülmüştür: (1) öğütme yükü birincil ve ikincil değirmenler arasında daha eşit şekilde dağıtılarak, ikincil değirmenlerin kapasitede sınırlayıcı faktör olmaktan çıkması ve (2) cevherin daha büyük bir fraksiyonunun ikincil değirmenden geçmeden tamamen öğütülüp serbest bırakılması, böylece aşırı öğütme miktarının azaltılması. Ek olarak, kilitli parçacıklardan oluştuğu tahmin edilen daha kaba kobber konsantresi fraksiyonunun yeniden öğütülmesi ve tekrar kobber devresinden geçirilmesi, çakıl değirmenine ulaşmadan önce daha fazla gang materyalinin reddedilmesini artıracaktır. Toplanan verilerin detaylı analizi, birincil ve ikincil değirmenler arasında öğütme enerjisinin dağılımında bir dengesizlik olduğunu göstermiştir. Bu dengesizlik, genel devre kapasitesinin ikincil değirmen kapasitesi tarafından kısıtlanmasına yol açmıştır. Devrenin çeşitli bölümlerindeki malzeme boyut dağılımlarına dayanarak, kobber konsantresinin bir kısmının elenmesi ve kaba fraksiyonun birincil değirmene geri gönderilmesi önerilmiştir. Bu yaklaşım, öğütme yükünü ikincil değirmenlerden birincil değirmenlere kaydırarak genel devre kapasitesini artıracak; gang minerallerinin daha büyük bir fraksiyonunu ikincil değirmene ulaşmadan önce serbest bırakarak ve reddederek, aşırı öğütme fırsatını azaltacak ve cevherin daha büyük bir fraksiyonunun yeterince öğütülmesini sağlayarak ikincil değirmeni tamamen bypass etmesine olanak tanıyacaktır.

Lestage ve diğerleri (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışma, durağan durum doğrusal programlama gözetim kontrolü kullanarak bir öğütme devresinin kısıtlanmış gerçek zamanlı optimizasyonunu incelemektedir. Bu çalışmada, işlem dinamiklerini modelleyen doğrusal bir programlama (LP) yöntemi kullanılarak, işlem kısıtlamaları dahilinde optimum kontrol set noktalarını belirlemek için çevrim içi bir optimizasyon yapılmıştır. Araştırmacılar, devre yükü, pompa kutusu seviyesi ve hidrosiklon taşma ve alt akış yoğunlukları üzerindeki kısıtlamaları dikkate alarak devre verimini maksimize edecek set noktalarını seçmişlerdir.

Lestage ve arkadaşları, optimizasyonun ilk seviyesini, prosesin tasarım aşamasında akış şeması konfigürasyonunun ve ekipman boyutunun seçimi olarak belirlemiştir. Bu aşamada amaç, metalurjik spesifikasyonları karşılayarak yatırım ve işletme maliyetlerini en aza indirirken, sistemin güvenilirliğini, esnekliğini ve genişletilebilirliğini maksimize etmektir. İkinci optimizasyon seviyesi, değirmen RPM,

öğütme ortamı yükü ve sınıflandırıcı ayarlarının (hidrosiklon sayısı, vortex bulucu ve apex çapları gibi) optimal ayarlanmasını içerir. Bu aşamada hedef, sonraki ayırma işleminin ekonomik performansını iyileştirecek bir partikül boyut dağılımı, çamur yoğunluğu ve üretim kapasitesi oluşturmaktır, genellikle net eritme getirisi (NSR) ile ölçülür. Araştırmacılar, üçüncü seviyede, besleme hızı, çamur yoğunlukları, ürünün partikül boyutu dağılımı ve dolaşım yükü gibi işletme ayar noktalarının optimizasyonunu gerçekleştirmiştir. Bu aşamada amaç, ürünü hedeflenen incelikte tutarken verimi maksimize etmektir. En alt seviyede ise, optimal kontrol gerçekleştirilmiş ve bu, süreci ayar noktasında tutarken sapmaları ve kontrol hareketlerinin genliğini en aza indiren bir performans kriteri ile ölçülmüştür. Lestage ve ekibi, bu çalışmada önerilen RTO şemasının doğrusal programlama (LP) tekniğine dayandığını belirtmişlerdir. Bu yöntemi çeşitli proseslere başarıyla uygulamışlardır. Öğütme sürecinin durağan kısmı nominal işletme koşulları etrafında doğrusal hale getirilmiş ve böylece LP yönteminin eşitlik ve eşitsizlik kısıtlarına tabi olarak doğrusal bir verimlilik kriterini maksimize etmesi sağlanmıştır. Araştırma kapsamında, önerilen modelin doğruluğunu ve güvenilirliğini test etmek için tipik bir çubuk değirmen-bilyalı değirmen öğütme devresi kullanılmıştır. Bu devrede, cevher doğrudan çubuk değirmenine beslenmiş ve çubuk değirmeni çıkışı bir pompa kutusuna boşaltılmıştır. Pompa, hidrosiklon sınıflandırıcılar grubunu beslemiş ve hidrosiklon taşması flotasyon aşamasına yönlendirilmiştir. Hidrosiklon alt akış ürünü, bilyalı değirmende yeniden öğütüldükten sonra pompa kutusuna geri dönmüştür. Çoğu mineral işleme tesisi, sabit bir incelikte maksimum üretim hedefini benimsemekte ve pratikte, tonaj kısıtlamalarla karşılaşılana kadar artırılmaktadır. Simüle edilmiş bir cevher öğütme devresine yapılan uygulama, bu optimizasyon şemasının, ürün inceliğini sabit bir ayar noktasında tutarken, devre yükü, taşma yoğunluğu ve pompa kutusu seviyesi gibi kısıtlamaları ihlal etmeden verimi maksimize etmek için etkili olduğunu göstermiştir. Simülatör, çeşitli tesis verileri üzerinde doğrulanmış ve cevher öğütülebilirlik varyasyonları gibi gerçekçi dalgalanmaları taklit edebildiği için, stratejinin gerçek tesislere uygulanabilir olduğu düşünülmektedir. Ancak, her stratejide olduğu gibi, transfer matrisinin doğru bir şekilde tanımlanması ve çok anormal işletme koşulları için manuel ayar noktası kontrolüne geri dönmek üzere bazı güvenlik özelliklerinin uygulanması gerekmektedir (Lestage ve diğ., 2002). Bu çalışma, mineral işleme tesislerinde öğütme devresi optimizasyonunun doğrusal programlama teknikleri kullanılarak nasıl gerçekleştirilebileceğine dair kapsamlı bir örnek sunmaktadır.

Altun (2018) tarafından yapılan bu çalışma, yaş çalışan bir öğütme devresinde kalkopirit, sfalerit ve pirit minerallerinin öğütülmesi üzerine yapılan simülasyon çalışmalarının sonuçlarını sunmaktadır. Araştırmada, iki bilyalı değirmen ve bir siklon bataryası bulunan bir tesisten alınan numuneler üzerinde boyut dağılımı ve kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonrasında, devreye ait kütle denklemleri kurulmuş ve ekipmanlara ilişkin model yapıları geliştirilmiştir. Altun, farklı simülasyon senaryoları üzerinde durarak, bu model yapıları kullanmıştır. İlk olarak, birincil bilyalı değirmenin

Çalışma katı oranı ve hidrosiklonun apex ve vortex parametreleri değiştirilmiştir. Bu değişikliklerle, besleme kuru tonajının 172,5 t/s'dan sırasıyla %10 ve %13 artışla 190 t/s ve 195 t/s'ya çıkarılması hedeflenmiştir. Bilgisayar ortamında yapılan hesaplamalar sonucunda, ikinci alternatif seçilmiş ve tonaj değeri fiilen 195 t/s'ya çıkarılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'de bulunan ve kalkopirit, sfalerit, pirit minerallerinin tldğ bir tesiste simülasyon tekniklerini kullanarak devre üretim miktarını artırmak ve buna bağlı olarak tesisin enerji tüketimini azaltmaktır. Altun, enerji kaynaklarının etkin kullanımının ülkenin gayri safi milli hasılasına katkıda bulunacağını ve öz kaynakların daha verimli kullanılmasını sağlayacağını vurgulamaktadır. Bu nedenle simülasyon çalışmalarının önemini artırmaktadır. Çalışmada iki farklı devre simülasyon senaryosu üzerinde durulmuştur. İlk senaryoda, birincil değirmenin çalışma katı oranı %72'den %80'e çıkarılmış ve hidrosiklon basıncı 102 kPa'dan 120 kPa'ya artırılmıştır. Simülasyon sonuçları, hidrosiklon st akış hızı değerlerine göre devre katı üretim tonajının %9,4 artışla 167,1 t/s'dan 182,8 t/s'ya çıktığını göstermiştir. Altun, değirmenlerin g tüketiminin fazla değişmeyeceği varsayıldığında, devre özgül enerji tüketiminde %8,6'lık bir enerji tasarrufu sağlanabileceğini öngörmektedir. İkinci senaryoda, hidrosiklonun apex ve vortex çaplarında yapılan değişikliklerle devre üretim miktarının artırılması amaçlanmıştır. İlk senaryodaki gibi, birincil değirmen katı oranı %80 olarak hesaplanmıştır. alışmalar sonucunda, hidrosiklon st akış kolu değerlendirildiğinde tüm devre üretim miktarında %11,8'lik bir artış sağlandığı grlmştir. Değirmenlerin g tüketimlerinin yeni koşullar altında değişmediği varsayıldığında, devre özgül enerji tüketiminde %10,6'lık bir azalma sağlanabileceği öngörülmektedir. Altun, bu bulguların tesis koşullarının daha uygun bir şekilde belirlenmesi ve tesisin daha ekonomik işletilmesi açısından önemli olduğunu belirtmiştir.

MINOVA danışmanlık firması adına gerçekleştirdiği çeşitli alışmalar (Ergün ve diğ., 2022), öğütme ve zenginleştirme devrelerinin optimizasyonuna yönelik önemli bulgular sunmuştur. Bu çalışmalardan biri, bu devrelerden alınan örneklerin katı içeriğini analiz etmiştir. Çalışmada, tesis beslemesindeki nem içeriğinin %5.31 olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca, SAG değirmeni ve bilyalı değirmen çıkışlarındaki katı içerik sırasıyla %67.36 ve %72.05 olarak llmştir. Siklon bataryası çevresinde, siklon besleme katı içeriği %59.24, alt akış katı içeriği %75.52 ve st akış katı içeriği %28.36 olarak belirlenmiştir. Araştırmacılar, ğtme ve zenginleştirme devrelerinden toplanan tüm örneklerin partikül boyut dağılımlarını da incelemişlerdir. 25 m'ye kadar olan değerler için ıslak elek analizi ve 9 m'ye kadar olan alt boyut fraksiyonları için Warman Cyclosizer kullanarak partikül boyut dağılımlarını belirlemişlerdir. Ölçülen P80 değerleri, yani malzemenin %80'inin geçtiği partikül boyutu, sonraki tablolarda sunulmuştur. Çalışmada, tesis beslemesinin yaklaşık %80'inin 34 mm'den daha ince olduğu, devrede siklon besleme akışının %80'inin 102 m'den, alt akışın %80'inin 126 m'den ve st akışın %80'inin 44 m'den daha ince olduğu tespit edilmiştir. alışmalarında, tesis beslemesinin Axb değerini

258,89 olarak ölçmüşlerdir; bu değer, cevherin çok yumuşak ve kolayca öğütülebilir olduğunu, JKMRC veri tabanındaki en yumuşak cevhere karşılık geldiğini göstermektedir. Buna karşılık, 12,38 kWh/ton olan Bond bilyalı değirmen iş indeksi, cevherin bilyalı değirmen açısından orta sertlikte olduğunu göstermektedir. Öğütme devresi etrafında yapılan kütle dengliği çalışmaları sonucunda, akış değerleri bulgularında sunulmuştur. Numune alma sırasında tesis kapasitesi 60 t/s olarak kaydedilmiştir. Devredeki besleme tonajı yaklaşık olarak 274 t/s olarak hesaplanmış ve siklon beslemesinin yaklaşık %55'inin katı maddeden oluştuğu belirlenmiştir. Ayrıca, siklon beslemesinin %80'inin 103 μ m'den daha ince partiküllerden oluştuğu tespit edilmiştir. Simülasyon ve optimizasyon tekniklerini kullanarak, bir devrenin sürekli durum performansını cevher özellikleri, ekipman spesifikasyonları ve işletme koşullarının fonksiyonları olarak tahmin etmişlerdir. Bu, akış hızı, katı içerik ve partikül boyut dağılımı gibi akış özelliklerini içermektedir. Laboratuvar testleri ile besleme malzemesinin karakterizasyonunu yapmışlar, sahada yapılan örnekleme ile ekipman parametrelerini tahmin etmişler ve akış şeması değişiklikleri ile simülasyonlar çalıştırarak optimizasyon kriterlerine ulaşmaya çalışmışlardır. SAG değirmeni için "Değişken Hızlı AG/SAG Değirmen modeli," bilyalı değirmen için "Mükemmel Karıştırma Bilyalı Değirmen modeli" ve siklon kümesi için "Whiten Verimlilik Eğrisi" siklon modelini uygulamışlardır. Amaçları, örnekleme sırasında gözlemlenen koşulları en iyi şekilde yeniden oluşturmaktır. İlk simülasyonda, bilyalı değirmendeki bilye boyutunu 50 mm'den 30 mm'ye düşürerek daha ince bir ürün boyutu hedeflemişlerdir. Bu değişikliklerle, P80 değeri 32 μ m'den 25 μ m'ye düşürülmüştür. Başka bir simülasyonda, SAG değirmeni besleme katı içeriği %67'den %75'e yükseltilmiş ve bilyalı değirmen beslemesine su ilavesi azaltılmıştır, bu da oradaki katı içeriğinin hafifçe artmasına neden olmuştur. Bu ayarlamalar, devre çevresindeki akış değerlerini optimize etmeyi amaçlamıştır. Farklı kapasite senaryoları altında, tesis kapasitesinin 60 t/s'den çeşitli hedeflere (80 t/s, 90 t/s, 100 t/s) artırılması simüle edilerek, bu artışların akış değerleri ve nihai ürün inceliği üzerindeki etkileri tahmin edilmiştir. Örneğin, Simülasyon 4 koşulları altında, cevher yoğunluğu 4 g/cm³ olarak alınarak yeni koşullarda tahmini akış değerleri ve ürün inceliği belirlenmiştir. İstenen üretim artışlarını sağlamak için birkaç pratik iyileştirme yapılmıştır. Örneğin, 4'lü siklon bataryasının apex çapı 50 mm'den 40 mm'ye düşürülmüş ve kapasiteyi artırmak için 250 mm çapında siklonlara sahip ikincil bir 3'lü siklon bataryası seri olarak monte edilmiştir. Siklon yoğunluklarının optimize edilmesi, bypass değerlerini çalışabilir seviyelere düşürmüştür. Mineralojisi ve tenörüne göre yapılan cevher stoklaması tonaj artışına önemli katkı sağlamıştır. Öğütme ve sınıflandırma devresi etrafındaki yoğunlukların literatüre uygun hale getirilmesi de tonaj artırımına yardımcı olmuştur.



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılacak malzemeler, cevher zenginleştirme tesisindeki belirli noktalardan (SAG değirmeni besleme konveyöründen, SAG değirmeni çıkış, siklon alt akışından, siklon üst akışından ve bilyalı değirmen giriş ve çıkış) elde edilen numunelerdir. Malzemenin ortalama özgül ağırlığı $3,97 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir.

Tesisteki öğütme devresi, bir SAG değirmeni ve bir bilyalı değirmen içermektedir. Değirmenlerin çıkışları birleştirilerek siklon'a beslenir. Siklonun ince ürünü flotasyon devresine besleme olarak giderken, siklonun alt akışı bilyalı değirmene geri döner. Bu düzenleme, öğütme devresinin etkinliğini artırmak ve mineral geri kazanımını optimize etmek amacıyla tasarlanmıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında, bu örnekler üzerinde çeşitli analizler yapılacak ve elde edilen veriler kullanarak öğütme ve zenginleştirme süreçlerinin optimizasyonu sağlanacaktır. Elde edilen bulgular, cevher zenginleştirme sürecinde kullanılacak olan modelleme ve simülasyon çalışmalarına da katkı sağlayacaktır. Bu şekilde, malzeme özelliklerinin ve proses parametrelerinin etkin bir şekilde değerlendirilmesi ve optimize edilmesi mümkün olacaktır.

3.2. Tesiste öğütme ünitesinde yapılan testler

Örnekleme öncesinde, numune alma süresi, gerekli sayıda numune kesitinin toplanmasını sağlamak ve devre performansında dramatik değişiklikler olasılığını en aza indirmek için yaklaşık bir saat olarak belirlenmiştir. SAG değirmenlerinde cevherin öğütülebilirliği, drop weigh test yöntemi kullanılarak belirlenmiş ve kolayca öğütülebilir olduğu bulunmuştur (Ergün ve diğ., 2022). Bu tür cevherler için, hidrosiklonlarla kapalı devre çalışan SAG değirmen uygulamaları başarılı sonuçlar vermektedir. Ancak, mevcut değirmenin en-boy oranı bu uygulamaya izin vermemektedir. Bu durum, tesisteki ekipmanın bazı sınırlamalarına işaret etmektedir. SAG değirmende cevherin öğütülebilirliği, JK veri tabanındaki en yumuşak cevhere karşılık gelmektedir (Ergün ve diğ., 2022). Bu hem darbe hem de kendi kendine aşınma kırılmasına uygulanabilir. Bu nedenle, yatağın diğer kısımlarında da testler yapılması şiddetle tavsiye edilir, çünkü cevherdeki önemli değişiklikler bu senaryoları değiştirebilir. Cevherin homojen olmadığı durumlarda, farklı bölgelerde yapılan testler, süreç optimizasyonu için daha sağlıklı veriler sağlayacaktır. Tesiste potansiyel kapasite artışı durumunda, yarı öz bağlantılı bir değirmenin kullanılmasında herhangi bir sorun öngörülmemektedir. Bununla birlikte, mevcut ekipman ve süreçlerin optimize edilmesi, daha yüksek verimlilik ve kapasite artışı için gerekli adımların belirlenmesi açısından önemlidir. Bu çalışma, öğütme devresinin etkin bir şekilde izlenmesi ve kontrol edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Süreç değişkenlerinin dikkatle izlenmesi ve stabil operasyon

koşullarının sağlanması, elde edilen verilerin güvenilirliği açısından kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, örnekleme ve izleme prosedürlerinin titizlikle uygulanması, araştırmanın başarısı için hayati önem taşımaktadır.

3.3. Metot

3.4. Elek analizi yöntemi

Tesiste mevcut durumun tespiti amacı ile 2022 yılının haziran ayında 2 ayrı tarihte farklı noktalardan numune alımı (SAG değirmeni besleme konveyöründen, SAG değirmeni çıkış, siklon alt akışından, siklon üst akışından ve bilyalı değirmen giriş ve çıkış) gerçekleştirilmiş ve bu örneklerin tane boyut dağılımları tespit edilmiştir. Tane boyut dağılımında 31,500–4,000 mm arası kuru elek analizi yöntemi kullanılmıştır. 4,000-0,025 mm tane aralığındaki malzemenin elek analizinde ise yaş elek analiz yöntemi kullanılmıştır. Eleme işlemi her elek aralığında 3 dk olacak şekilde elek makinesi kullanılarak yapılmıştır.

3.5. METSIM

METSIM bilgisayar programı (software); özellikle madencilik, malzeme taşıma ve metalurji gibi çeşitli endüstriyel süreçlerin simülasyonunda yaygın olarak kullanılan, lider bir süreç modelleme yazılımıdır. Kütle dengesi ve flotasyon, liç, elektro-kazanım gibi temel birim operasyonlarını yüksek doğrulukla simüle edebilmesiyle tanınır. Yazılım, mineral işleme için temel modül ve kırma, öğütme ve sınıflandırma süreçlerinin simülasyonu için özel olarak tasarlanmış *Öğütme Modülü* gibi çeşitli uzmanlaşmış modüller sunar.

Bu çalışmada METSIM 2017.09 Demo versiyonu, öğütme devresinin simülasyonu için kullanılmıştır ve doğruluk ile operasyonel verimliliğin sağlanmasına katkıda bulunmuştur. Simülasyonun adım adım detayları metot bölümünde sunulmuştur.

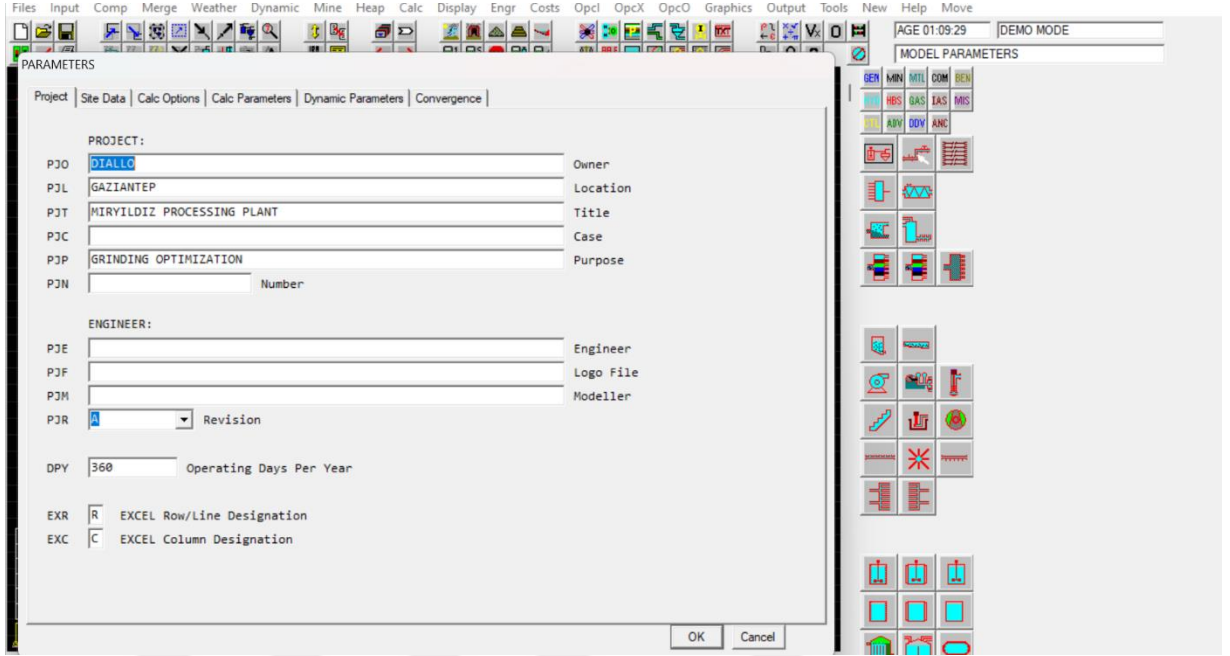
3.6. METSIM Kullanımı: Simülasyon Adımları

Aşağıda, METSIM kullanılarak gerçekleştirilen simülasyon adımları detaylı bir şekilde sunulmuştur.

3.6.1. Proje Dosyasının Oluşturulması

METSIM'de simülasyon başlatmadan önce, yeni bir proje dosyası oluşturulmuştur (Şekil 3.1). Bu dosya, öğütme sürecinin optimizasyonu için gerekli verilerin girileceği çalışma alanını sağlamaktadır. Proje parametreleri, yer ve başlık gibi bilgileri içerir. Ayrıca, hesaplama parametreleri ve hesaplama

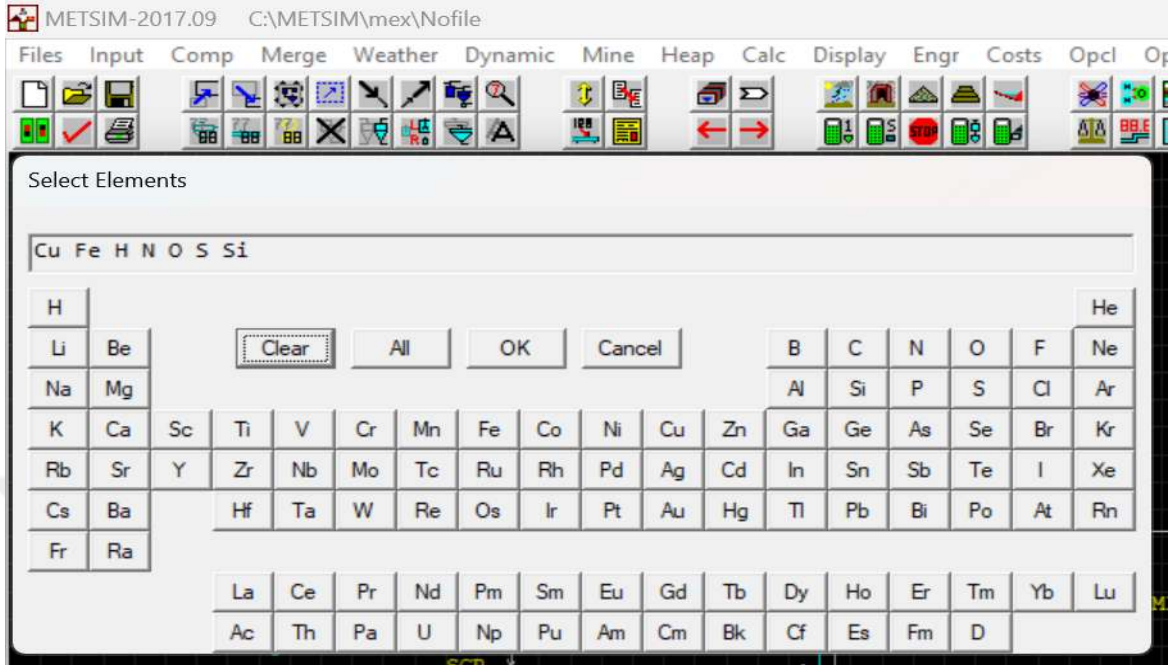
seçenekleri sekmelerinden, simülasyonun doğruluğu ve hassasiyetini sağlamak için gerekli ayarlar yapılmıştır.



Şekil 3.1. Proje dosyasının oluşturulması ve hesaplama parametrelerinin ayarlanması

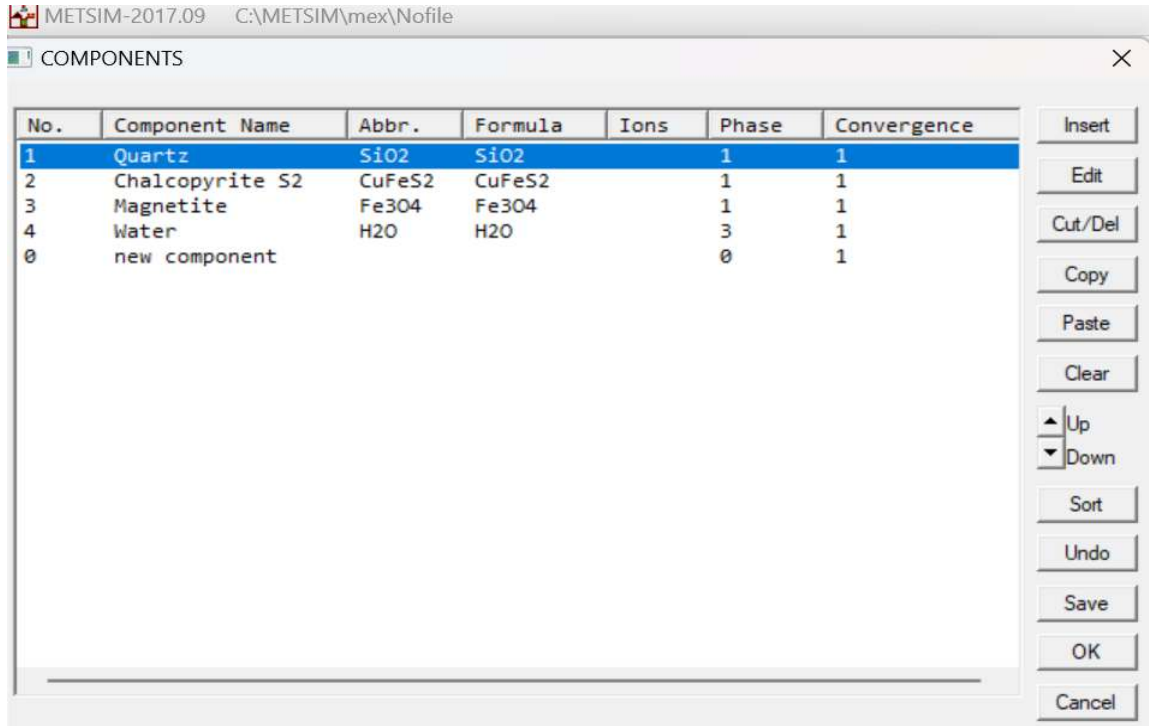
3.6.2. Elementlerin ve Bileşenlerin Seçimi

Simülasyonun ikinci adımında, METSIM yazılımında elementler ve bileşenler tanımlanmıştır. İlk olarak, simüle edilecek süreçte yer alan elementler seçilmiştir (Şekil 3.2). Seçilen elementler, simülasyonun materyal bileşenlerini temsil eder ve yazılımın doğru hesaplamalar yapabilmesi için kritik önem taşır.



Şekil 3.2. Elementlerin seçimi ekranı

Daha sonra, her bir bileşen için formüller ve fazlar tanımlanmıştır (Şekil 3.3). Bileşenler simülasyonun temel yapı taşlarını oluşturur ve her birinin doğru şekilde tanımlanması, simülasyonun başarılı olmasını sağlar.



Şekil 3.3 Bileşenlerin tanımlanması ekranı

3.6.3. Elek Analizi Verilerinin Girilmesi

Bu adımda, simüle edilen öğütme sürecinin elek analizi için ekran boyutları tanımlanmıştır (Şekil 3.4). Farklı elek boyutları kullanılarak, malzemenin tane boyutuna göre sınıflandırılması sağlanır. METSIM yazılımında, elek boyutları milimetre (mm) cinsinden girilmiştir ve her bir elek boyutu, öğütme sürecinin daha detaylı analiz edilmesini sağlar. Bu aşamada, öğütme işlemi sonucunda oluşan farklı boyutlardaki malzemelerin dağılımı belirlenmiş ve simülasyonda kullanılmak üzere ekran boyutları tanımlanmıştır.

Screen Meshes for Entering Screen Analysis Data

Mesh Size	Define the Mesh Sizes for Entering Data.
150 MM	They may be different than used in SSA.
101.6 MM	Input Mesh Size
75 MM	Acceptable Mesh Sizes
53 MM	Inch xx.xx IN
38 MM	Millimeter xx.xx MM
25.4 MM	Micron xx.xx MI
19 MM	Tyler Mesh
13.2 MM	2.5 TY 9 TY 32 TY 115 TY 600 TY
9.5 MM	3 TY 10 TY 35 TY 150 TY 800 TY
6.7 MM	3.5 TY 12 TY 42 TY 170 TY 1200 TY
4.75 MM	4 TY 14 TY 48 TY 200 TY 1600 TY
3.35 MM	5 TY 16 TY 60 TY 250 TY 2000 TY
2.36 MM	6 TY 20 TY 65 TY 270 TY
1.7 MM	7 TY 24 TY 80 TY 325 TY
1.18 MM	8 TY 28 TY 100 TY 400 TY
0.850 MM	US Mesh
0.600 MM	2.5 US 10 US 35 US 120 US 600 US
0.425 MM	3 US 12 US 40 US 140 US 800 US
0.300 MM	3.5 US 14 US 45 US 170 US 1200 US
0.212 MM	4 US 16 US 50 US 200 US 1600 US
0.150 MM	5 US 18 US 60 US 230 US 2000 US
0.106 MM	6 US 20 US 70 US 270 US
0.075 MM	7 US 24 US 80 US 325 US
0.053 MM	8 US 30 US 100 US 400 US
0.038 MM	British Mesh
0.025 MM	5 BR 12 BR 25 BR 70 BR 150 BR
0.019 MM	6 BR 14 BR 30 BR 72 BR 170 BR
0.012 MM	7 BR 16 BR 36 BR 85 BR 200 BR
0.009 MM	8 BR 18 BR 44 BR 100 BR 240 BR
	10 BR 22 BR 52 BR 120 BR 300 BR

SSA OK Cancel

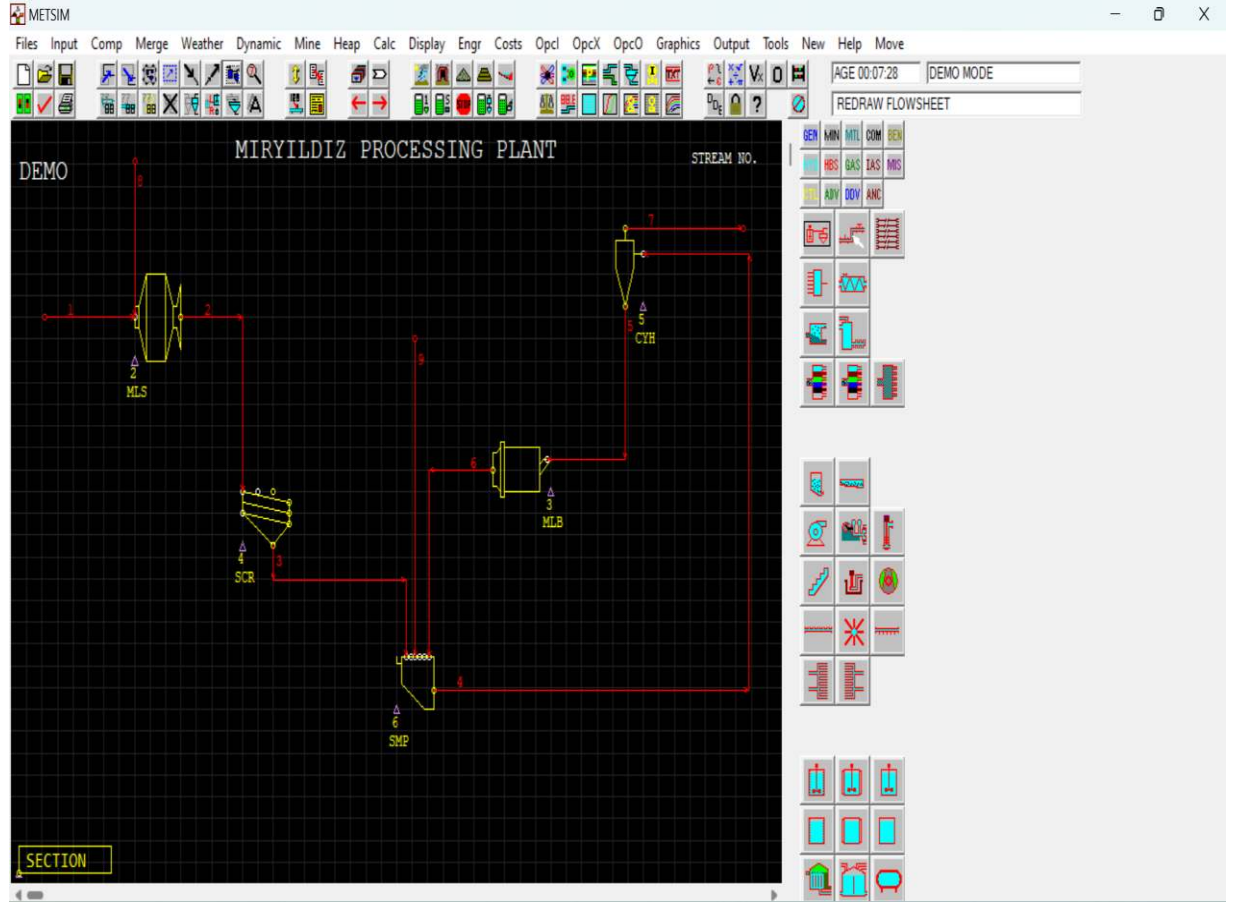
Şekil 3.4. Elek analizi ekranı

3.6.4. Öğütme Makineleri ve Akış Şeması Çizimi

Simülasyonun bir sonraki adımında, öğütme sürecinde yer alan makinelerin ve akışların METSIM yazılımında modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu adımda, değirmenler (mills), titreşimli

elekler (vibrating screens), ve hidroklonlar (hydrocyclones) gibi temel ekipmanlar tanımlanarak proses akış şeması oluşturulmuştur (Şekil 3.5).

Akış şeması, malzemenin farklı birim operasyonları arasındaki akışını göstermektedir. Her bir ekipman, simülasyonun doğruluğunu sağlamak için süreçte yer alan işlemleri temsil eder.



Şekil 3.5. Öğütme makineleri ve akım şeması

3.6.5. Makine Parametrelerinin Girişi

Bu aşamada, öğütme sürecinde kullanılan makinelerin (örneğin, SAG değirmeni) boyutları ve çalışma parametreleri METSIM yazılımına girilmiştir (Şekil 3.6). Bu adım, her bir makinenin performansını ve simülasyona katkısını belirlemek için hayati öneme sahiptir. Girilen parametreler, enerji tüketimi, çap, kritik hız oranı, RPM, bilye yükü, elek açıklığı gibi çeşitli işletme koşullarını içermektedir.

Örneğin, enerji tüketimi (kWh/mt), değirmen çapı (m), bilye yükü (bilye hacmi oranı) ve diğer kritik çalışma parametreleri simülasyona dahil edilmiştir.

SAG MILL

SAG Milling	Dimensions	Reactions	Equil.	Heat Bal	Logic	Controls	Labor	Materials	Reagents	Notes
NF	1	* Stream number of stream that represents the total new feed								
KT	13.81	* Grinding energy consumption - kWh/mt, kWh/st								
ID	4.8	* Inside diameter of liners, NOT shell - m, ft								
IL	2.3	* Straight side length inside grate - m, ft								
FO	11.6	* Feed opening size - m, ft								
AN	15	* SAG mill end cone angle, normally 15 degrees								
CS	0.72	* Fraction of critical speed or								
RM	14.7	* RPM of mill								
VB	0.15	* Ball load as fraction of mill volume								
GO	18	* Grate Opening, mm, in								
PS	0.75	* Percent solids of pulp in the mill, NOT feed								
VP	0.15	* Total mill load as fraction of mill volume								
HT	0.1	* Fraction of Drive Power reporting to Heat								

Şekil 3.6. Makine parametrelerinin girişi ekranı

3.6.6. Besleme Girdisi ve Tane Boyutu Dağılımı

Simülasyonun bir sonraki adımında, öğütme sürecinde kullanılan besleme girdisi ve tane boyutu dağılımı METSIM yazılımına girilmiştir (Şekil 3.7). Bu işlem, malzemenin öğütme işlemi sırasında nasıl davranacağını belirlemek için kritiktir. Besleme girdisi ton/saat (MT/HR) cinsinden belirlenmiş ve % geçiş oranları (pass) ile tane boyutları tanımlanmıştır.

Ekranda görülen veriler, öğütülen malzemenin farklı elek boyutlarından geçme oranlarını göstermektedir. Tane boyutu dağılımı ve malzeme akışı, öğütme sürecinin etkinliğini analiz etmek için kullanılmıştır.

Stream 1

0

0 Output Level 0 Design Factor 0 Maximum Flow

0 Box Number 0 Variables 1 2 3

1 SI LI SSA

0 Label

OK Cancel

	MT/HR		% Pass.	% Ret.	MT/HR		% Pass.
SOLIDS	100	1448 MM	1	0	0	150 MM	0.9910996
SLD-ORG	0	1024 MM	1	0	0	101.6 MM	0.9576308
AQUEOUS	0	724 MM	1	0	0	75 MM	0.9193708
ORGANIC	0	362 MM	1	0	0	53 MM	0.8707807
MOLTEN	0	256 MM	1	0	0	38 MM	0.8194605
MATTE	0	181 MM	1	0	0	25.4 MM	0.7506421
SLAG	0	128 MM	0.9835853	0.0164146	1.6414677	19 MM	0.6998786
GAS	0	90.5 MM	0.9446310	0.0389542	3.8954245	13.2 MM	0.6387800
TOTAL	100	64.0 MM	0.8980446	0.0465864	4.6586467	9.5 MM	0.5890271
% SOLID	1	45.3 MM	0.8480861	0.0499584	4.995849	6.7 MM	0.5457850
Contrl C	0	32.0 MM	0.7914655	0.0566205	5.6620582	4.75 MM	0.5141555
Temp C	20	22.6 MM	0.7299996	0.0614658	6.1465897	3.35 MM	0.4887462
Temp F	68	16.0 MM	0.670046	0.0599536	5.9953638	2.36 MM	0.4649091
Pres kPa	101.325	11.3 MM	0.6135207	0.0565252	5.6525246	1.7 MM	0.4426853
Pres kPag	0	8.00 MM	0.5647680	0.0487527	4.8752714	1.18 MM	0.4174665
Pres psia	14.695949	5.66 MM	0.5277280	0.0370399	3.7039975	0.850 MM	0.3949993
Pres psig	0	4.00 MM	0.5008485	0.0268795	2.6879518	0.600 MM	0.3739597
Time	1	2.83 MM	0.4772342	0.0236143	2.3614325	0.435 MM	0.3533206
Gal/min	163.48967	2.00 MM	0.4536767	0.0235574	2.3557489	0.300 MM	0.3249522
L/sec	10.31459	1.41 MM	0.4300355	0.0236411	2.3641157	0.212 MM	0.2889808
L/min	618.87538	1.00 MM	0.4057840	0.0242515	2.425155	0.150 MM	0.2517007
M3/hr	37.132523	707 MI	0.3827755	0.0230084	2.3008441	0.106 MM	0.2167265

Şekil 3.7. Besleme girdisi ve tane boyutu dağılımı girişi ekranı

3.6.7. Etiketlerin ve Değer Fonksiyonlarının Girişi

Bu aşamada, METSIM yazılımında akış çizelgeleri için etiketler ve bunların değer fonksiyonları girilmiştir. Etiketler, öğütme sürecindeki çeşitli akış değişkenlerini (örneğin, katı t/h, sıvı t/h, % katı) ve ilgili fonksiyonları temsil eder. METSIM, bu fonksiyonları APL kodlama diliyle kullanarak hesaplamalar yapmaktadır.

Girilen parametreler şunları içerir:

- Katı t/h (Solid t/h): Malzemenin ton/saat cinsinden akışı.
- Sıvı t/h (Liquid t/h): Sıvı akışı.
- % Katı (% Solid): Karışımdaki katı malzeme oranı.
- P80: Malzemenin %80'inin geçtiği elek boyutu.

Her bir etiket, ilgili simülasyon değişkenleriyle eşlenmiş ve METSIM'in hesaplamalarında kullanılacak olan fonksiyonlarla ilişkilendirilmiştir.

NO	* Spreadsheet Number	SP	* Spreadsheet Description	CW	* Numeric Column Width
L1	Stream	Label 1			
F1	S	Value Function 1			
L2	Solid t/h	Label 2			
F2	SC VSTR S	Value Function 2			
L3	Liquid t/h	Label 3			
F3	LC VSTR S	Value Function 3			
L4	% Solid	Label 4			
F4	100×VPCS S	Value Function 4			
L5	P80 mm	Label 5			
F5	0.001×VP80 S	Value Function 5			
L6	%Cu	Label 6			
F6	100×29 VESA S	Value Function 6			
L7		Label 7			
F7		Value Function 7			
L8		Label 8			
F8		Value Function 8			
L9		Label 9			
F9		Value Function 9			

Şekil 3.8. Etiketlerin ve Değer Fonksiyonlarının girişi ekranı

3.6.8. Birim Operasyonların Hesaplanması

Sonraki adım, her bir birim operasyonunun hesaplanmasıdır. METSIM, daha önce girilen parametreler ve değer fonksiyonlarına dayanarak her bir birim operasyon için gerekli hesaplamaları gerçekleştirir. Bu işlemler, öğütme süreçlerinin her bir aşamasında enerji tüketimi, kütle dengliği ve tane boyutu dağılımları gibi kritik parametreleri içerir. Simülasyonun bu aşamasında, METSIM yazılımı değirmen, elek ve hidrokron gibi ekipmanların her biri için gerekli hesaplamaları yaparak, sistemin genel performansını analiz eder



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Test 1–2

4.1.1. Tane boyutu dağılımı

Tesiste mevcut durumun tespiti amacı ile 2022 yılının haziran ayında 2 ayrı günde (Test 1-2) tesisteki 5 farklı noktadan numune alımı (SAG değirmeni girişi-Bant 2, SAG değirmeni çıkış, siklon üst akışından ve bilyalı değirmen giriş ve çıkış) gerçekleştirilmiş ve bu örneklerin tane boyut dağılımları tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1-4.2’de görüldüğü gibi P80 ve D50 değerlerinin Bant 2’den Flotasyon beslemesi’ne kadar kademeli olarak azalması, başarılı bir öğütme ve tane boyut azalımının olduğunu göstermektedir.

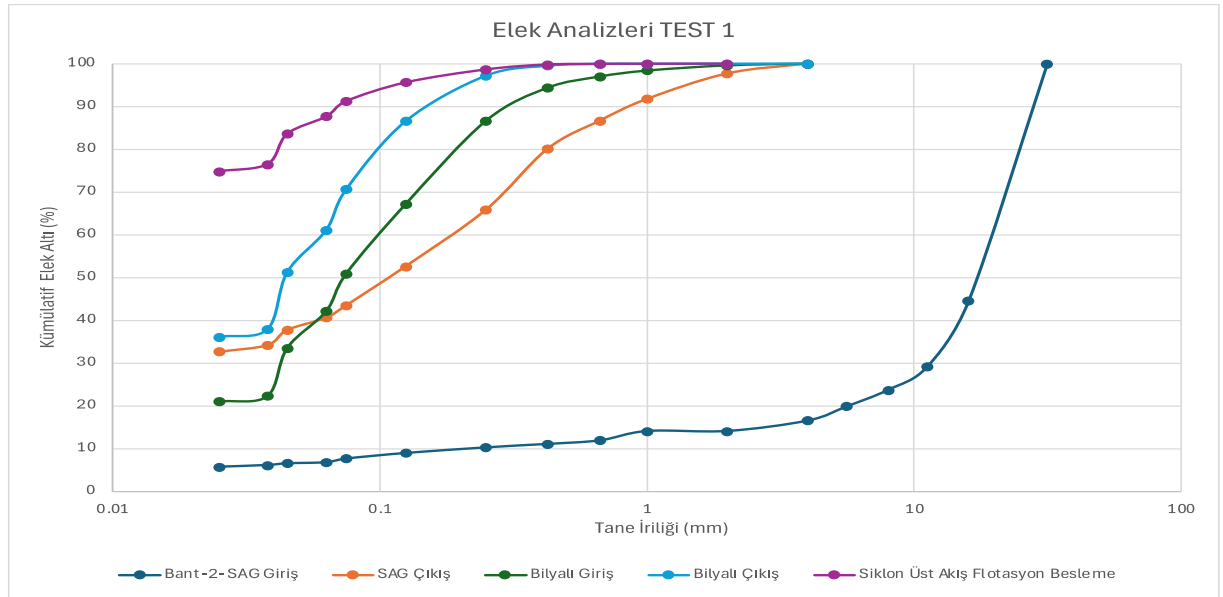
Çizelge 4.1. Test-1 Tane boyutu dağılımı

Tane iriliği (mm)	Bant 2 (SAG Giriş)	SAG Çıkış	Bilyalı Değirmen Giriş	Bilyalı Değirmen Çıkış	Siklon Üst Çıkış (Flotasyon Besleme)
31,500	100,00				
16,000	44,52				
11,200	29,13				
8,000	23,70				
5,600	19,84				
4,000	16,52	100,00	100,00	100,00	
2,000	14,08	97,68	99,57	99,96	100,00
1,000	14,06	91,70	98,35	99,94	99,97
0,666	11,88	86,63	96,95	99,93	99,93
0,425	11,05	80,06	94,32	99,48	99,80
0,250	10,24	65,84	86,61	97,16	98,65
0,125	8,92	52,61	67,14	86,51	95,60
0,075	7,62	43,50	50,92	70,63	91,23
0,063	6,75	40,58	42,13	61,06	87,62
0,045	6,51	37,72	33,52	51,21	83,57
0,038	6,11	34,21	22,30	37,88	76,48
0,025	5,71	32,62	21,01	36,11	74,79
P80	25,9	0,42	0,21	0,105	41,5
D50	17,5	0,11	0,07	0,044	

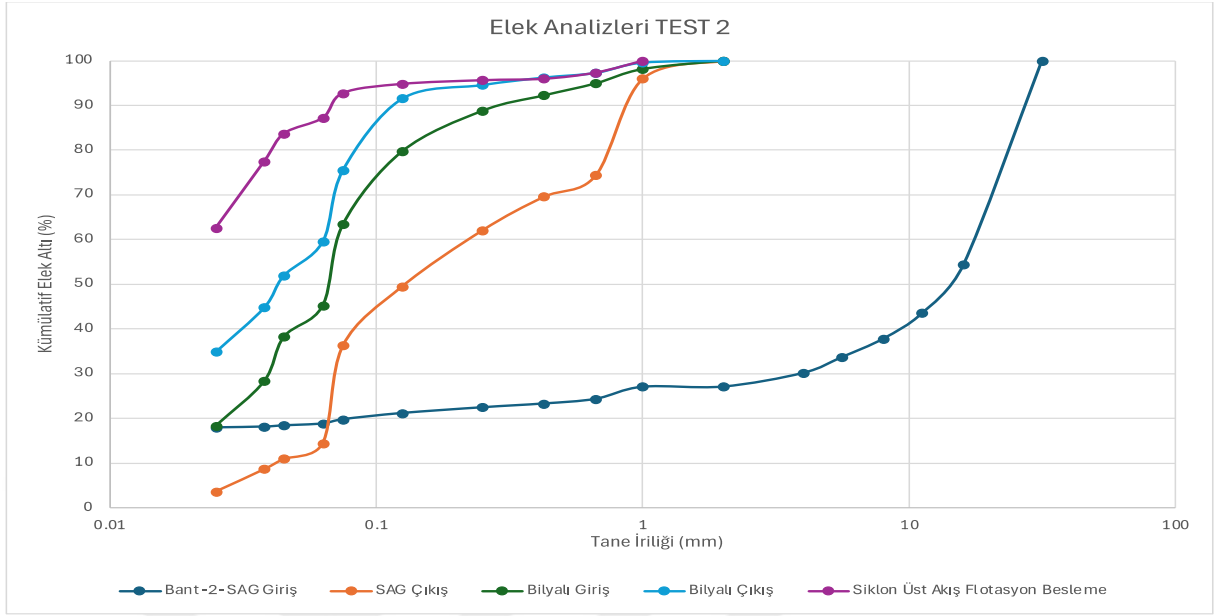
Çizelge 4.2 Test-2 Tane boyutu dağılımı

Tane iriliği (mm)	Bant 2 (SAG Giriş)	SAG Çıkış	Bilyalı Değirmen Giriş	Bilyalı Değirmen Çıkış	Siklon Üst Çıkış (Flotasyon Besleme)
31,500	100,00				
16,000	54,34				
11,200	43,51				
8,000	37,78				
5,600	33,67				
4,000	30,11				
2,000	27,05	100,00	100,00	100,00	
1,000	27,02	96,00	98,13	99,61	100,00
0,666	24,31	74,33	94,90	97,31	97,33
0,425	23,26	69,59	92,22	96,27	95,95
0,250	22,43	62,07	88,78	94,59	95,63
0,125	21,13	49,52	79,68	91,51	94,80
0,075	19,75	36,29	63,36	75,54	92,75
0,063	18,80	14,43	45,20	59,53	87,21
0,045	18,38	10,90	38,22	51,94	83,68
0,038	18,11	8,63	28,30	44,80	77,47
0,025	17,92	3,63	18,31	34,87	62,55
P80	24,7	0,75	0,13	0,089	0,041
D50	14,076	0,130	0,066	0,043	

Şekil 4.1-4.2’de görüldüğü gibi değirmen girişinden siklon üst akımına kadar çeşitli aşamalarda tane boyutlarının kademeli olarak başarılı bir şekilde azaltıldığını ve flotasyon girişi malzemenin P80 değerinin 0,041 mm olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Test-1 Tane boyut dağılımı grafiği



Şekil 4.2. Test-2 Tane boyutu dağılımı grafiği

4.2. Test 3

4.2.1. Tane boyutu dağılımı

Test 3'te ise anlık numune alınarak (1 saat içinde) SAG değirmenin öğütme performansı (verimi) tane boyut dağılımları belirlenerek kontrol edilmiştir. Bu amaçla SAG değirmen çıkışından, bilyeli değirmen giriş-çıkış ve siklon üst çıkışından (flotasyon besleme) numuneler alınarak elek analizleri yapılmış ve tane boyut dağılımları belirlenmiştir.

Çizelge 4.3-4.8'de öğütme ve sınıflandırma süreçlerinin verimliliğini ve performansını vurgulayan ayrıntılı tane boyutu dağılımı verilerini göstermektedir. Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi, Bant 2'den SAG değirmenine giren besleme malzemesinin parçacık boyutu dağılımı yaş ve kuru ağırlık, nem içeriği ve her elek boyutundan geçen kümülatif yüzde gibi ölçümleri içermektedir. Veriler, parçacık boyutunda kademeli bir azalma olduğunu ve P80 değerinin 79,76 mm olduğunu göstermektedir; bu da birincil kırmanın etkinliğini ve sonraki öğütme aşamaları için yeterli hazırlığı göstermektedir. Çizelge 4.4, SAG değirmeninden çıkan malzemenin parçacık boyutu dağılımını sunmaktadır. Sonuçlar, parçacık boyutunda önemli bir azalma göstererek P80 değerinin 372,02 μm olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, SAG değirmeninin besleme malzemesinin boyutunu etkin bir şekilde azalttığını ve sonraki işlemler için hazırlık yaptığını göstermektedir. Kümülatif yüzde geçiş değerleri, başarılı bir boyut azaltma sürecini yansıtmakta ve bu durum, flotasyon gibi aşağı akış işlemlerinin optimize edilmesi için kritik öneme sahiptir. Çizelge 4.5, siklon beslemesine giren malzemenin parçacık boyutu dağılımını detaylandırmaktadır. Veriler, P80 değerinin 95,83 μm olduğunu göstererek, öğütme ve sınıflandırma devresinin ince parçacıklar üretmedeki etkinliğini ortaya koymaktadır. Bu adım, malzemenin sonraki

flotasyon süreci için yeterince hazırlandığından emin olmak için kritiktir. Çizelge 4.6, bilyalı değirmene besleme olarak giren siklon alt akışının parçacık boyutu dağılımını göstermektedir. P80 değeri burada 133,51 μm olup, ara ürünün bilyalı değirmende daha fazla boyut azaltmaya tabi tutulacağını göstermektedir. Bu aşamadaki tutarlı parçacık boyutu dağılımı, bilyalı değirmenin verimliliğini korumak için önemlidir. Çizelge 4.7, bilyalı değirmenden çıkan malzemenin parçacık boyutu dağılımını sunmaktadır. P80 değeri 61,49 μm olup, bilyalı değirmenin parçacık boyutunu daha da azaltmadaki etkinliğini göstermektedir. Veriler, bilyalı değirmenin verimli bir şekilde çalıştığını ve nihai zenginleştirme aşamaları için uygun boyutta parçacıklar ürettiğini doğrulamaktadır. Çizelge 4.8, flotasyon süreci için besleme olarak kullanılan siklon üst akışının parçacık boyutu dağılımını göstermektedir. P80 değeri 23,93 μm olup, etkin bir öğütme ve sınıflandırma süreci sonucunda ince parçacıkların üretildiğini göstermektedir. Yüksek kümülatif yüzde geçiş değerleri, öğütme devresi boyunca sağlanan detaylı boyut azaltmayı yansıtmaktadır. Parçacık boyutunun SAG değirmen beslemesinden flotasyon beslemesine kadar kademeli olarak azalması, tesisin öğütme devresinin başarılı bir şekilde çalıştığını ve optimize edildiğini, böylece aşağı akış işlemlerinde verimliliğin sağlandığını ve yüksek geri kazanım oranlarının elde edildiğini göstermektedir.

Çizelge 4.3 Test-3 Bant-2 (SAG Değirmen Besleme) tane boyu dağılımı

Bant-2 (SAG Değirmen Besleme)					
Yaş Ağırlık (g)		70776		P ₈₀ (mm)	79,76
Kuru Ağırlık (g)		69316			
Nem (%)		2,06			
Elek Boyutu (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Elek Boyutu (mm)	Kümülatif EA (%)	Kümülatif EÜ (%)
150	3788,00	5,46	150	94,54	5,46
-150+100	8822,00	12,73	100	81,81	18,19
-100+50	3754,00	5,42	50	76,39	23,61
-50+37.5	8668,00	12,51	37,5	63,89	36,11
-37.5+31.5	1990,00	2,87	31,5	61,02	38,98
-31.5+20	5416,00	7,81	20	53,20	46,80
-20+16	2196,00	3,17	16	50,03	49,97
-16+9.5	4670,00	6,74	9,5	43,30	56,70
-9.5+5.6	4018,00	5,80	5,6	37,50	62,50
-5.6+4	2520,00	3,64	4	33,87	66,13
-4+2	4190,00	6,04	2	27,82	72,18
-2+1	3625,39	5,23	1	22,59	77,41
-1+0.800	771,36	1,11	0,800	21,48	78,52
-0.800+0.630	1619,86	2,34	0,630	19,14	80,86
-0.630+0.425	1542,72	2,23	0,425	16,91	83,09
-0.425+0.330	771,36	1,11	0,330	15,80	84,20
-0.330+0.250	1002,77	1,45	0,250	14,36	85,64
-0.250+0.200	1002,77	1,45	0,200	12,91	87,09
-0.200+0.150	1234,18	1,78	0,150	11,13	88,87
-0.150+0.106	693,45	1,00	0,106	10,13	89,87
-0.106+0.075	839,24	1,21	0,075	8,92	91,08
-0.075+0.053	896,32	1,29	0,053	7,62	92,38
-0.053+0.038	657,20	0,95	0,038	6,68	93,32
-0.038+0.025	599,35	0,86	0,025	5,81	94,19
-0.025+0.020	495,98	0,72	0,020	5,10	94,90
-0.020	3532,06	5,10			
Toplam	69316,00	100			

Çizelge 4.4. Test-3 SAG Değirmen çıkış tane boyu dağılımı

SAG Değirmen Çıkış					
Yaş Ağırlık (g)		5535		P ₈₀ (µm)	372,02
Kuru Ağırlık (g)		3969			
Yüzdece Katı (%)		71,71			
Elek Boyutu (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Elek Boyutu (mm)	Kümülatif EA (%)	Kümülatif EÜ (%)
+4	6,01	1,21	4	98,79	1,21
-4+2	10,78	2,17	2	96,63	3,37
-2+1	18,45	3,71	1	92,92	7,08
-1+0.800	6,80	1,37	0.800	91,55	8,45
-0.800+0.630	18,30	3,68	0,630	87,87	12,13
-0.630+0.425	27,00	5,43	0,425	82,44	17,56
-0.425+0.330	22,80	4,58	0,330	77,86	22,14
-0.330+0.250	31,40	6,31	0,250	71,55	28,45
-0.250+0.200	18,87	3,79	0,200	67,76	32,24
-0.200+0.150	50,76	10,20	0,150	57,55	42,45
-0.150+0.106	26,46	5,32	0,106	52,24	47,76
-0.106+0.075	28,72	5,77	0,075	46,46	53,54
-0.075+0.053	30,15	6,06	0,053	40,40	59,60
-0.053+0.038	22,05	4,43	0,038	35,97	64,03
-0.038+0.025	21,82	4,39	0,025	31,59	68,41
-0.025+0.020	20,70	4,16	0,020	27,42	72,58
-0.020	136,44	27,42			
Toplam	497,51	100,00			

Çizelge 4.5. Test-3 Siklon besleme tane boyu dağılımı

Siklon Besleme					
Yaş Ağırlık (g)		7002		P ₈₀ (µm)	95,83
Kuru Ağırlık (g)		4024			
Yüzdece Katı (%)		57,47			
Elek Boyutu (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Elek Boyutu (mm)	Kümülatif EA (%)	Kümülatif EÜ (%)
+4	1,270	0,26	4	99,74	0,26
-4+2	3,050	0,63	2	99,11	0,89
-2+1	3,520	0,73	1	98,38	1,62
-1+0.800	1,380	0,29	0,800	98,10	1,90
-0.800+0.630	3,770	0,78	0,630	97,32	2,68
-0.630+0.425	7,600	1,57	0,425	95,75	4,25
-0.425+0.330	6,950	1,44	0,330	94,31	5,69
-0.330+0.250	7,590	1,57	0,250	92,74	7,26
-0.250+0.200	11,050	2,28	0,200	90,46	9,54
-0.200+0.150	33,680	6,96	0,150	83,50	16,50
-0.150+0.106	8,730	1,80	0,106	81,70	18,30
-0.106+0.075	27,483	5,68	0,075	76,02	23,98
-0.075+0.053	47,408	9,79	0,053	66,22	33,78
-0.053+0.038	49,833	10,30	0,038	55,93	44,07
-0.038+0.025	61,958	12,80	0,025	43,13	56,87
-0.025+0.020	32,899	6,80	0,020	36,33	63,67
-0.020	175,850	36,33			
Toplam	484,020	100,00			

Çizelge 4.6 Test-3 Siklon alt akışı (bilyalı değirmen beslemesi) tane boyu dağılımı

Siklon Alt Akışı (Bilyalı Değirmen Beslemesi)					
Yaş Ağırlık (g)		6092		P ₈₀ (μm)	133,51
Kuru Ağırlık (g)		4647			
Yüzdece Katı (%)		76,28			
Elek Boyutu (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Elek Boyutu (mm)	Kümülatif EA (%)	Kümülatif EÜ (%)
+4	1,74	0,25	4	99,75	0,25
-4+2	3,41	0,49	2	99,25	0,75
-2+1	7,19	1,04	1	98,21	1,79
-1+0.800	3,53	0,51	0.800	97,70	2,30
-0.800+0.630	8,73	1,27	0.630	96,43	3,57
-0.630+0.425	17,42	2,53	0.425	93,90	6,10
-0.425+0.330	13,75	1,99	0.330	91,91	8,09
-0.330+0.250	16,55	2,40	0.250	89,51	10,49
-0.250+0.200	19,02	2,76	0.200	86,75	13,25
-0.200+0.150	34,02	4,94	0.150	81,82	18,18
-0.150+0.106	36,48	5,29	0.106	76,52	23,48
-0.106+0.075	58,60	8,50	0.075	68,02	31,98
-0.075+0.053	87,92	12,75	0.053	55,27	44,73
-0.053+0.038	86,68	12,57	0.038	42,69	57,31
-0.038+0.025	93,20	13,52	0.025	29,17	70,83
-0.025+0.020	71,52	10,37	0.020	18,80	81,20
-0.020	129,60	18,80			
Toplam	689,36	100,00			

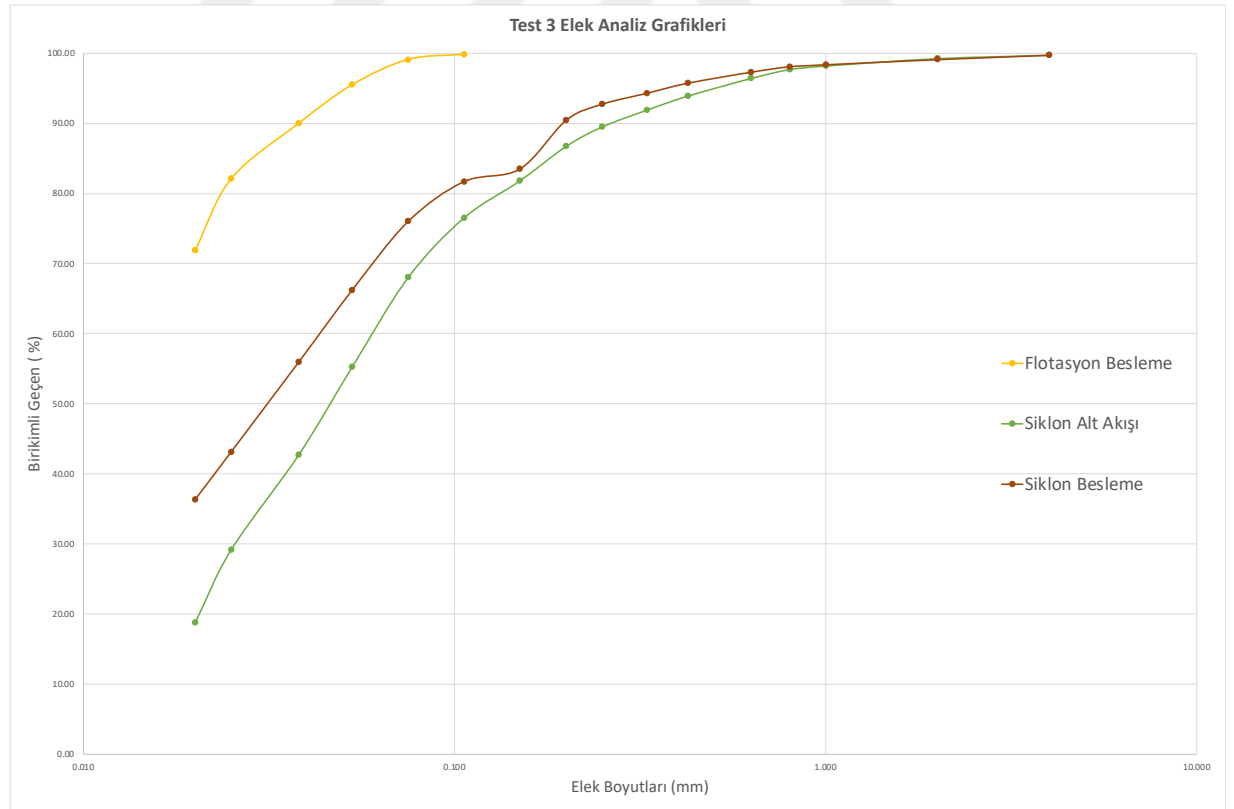
Çizelge 4.7. Test-3 Bilyalı çıkış tane boyu dağılımı

Bilyalı Değirmen Çıkış					
Yaş Ağırlık (g)		5400		P ₈₀ (µm)	61,49
Kuru Ağırlık (g)		4127			
Yüzdece Katı (%)		76,43			
Elek Boyutu (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Elek Boyutu (mm)	Kümülatif EA (%)	Kümülatif EÜ (%)
+4	0,15	0,03	4	99,97	0,03
-4+2	0,94	0,19	2	99,78	0,22
-2+1	0,34	0,07	1	99,71	0,29
-1+0.800	0,11	0,02	0,800	99,69	0,31
-0.800+0.630	0,76	0,15	0,630	99,53	0,47
-0.630+0.425	1,57	0,32	0,425	99,21	0,79
-0.425+0.330	0,97	0,20	0,330	99,02	0,98
-0.330+0.250	1,06	0,22	0,250	98,80	1,20
-0.250+0.200	2,84	0,58	0,200	98,23	1,77
-0.200+0.150	7,99	1,62	0,150	96,61	3,39
-0.150+0.106	18,48	3,75	0,106	92,86	7,14
-0.106+0.075	28,28	5,74	0,075	87,12	12,88
-0.075+0.053	59,47	12,07	0,053	75,05	24,95
-0.053+0.038	61,47	12,47	0,038	62,58	37,42
-0.038+0.025	71,28	14,46	0,025	48,12	51,88
-0.025+0.020	52,57	10,67	0,020	37,45	62,55
-0.020	184,61	37,45			
Toplam	492,89	100,00			

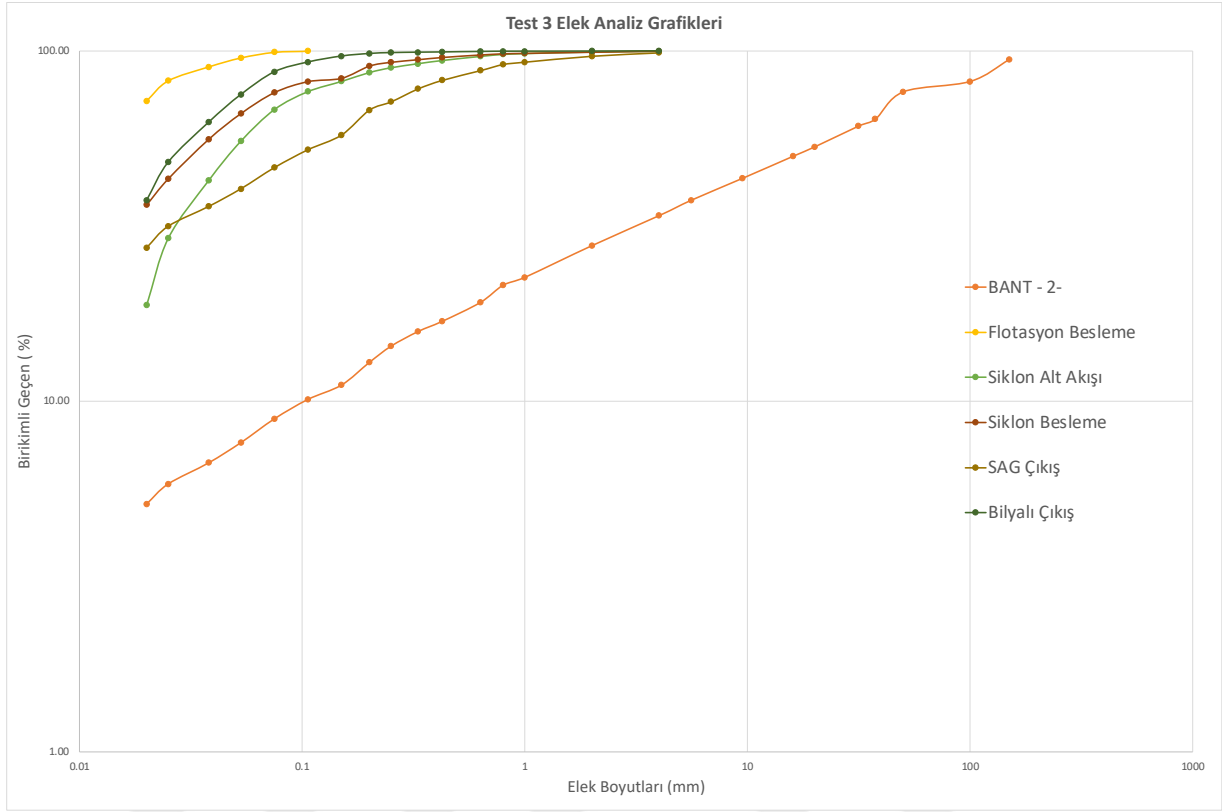
Çizelge 4.8. Test-3 Siklon üst akış (Flotasyon besleme) tane boyu dağılımı

Siklon Üst Akışı (Flotasyon Besleme)					
Yaş Ağırlık (g)		2417		P ₈₀ (µm)	23,93
Kuru Ağırlık (g)		816			
Yüzdece Katı (%)		33,76			
Elek Boyutu (mm)	Ağırlık (g)	Ağırlık (%)	Elek Boyutu (mm)	Kümülatif EA (%)	Kümülatif EÜ (%)
-0.150+0.106	0,16	0,16	0,106	99,84	0,16
-0.106+0.075	0,75	0,75	0,075	99,09	0,91
-0.075+0.053	3,59	3,59	0,053	95,50	4,50
-0.053+0.038	5,50	5,50	0,038	90,00	10,00
-0.038+0.025	7,90	7,90	0,025	82,10	17,90
-0.025+0.020	10,18	10,18	0,020	71,92	28,08
-0.020	71,92	71,92			
Toplam	100,00	100,00			

Şekil 4.3-4.4, malzemenin farklı aşamalarda parçacık boyutu dağılımının nasıl değiştiğini ve öğütme sürecinin etkinliğini göstermektedir. Her aşamada, daha ince parçacık boyutları elde edilmekte ve malzeme daha homojen hale gelmektedir.



Şekil 4.3. Test-3 Elek analizleri grafikleri (Flotasyon besleme, Siklon besleme ve alt akım)



Şekil 4.4. Test-3 Elek analizleri grafikleri (Numune alınan tüm noktalardaki tane boyut dağılımları)

4.3. Hidrosiklon seçimi

Modelleme ve simülasyon çalışmalarından elde edilen sonuçlara dayanarak, saatte 100 ton kapasiteye sahip bir siklon kümesinin seçimi yapılmıştır. Siklon seçimi için malzeme eşdeğerleri ve seçilen siklon boyutları sırasıyla Çizelge 4.9-4.10'de sunulmaktadır (Ergün ve diğ., 2022).

Çizelge 4.9. Siklon seçimi için gerekli madde denkliği

	Besleme	Alt Akım	Üst Akım
TPH Katı	438,94	338,94	100,00
Katı yoğunluğu (t/m ³)	3,67	3,67	3,67
TPH Su	352,73	110,33	242,40
% Katı	55,45	75,44	29,21
Pulp yoğunluğu (t/m ³)	1,68	2,22	1,27
Hacimsel Akış hızı (m ³ /h)	472,33	202,69	269,65
%80'in geçtiği boy (mm)	0,141	0,177	0,032

Çizelge 4.10. Seçilen hidrosiklon bataryasının özellikleri

Hidrosiklon		
Paralel ünite sayısı	26 çalışan	6 yedek
Siklon Çapı (mm)	150	
Giriş Çapı (mm)	41	
Girdap Klavuzu Çapı (mm)	45	
Alt Akım Çıkış Çapı (mm)	35	
Silindir Uzunluğu (mm)	150	
Koni Açısı (°)	6	

İşletmede 26 ünite olarak çalışan ve 6 ünite olarak yedek bulunan gereken siklon sayısı hesaplanmıştır.

4.4. Simülasyon

METSİM bilgisayar programı kullanılarak öğütme devresinde 70 t/s, 90 t/s ve 100 t/s gibi değişen besleme oranlarında öğütme performansını değerlendirmek amacıyla bir dizi simülasyon gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde; 70 t/s besleme hızında P80 değerinin 0,036 mm'ye düştüğünü ve flotasyon beslemesinin katı içerik oranının %35,27 olarak belirlendiğini göstermiştir.

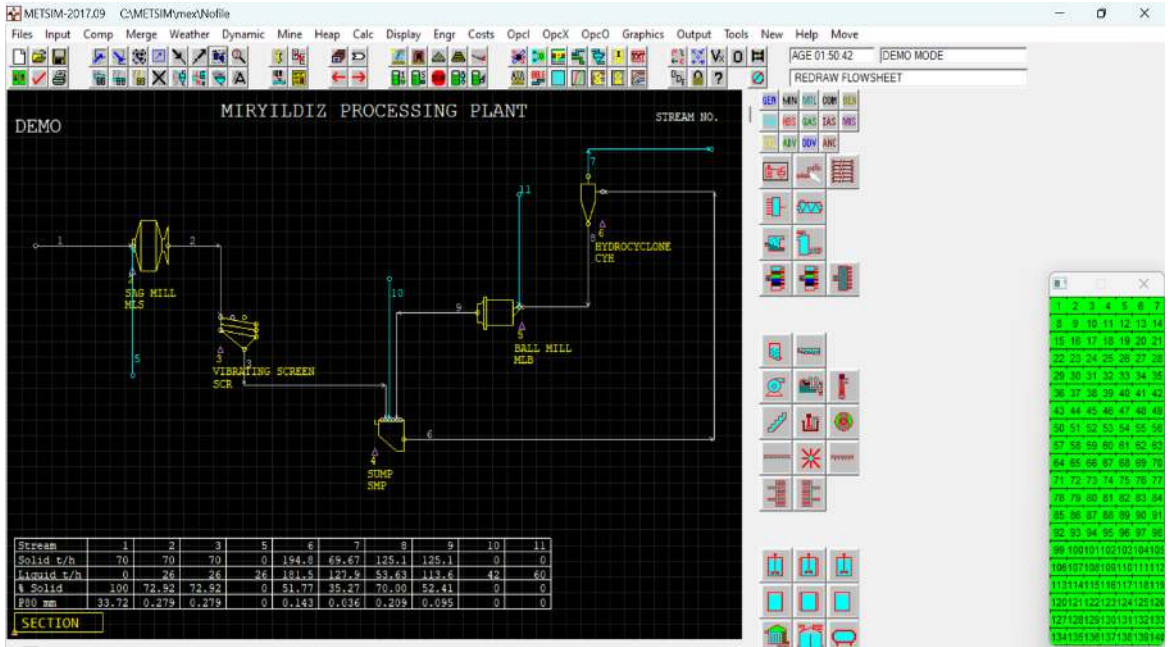
90 t/s besleme hızında, P80 değeri 0,040 mm'ye kadar düşürülmüş ve katı içerik oranı %31,06 olarak korunmuştur.

Maksimum besleme olan 100 t/s'de ise P80 değeri 0,044 mm olarak elde edilmiş ve katı içerik oranı %32,39 olarak sabit kalmıştır.

Farklı analitik yöntemler arasında sağlanan tutarlılık, öğütme devresi tasarımı ve operasyonel parametrelerinin güvenilirliğini pekiştirmekte olup, devrenin değişen besleme oranlarını optimal performansı koruyarak yönetme yeteneğini vurgulamaktadır.

4.5. Simülasyon-1

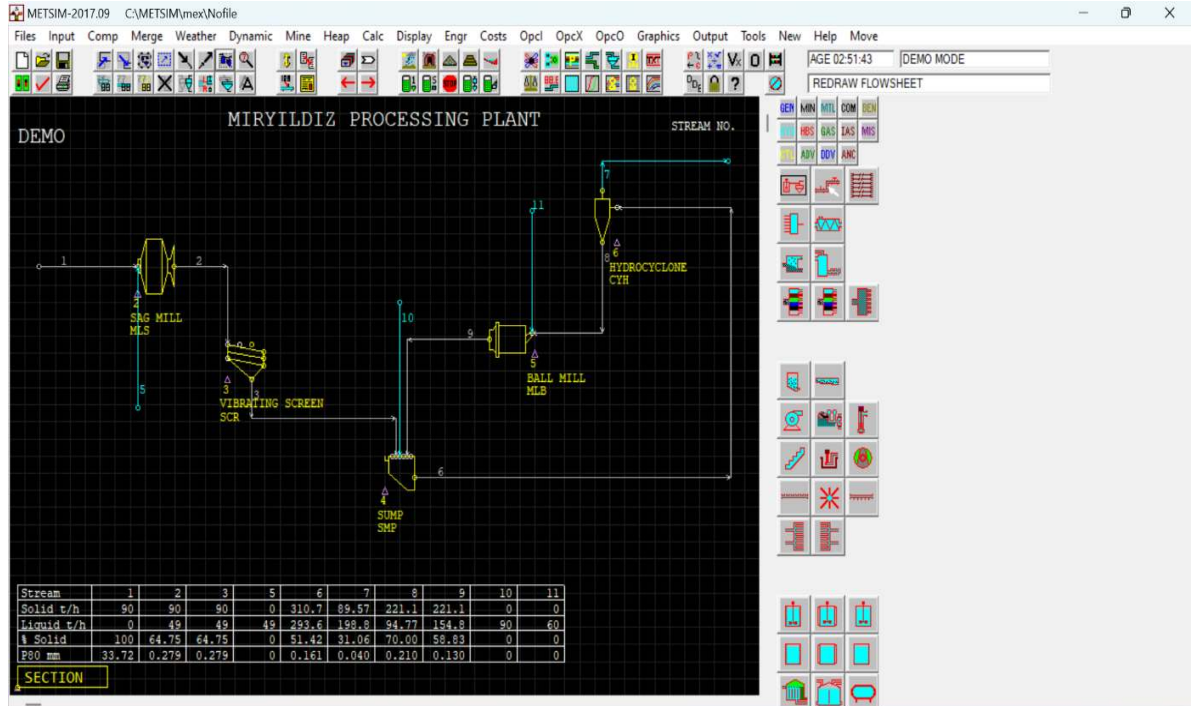
İlk simülasyon çalışmasında (METSİM), tesisin besleme tonajı 70 t/s değerinde olup burada ürün tane boyutunun inceltilmesi hedeflenmiştir. Simülasyon çalışması sonucunda, P80 değerinin 33,72 mm'den 0,036 mm'ye düştüğü ve flotasyon beslemesinin katı içerik oranının %35,27 olduğu görülmüştür (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. 70 t/s Simülasyon 1

4.6. Simülasyon-2

İkinci simülasyon çalışmasında (METSİM), tesisin besleme tonajı 90 t/s değerine yükseltilmiştir. Bu artışla birlikte, hidrosiklon üst akımına ait P80 değerinin 0,040 mm'ye düşürüldüğü tespit edilmiştir (Şekil 4.6). Flotasyon beslemesinin katı içerik oranı ise %31,06 olarak korunmuştur.



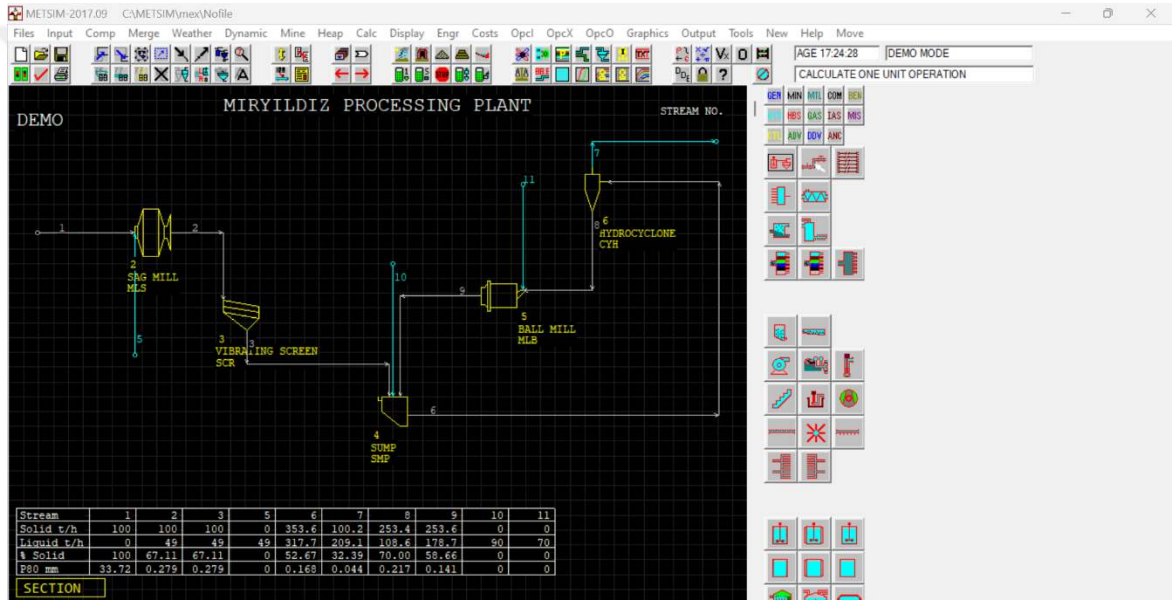
Şekil 4.6. 90 t/s Simülasyon-2

4.7. Simülasyon-3

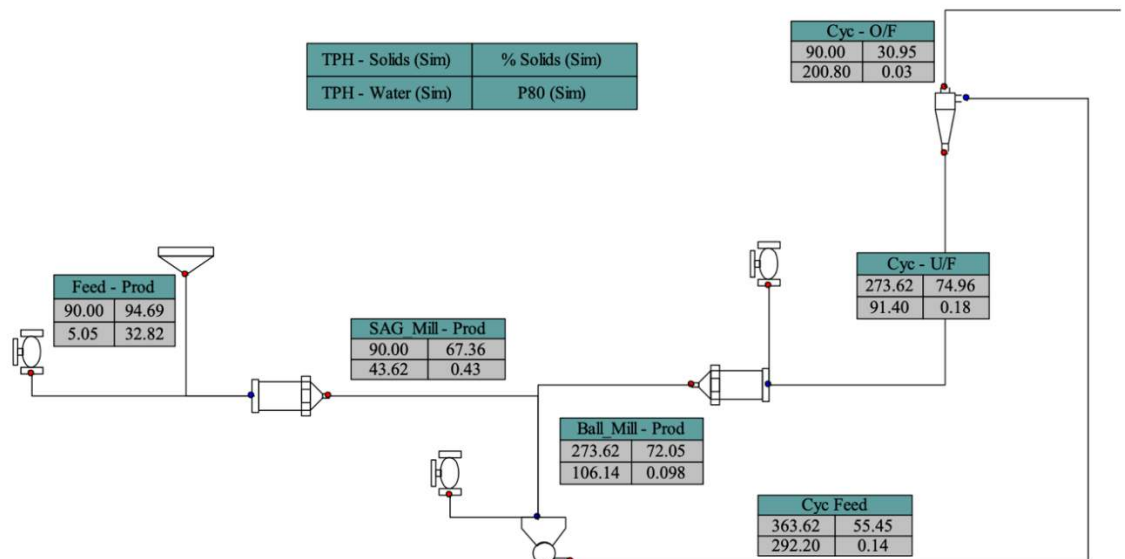
Üçüncü simülasyon çalışmasında, besleme tonajı 100 t/s seviyesine çıkarılmıştır. Bu artışla birlikte, hidrosiklon ait P80 değerinin 0,044 mm'ye düştüğü ve flotasyon beslemesinin katı içerik oranının %32,39 olarak sabit kaldığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.7).

Minova'nın (Ergün ve diğ., 2022) benzer besleme (100 t/s) oranında gerçekleştirdiği simülasyonda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 4.48).

Her iki çalışmada, öğütme devresinin maksimum yüklerde bile yüksek verimliliği sürdürülebileceğini doğrulamaktadır.



Şekil 4.7. 100 t/s Simülasyon-3

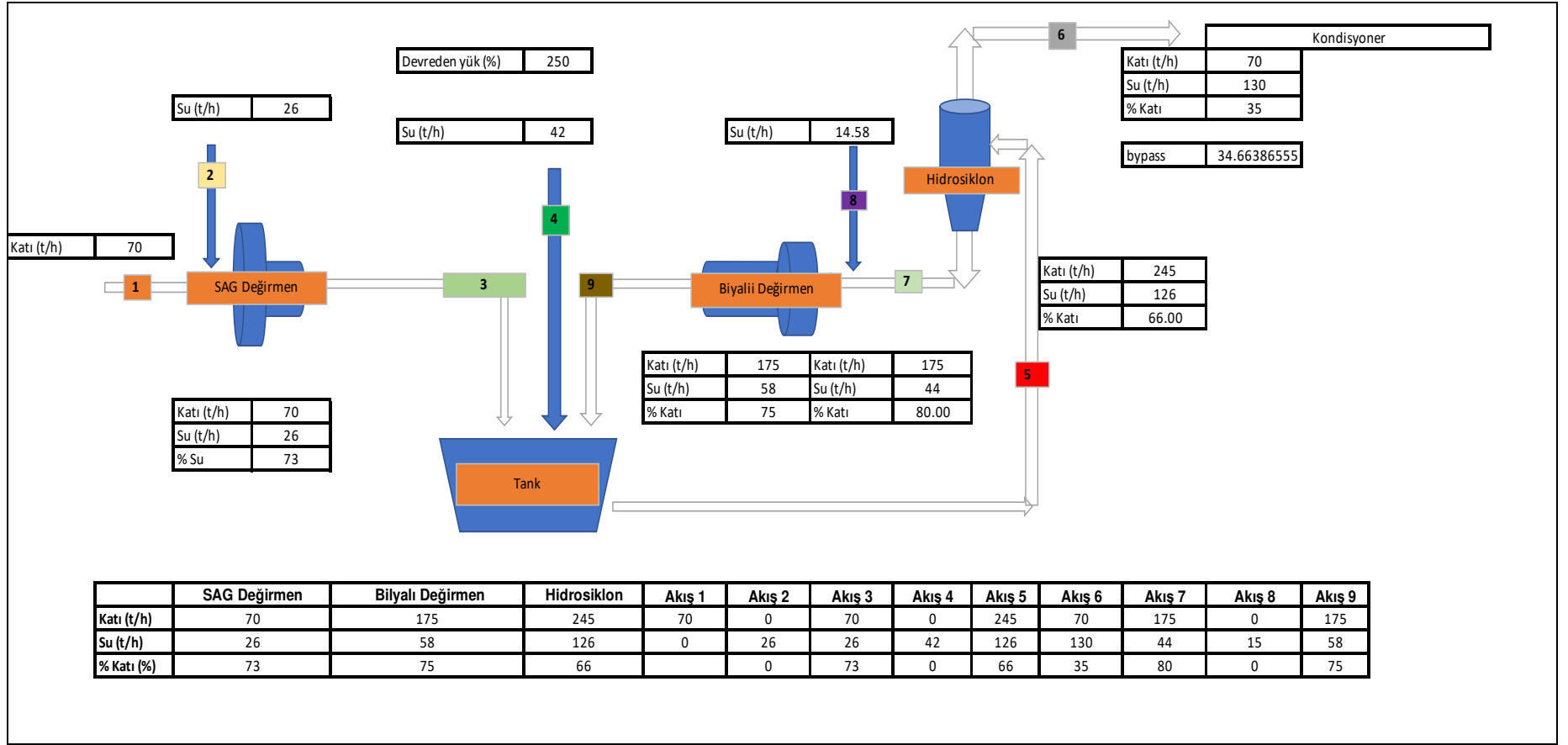


Şekil 4.8 90 t/s Minova Simülasyonu (Ergün ve diğ., 2022)

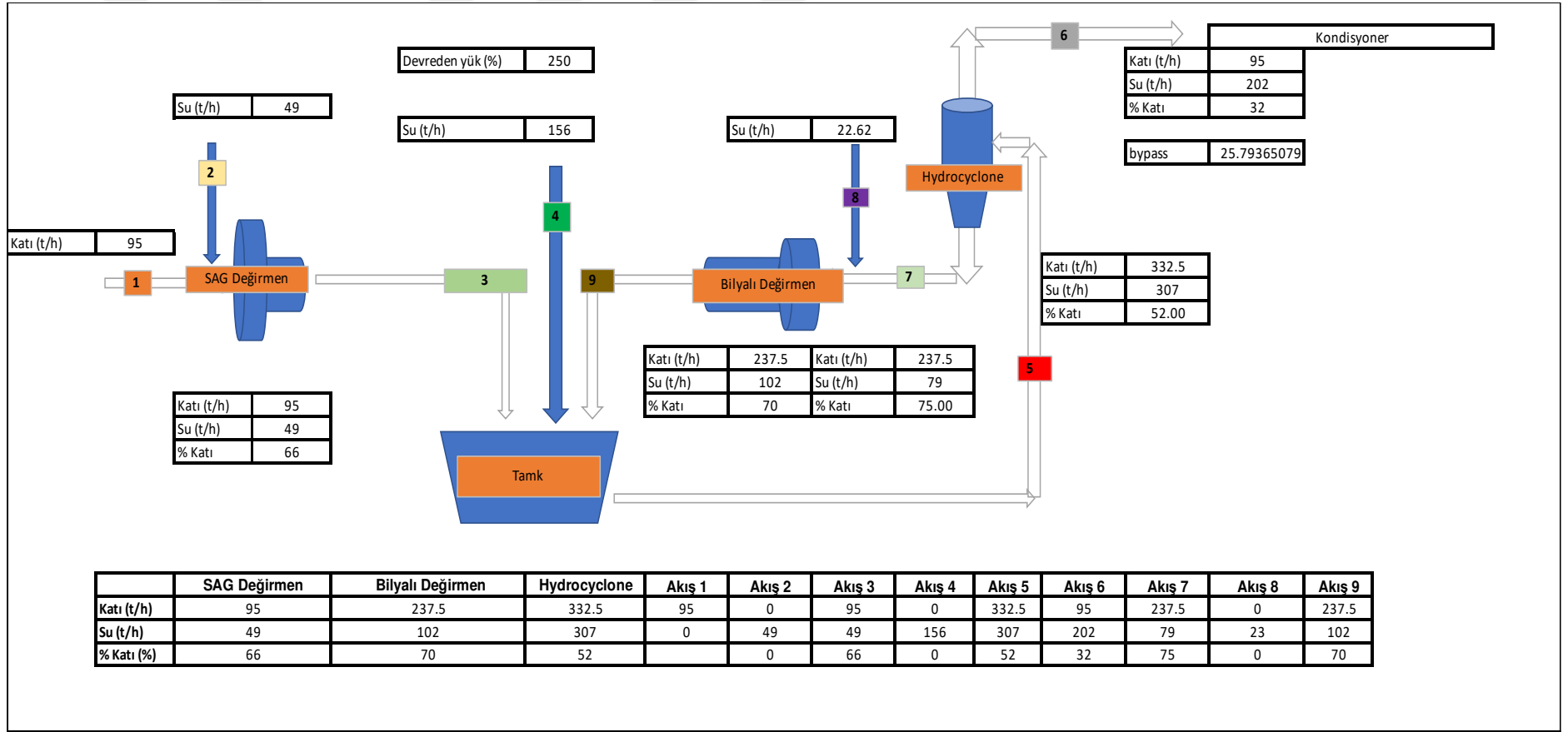
4.8. Modelleme

Model-1'de; 70 t/s katı malzeme ve 26 t/s suyun SAG değirmenine beslenmesiyle başlamakta ve bu işlem sonucunda %73 katı konsantrasyonuna sahip bir bulamaç elde edilmektedir (Şekil 4.9). Bu karışım, su eklenerek bir havuza yönlendirilir. Bulamaç daha sonra katı akış oranının 175 t/s'ye yükseldiği ve ek 58 t/s suyun eklendiği bilyalı değirmene geçer ve %75 katı konsantrasyonu sağlanır. Sonrasında karışım hidrosiklona yönlendirilir ve burada alt akış ve üst akış akımlarına ayrılır. Hidrosiklon alt akışı, %66 katı konsantrasyonu ile 245 t/s katı ve 126 t/s su içerir. Dolaşım yük oranının %250 olması, sistemde önemli miktarda malzemenin yeniden dolaştığını gösterir ve bu durum, verimli sınıflandırma ve ayırmanın önemini vurgular. %34,66'luk bir bypass oranı, malzemenin bir kısmının hidrosiklon etrafına yönlendirildiğini ve bu durumun genel süreç verimliliğini etkilediğini göstermektedir.

Model-2'de 95 t/s katı ve 49 t/s suyun SAG değirmenine beslenmesiyle başlamakta ve bu işlem sonucunda %66 katı konsantrasyonuna sahip bir bulamaç elde edilmektedir (Şekil 4.10). Bu bulamaç, su eklenerek bir havuza yönlendirilir. Bulamaç daha sonra katı akış oranının 237,5 t/s'ye yükseldiği ve ek 102 t/s suyun eklendiği bilyalı değirmene geçer ve %70 katı konsantrasyonu sağlanır. Karışım daha sonra hidrosiklona yönlendirilir ve burada alt akış ve üst akış olmak üzere iki akıma ayrılır. Hidrosiklon alt akışı, %52 katı konsantrasyonu ile 332,5 t/s katı ve 307 t/s su içerir. Dolaşım yük oranının %250 olması, sistemde önemli miktarda malzemenin yeniden dolaştığını gösterir ve bu durum, verimli sınıflandırma ve ayırmanın önemini vurgular. %25,79'luk bir bypass oranı, malzemenin bir kısmının hidrosiklonu atlayarak sürecin genel verimliliğini etkilediğini göstermektedir.



Şekil 4.9. Model-1 70 t/s katı besleme kütle dengliği hesaplaması



Şekil 4.10. Model-2 95 t/s katı besleme kütle denkliği hesaplaması



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Miryıldız Bakır Zenginleştirme Tesisinde Haziran 2022 tarihinde alınan numuneler ile yapılan testler ve METSIM (DEMO versiyonu) yazılım kullanılarak üç farklı besleme tonajında (70 t/s, 90 t/s ve 100 t/s) öğütme devresinin simülasyonları gerçekleştirilmiştir.
- İlk simülasyonda besleme tonajı 70 t/s olarak belirlenmiş ve sonuç olarak P80 değerinin 33,72 mm'den 0,036 mm'ye düştüğü ve flotasyon beslemesinin katı içerik oranının %35,27 olduğu tespit edilmiştir.
- İkinci simülasyonda besleme tonajı 90 t/s'ye artırılmış ve hidrosiklon üst akımına ait P80 değerinin 0,040 mm'ye düştüğü, katı içerik oranının ise %31,06 olarak korunduğu belirlenmiştir.
- Üçüncü simülasyonda ise besleme tonajı 100 t/s seviyesine çıkarılmış ve hidrosiklon P80 değeri 0,044 mm olarak tespit edilmiş, flotasyon beslemesinin katı içerik oranı %32,39 olmuştur.
- Kütle denge analizlerinde, Model-1 ve Model-2 üzerinde iki farklı öğütme devresi değerlendirilmiştir. Model-1'de, 70 t/s katı ve 26 t/s suyun SAG değirmenine beslenmesiyle %73 katı konsantrasyonuna sahip bir bulamaç elde edilmiştir. Bu işlem sonucunda, dolaşım yük oranı %250 ve bypass oranı %34,66 olarak belirlenmiştir. Model-2'de ise, 95 t/s katı ve 49 t/s su beslenmesiyle %66 katı konsantrasyonu elde edilmiş, dolaşım yük oranı %250, bypass oranı ise %25,79 olarak hesaplanmıştır.
- Çizelge 5.1'de METSIM kullanılarak gerçekleştirilen 90 t/h ve 100 t/h besleme tonajlarında yapılan simülasyon ile JKSimMet kullanarak yapılan simülasyonun sonuçları karşılaştırılmaktadır. Sonuçlar büyük ölçüde benzerdir. Her iki simülasyon da 90 t/s tonajda katı oranları (METSIM, %31,06 ve JKSimMet, %30,95) neredeyse aynıdır. Su akışı dengesi (METSIM, 198,8 t/s ve JKSimMet, 200,8 t/s) de birbirine çok yakındır.
- Ancak, P80 değerlerinde önemli bir fark bulunmaktadır. 90 t/s besleme miktarında flotasyon besleme malzemesi tane boyutu METSIM simülasyonunda 40 mikron olarak elde edilir iken JKSimMet simülasyonunda ise 30 mikron olarak elde edilmiştir. Aynı şekilde 100 t/s besleme miktarında flotasyon besleme malzemesi tane boyutu METSIM simülasyonunda 44 mikron olarak elde edilir iken JKSimMet simülasyonunda ise 30 mikron olarak elde edilmiştir.

- Çizelge 5.1’de görüldüğü gibi 70 t/s besleme tonajında METSIM simülasyonu ile elde edilen P80 değeri 36 mikron iken tesiste o anda elek analizleri sonucu tespit edilen fiili flotasyon beslemesi (70 t/s) için elde edilen fiili (gerçek) P80 değerinin ise 41,2 mikron olduğu görülmektedir.
- JKSimMet ve METSIM arasında 90 t/h ve 100 t/h besleme değerleri için yapılan simülasyonlar için Pearson korelasyon katsayıları sırasıyla 0,998 ve 0,997 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek korelasyon katsayıları, sonuçları arasında çok güçlü bir pozitif ilişki olduğunu göstermektedir. Her iki simülasyonda da katı (t/s), katı (%), su (t/s) ve P80 (mikron) değerleri açısından büyük ölçüde uyumludur. Bu sonuçlar, simülasyonların tutarlılığını ve doğruluğunu ortaya koymakta, ayrıca her iki yazılımın da benzer sonuçlar ürettiğini göstermektedir.
- Tesis tasarımı aşamasında yapılan numune alımı esnasında daha yüksek tenörlü bir cevher girdisi olduğunu ve bu durumun öğütme verimliliği ve hidrosiklon performansında farklılıklara yol açabileceğini düşündürmektedir.
- Bu simülasyonlar ve kütle denge analizleri, öğütme devresinin performansını iyileştirmeye ve daha sürdürülebilir bir cevher zenginleştirme sürecine katkı sağlamaya yönelik bilgiler sunmaktadır.

Çizelge 5.1 METSIM ile JKSimMet (Ergün ve diğ., 2022) (90 t/h ve 100 t/h) Flotasyon Besleme Tonajları
Simülasyonlarının Karşılaştırılması

Parametre	JKSimMet (90 t/s)	METSIM (90 t/s)	JKSimMet (100 t/s)	METSIM (100 t/s)	METSIM (70 t/s)	Tesis Numune (Fiili, 70 t/s)
Katı, t/s	90	90	100	100	70	70
Katı, %	30,95	31,06	31,07	32,39	35,27	32,50
Su, t/s	200,8	198,8	221,89	209,1	127,9	145,38
P80, µm	30	40	30	44	36	41,2
Korelasyon	0.998		0.997		0,995	

KAYNAKLAR

- Altun, D., Benzer, H., Aydogan, N., Gerold, C., “Operational Parameters Affecting the Vertical Roller Mill Performance”, Minerals Engineering 103-104, 67-71, 2017.
- Altun, O. (2018). BİR BAKIR/ÇİNKO CEVHERİ ÖĞÜTME DEVRESİNDE ENERJİ OPTİMİZASYONUNUN SAĞLANMASI. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 284-296.
- Altun, O., “Simulation Aided Flow Sheet Optimization of a Cement Grinding Circuit by Considering the Quality Measurements”, Powder Technology, 301, 1242-1251, 2016.
- Altun, O., Benzer, H., Enderle, U., “Effects of Operating Parameters on the Efficiency of Dr Stirred Milling”, Minerals Engineering, 43-44, 58-66, 2013.
- Aslan, N., & Akçiçek, N. (2011). Optimization of Clinker Grinding Using The Taguchi Method. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 3(2), 101-108.
- Austin, L. G. (1972). "A review introduction to the description of grinding as a rate process." Powder Technology.
- Austin, L.G., KlimpeL, R.R., and LucKie, p.t. 1984. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. AIME-SME, New York.
- Aydogan, N., Ergun, L., Benzer, H., “High Pressure Grinding Rolls (HPGR) Applications in the Cement Industry”, Minerals Engineering, 19, 130-139, 2006.
- Bazin, C., Grant, R., Cooper, M. and Tessier, R., 1994. Prediction of metallurgical performance as a function of fineness of grind, in Proceedings 26th AGM of Canadian Mineral Processors, Ottawa, Paper # 8.
- Bond, F. C. (1958). "Grinding Ball Size Selection " Mining Engineering.
- Bond, F.c. 1957. Grinding ball size selection. *Proceedings of the Annual Meeting*, Society of Mining Engineers of AIME, Tampa, FL.
- Brochot, Wiegel et al. 2006, Wills and Napier-Munn 2006, Rosario 2010, Sba'rbaro and Villar 2010.
- Crosbie, R., Runge, K., Brent, C., Korte, M. and Gibbons, T., 2009. An integrated optimization study of the Barrick Osborne concentrator: Part B – flotation, in Proceedings of the Tenth Mill Operators' Conference, Adelaide, Australia, 12 – 14 October 2009, pp 189 – 197.
- Delgadillo, J.A., Valdivieso, A., Tello, A., “Optimization of a Grinding and Classification Circuit of a Magnetite Ore Processing Plant Through Computer Simulation”, Minerals and Metallurgical Processing, 25, 223-228, 2008.

- Dundar, H., Benzer, H., Aydogan, N.A., Altun, O., Toprak, N.A., Ozcan, O., Eksi, D., Sargin, A., “Simulation Assisted Capacity Improvement of Cement Grinding Circuit: Case Study Cement Plant”, *Minerals Engineering*, 24, 205–210, 2011.
- Edwards, R. and Vien, A., 1999. Application of a Model Based Size Recovery Methodology. Control and Optimisation in Minerals, Metals and Materials Processing. 38th Annual Conference of Metallurgists of CIM, Québec City. Pp. 147- 159.
- Eksi, D., Benzer, H., Sargin, A., Genc, O., “A New Method for Determination of Fine Particle Breakage”, *Minerals Engineering*, 24, 216-220, 2011.
- Ergün, M., Orhan, S., Özcan, A., & Gülcan, E. (2022). Miryıldız bakır zenginleştirme tesisinin performansının değerlendirilmesi ve optimizasyon için öneriler. MINOVA Danışmanlık.
- Ergün, Ş. L., Orhan, E. C., Özcan, Ö., & Gülcan, E. (2022). Miryıldız Bakır Zenginleştirme Tesisinin Performansının Değerlendirilmesi ve Optimizasyon İçin Öneriler. MINOVA.
- Fuerstenau, Phatak et al. 2011, Vedat 2011.
- Gao, M., Young, M., Allum, P., “Isa Mill Fine Grinding Technology and Its Industrial Applications at Mt. Isa Mines”, *Proceedings of the 34th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*, 171-188. Ottawa, Canada, 2002.
- Global Mining Guidelines Group anichiporuk@ gmgroup. org. (2023, August). Methods to Survey and Sample Grinding Circuits for Determining Energy Efficiency. In *Conference of Metallurgists* (pp. 587-590). Cham: Springer Nature Switzerland.
- HeRBst, J.A. and FueRstenAu, d.W. 1973. Mathematical simulation of dry ball milling using specific power information. *Transactions of AIME*, vol. 254. Pp. 343–348.
- Kawatra, S. K., Eisele, T. C., Weldum, T., Larsen, D., Mariani, R., & Pletka, J. (2005). *Optimization of comminution circuit throughput and product size distribution by simulation and control*. Michigan Technological Univ., Houghton, MI (United States).
- Kwon, J., Jeong, J., Cho, H., “Selection and Optimization of a Two-Stage Ball mill Grinding Circuit of Molybdenum Ore”, *Advanced Powder Technology*, 27, 1073-1085, 2016.
- Lestage, R., Pomerleau, A., & Hodouin, D. (2002). Constrained real-time optimization of a grinding circuit using steady-state linear programming supervisory control. *Powder Technology*, 124(3), 254-263.
- METSIM. (t.y.). METSIM süreç simülasyon yazılımı. METSIM. <https://www.metsim.com> adresinden erişildi.
- Metso: Outotec.
- Moller, t.K. and BrouGH, R. 1989. Optimising the performance of a rubber-lined mill. *Mining Engineering*, August. Pp. 849–853.

- Nail Yıldırım, A magnetite-rich Cyprus-type VMS deposit in Ortaklar: A unique VMS style in the Tethyan metallogenic belt, Gaziantep, Turkey.
- Napier-Munn, T.J., Morrell, S., Morrison, R.D., And Kojovic, T. Mineral Comminution Circuits, Their operation and optimization, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC), University of Queensland, 1996.
- Napier-Munn, T.J., Morrell, S., Morrison, R.D., Kojovic, T., “Mineral Comminution Circuits-Their Operation and Optimization”, Brisbane: JKMRC Monograph Series in Mining and Mineral Processing, 1996.
- Optimization and Performance of Grinding Circuits: The Case of Buzwagi Gold Mine (BGM).
- Yıldırım, N., Dönmez, C., Kang, J., Lee, I., Yıldırım, E., Özküçük, S., Çiftçi, Y., Günay, K., & İlhan, S. (2014). Manyetit’çe zengin Kıbrıs tipi VMS yataklarına GD Türkiye’den bir örnek: Ortaklar (Gaziantep) VMS yatağı. 67. *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 510-513.



ÖZGEÇMİŞ

İsim : Mamadou Boye
Soyad : DIALLO

Eğitim

Derece	Okul	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Çukurova Üniversitesi	2024
Lisans	Çukurova Üniversitesi	2020

İş deneyimi

Miryıldız Madencilik	2019 – 2022
Ulsan Mining Congo	2022 – 2024

İyi derecede İngilizce, Türkçe ve Fransızca biliyorum.





EKLER



Ek-1. Miryıldız Firması İzin Yazısı



MİRİYILDIZ MÜH.İNS.TİC.İTH. VE İHR.LTD.ŞTİ
İDARE İŞLERİ VE İNSAN KAYNAKLARI MÜDÜRLÜĞÜ
GAZİANTEP/TÜRKİYE

Sayın Mamadou Boye DIALLO,

Bu yazı, Miryıldız Firması olarak "Öğütme devresinin optimizasyonu: ortaklar bakır işleme tesisi örneği" kullanılan verilerin iznini resmi olarak verdiğimiz belirtmektedir. İleride yapılacak yayımlarınızda verilerimizin kullanılması konusunda herhangi bir sakınca görmüyoruz.

Verilerimizin tezinizde kullanılması, çalışmanızın niteliğine katkı sağlayacak ve bilimsel açıdan değerlendirilmesini destekleyecektir. Firmamız adı geçtiğinde, kullanım izni verildiğimizi vurgulamanızı rica ederiz.

Bu yazının, ileride herhangi bir ihtilafta referans olarak kullanılması için de geçerli olduğunu belirtmek isteriz.

Bilgilerinize arz ederim,

ŞÜKRÜ YILDIZ

İdare işleri ve insan kaynakları müdürü



Tel: (0424) 237 73 37
Email: miryildizinsaat@gmail.com
Adres: Abdullahpaşa Mah. Prof Dr Turan yazgan cad No 41 ELAZIG/TÜRKİYE

Faks:(0424) 238 61 0

Ek-2. Kimyasal Analizleri Sonuçları

		%	%	%	PPM	%	%	%	%	%	%	%	%	%	PPM	%	PPM	PPM	%	%	ARGETEST	ppm
Kod	Tanım	Cu	Zn	Al ₂ O ₃	Ba	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	Sr	TiO ₂	Y	Zr	C	S	S	Au
MY-12	Siklon Üstü Tüvenan	1.93	1.54	1.84	<10	2.44	<0.01	37.81	0.35	0.85	0.04	0.11	0.06	8.61	<10	0.10	<10	20.00	0.75	37.70	36.83	
MY-13	Kaba Konsantre	6.90	3.20	0.54	<10	0.61	<0.01	43.33	0.12	0.16	0.01	0.09	0.05	1.37	<10	0.02	<10	16.00	0.16	>40	43.09	
MY-14	Kaba Atık	0.47	1.08	2.93	<10	4.16	0.02	47.09	0.60	1.30	0.06	0.14	0.06	13.18	15.00	0.17	<10	25.00	0.90	34.50	33.33	
MY-15	Temizleme Atık	1.81	1.39	0.93	<10	1.59	<0.01	46.10	0.22	0.37	0.02	0.10	0.03	3.71	<10	0.05	<10	16.00	0.33	>40	48.86	
MY-16	Nihai Atık	0.73	1.20	2.78	<10	3.62	<0.01	47.85	0.57	1.19	0.03	0.20	0.04	12.21	<10	0.13	<10	20.00	0.79	36.80	39.63	
MY-17	Nihai Konsantre	16.25	6.64	0.22	<10	0.36	1.07	26.46	0.11	0.09	<0.01	0.08	0.01	0.53	<10	0.01	<10	<10	0.13	>40	43.34	
MY-18	1. kademe Kaba Konsantre	10.05	2.91	0.20	<10	0.30	1.33	35.83	0.12	0.07	<0.01	0.10	0.05	0.40	<10	0.01	<10	10.00	0.13	>40	48.67	
MY-19	2. kademe Kaba Konsantre	1.98	3.19	1.13	<10	1.73	<0.01	48.17	0.28	0.43	0.03	0.14	0.04	4.87	<10	0.06	<10	22.00	0.37	>40	47.05	
MY-20	Siklon Üstü +53 µm	1.75	1.31	4.25	23.00	6.38	0.02	31.11	0.87	2.42	0.10	0.10	0.07	21.47	28.00	0.29	<10	44.00	2.02	N.A.	20.37	
MY-21	Siklon Üstü -53+38 µm	2.36	1.71	1.36	<10	2.58	<0.01	32.58	0.21	0.71	0.05	0.03	0.03	7.30	<10	0.08	<10	19.00	0.67	>40	41.22	
MY-22	Siklon Üstü -38+25 µm	2.09	1.47	1.07	<10	1.82	<0.01	34.00	0.16	0.49	0.04	0.03	0.04	5.43	<10	0.06	<10	18.00	0.55	N.A.	46.30	
MY-23	Siklon Üstü -25 µm	2.21	1.59	2.30	<10	1.95	0.01	43.63	0.29	0.88	0.04	0.07	0.04	8.25	13.00	0.12	<10	28.00	0.52	N.A.	41.72	
MY-24	Siklon Üstü Cyclosizer C1	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	41.58	
MY-25	Siklon Üstü Cyclosizer C2	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	50.18	
MY-26	Siklon Üstü Cyclosizer C3	1.7	1.16	0.32	41.00	0.11	<0.01	34.37	0.02	0.08	0.01	0.03	<0.01	0.80	<10	0.01	<10	15.00	0.17	>40	54.78	
MY-27	Siklon Üstü Cyclosizer C4	2.13	1.67	0.88	<10	1.26	<0.01	38.15	0.18	0.41	0.03	0.05	0.02	5.05	<10	0.05	<10	21.00	0.48	>40	46.62	
MY-28	Siklon Üstü Cyclosizer C5	2.15	1.69	1.56	<10	2.02	<0.01	44.53	0.30	0.73	0.04	0.06	0.05	8.23	15.00	0.09	<10	24.00	0.64	N.A.	42.71	
MY-29	Siklon Üstü Cyclosizer C6	2.29	1.64	3.65	31.00	1.28	0.06	45.28	0.56	1.66	0.04	0.64	0.08	14.06	172.00	0.19	11.00	43.00	0.29	30.70	33.47	
MY-30	Kaba Konsantre +53 µm	15.94	2.11	0.87	242.00	1.59	0.06	36.08	0.19	0.64	0.03	0.07	0.04	5.64	14.00	0.05	<10	18.00	0.41	N.A.	39.72	
MY-31	Kaba Konsantre - 53+38 µm	15.13	2.53	0.38	25.00	0.47	<0.01	33.09	0.11	0.18	0.02	0.04	0.03	2.50	<10	0.02	<10	18.00	0.20	>40	43.87	
MY-32	Kaba Konsantre - 38+25 µm	10.47	2.52	0.23	48.00	0.27	<0.01	36.86	0.10	0.11	0.01	0.04	0.04	1.56	<10	0.01	<10	17.00	0.16	>40	47.68	
MY-33	Kaba Konsantre -25 µm	6.96	2.98	0.99	<10	0.22	<0.01	40.70	0.13	0.19	0.01	0.11	0.02	2.05	10.00	0.06	<10	27.00	0.11	>40	48.48	

MY-34	Kaba Konsantre Cyclosizer C1	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	IS	
MY-35	Kaba Konsantre Cyclosizer C2	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	53.72	
MY-36	Kaba Konsantre Cyclosizer C3	6.7	2.06	0.18	28.00	0.04	<0.01	36.39	0.06	0.05	<0.01	0.02	<0.01	0.63	<10	<0.01	<10	14.00	0.11	>40	51.15	
MY-37	Kaba Konsantre Cyclosizer C4	6.39	2.81	0.37	30.00	0.05	<0.01	39.64	0.09	0.09	<0.01	0.04	<0.01	1.15	<10	0.01	<10	17.00	0.11	>40	62.90	
MY-38	Kaba Konsantre Cyclosizer C5	5.89	2.84	0.40	47.00	0.12	<0.01	35.33	0.06	0.13	0.01	0.01	<0.01	1.50	12.00	0.01	<10	16.00	0.14	>40	50.92	
MY-39	Kaba Konsantre Cyclosizer C6	7.31	3.38	0.83	13.00	0.43	0.03	35.59	0.16	0.36	0.02	0.32	0.03	3.35	47.00	0.05	<10	27.00	0.37	>40	44.15	
MY-40	Kaba Atık +53 µm	0.94	1.17	6.08	27.00	8.15	0.04	36.48	1.48	3.14	0.12	0.22	0.11	30.69	50.00	0.43	11.00	45.00	1.80	N.A.	20.65	
MY-41	Kaba Atık - 53+38 µm	0.77	1.57	2.11	<10	3.43	0.01	45.13	0.49	0.95	0.06	0.06	0.04	11.17	16.00	0.14	<10	27.00	0.92	N.A.	40.93	
MY-42	Kaba Atık - 38+25 µm	0.53	1.43	1.71	<10	2.76	0.01	44.25	0.36	0.69	0.05	0.03	0.04	8.26	13.00	0.12	<10	41.00	0.69	>40	44.12	
MY-43	Kaba Atık -25 µm	0.41	0.90	2.64	<10	2.66	0.02	42.63	0.49	1.10	0.05	0.15	0.06	10.99	22.00	0.14	<10	29.00	0.68	N.A.	37.81	
MY-44	Kaba Atık Cyclosizer C1	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	35.53	
MY-45	Kaba Atık Cyclosizer C2	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	49.31	
MY-46	Kaba Atık Cyclosizer C3	0.33	1.02	0.16	<10	0.15	<0.01	33.78	0.08	0.07	0.01	<0.01	<0.01	0.85	<10	0.01	<10	14.00	0.21	>40	70.31	
MY-47	Kaba Atık Cyclosizer C4	0.29	1.15	1.23	<10	2.12	0.01	47.67	0.35	0.57	0.05	0.07	0.03	7.45	13.00	0.08	<10	25.00	0.68	>40	44.73	
MY-48	Kaba Atık Cyclosizer C5	0.23	0.90	2.01	<10	2.95	0.01	36.93	0.47	0.92	0.05	0.06	0.05	11.09	22.00	0.13	<10	23.00	1.05	N.A.	38.31	
MY-49	Kaba Atık Cyclosizer C6	0.51	0.79	4.62	319.00	1.81	0.05	43.55	0.79	1.93	0.06	0.57	0.08	17.23	101.00	0.27	<10	46.00	0.48	N.A.	29.95	
MY-50	Temizleme Atık +53 µm	6.87	1.78	2.91	23.00	4.10	0.03	35.75	0.65	1.30	0.06	0.10	0.04	13.74	49.00	0.18	<10	26.00	1.77	28.70	29.05	
MY-51	Temizleme Atık -53+38 µm	5.84	2.06	1.15	<10	1.91	<0.01	43.15	0.31	0.45	0.03	0.03	0.03	5.95	<10	0.09	<10	22.00	1.43	>40	43.15	
MY-52	Temizleme Atık -38+25 µm	3.3	1.81	0.85	<10	1.13	<0.01	41.82	0.23	0.25	0.02	0.04	0.02	3.58	<10	0.04	<10	24.00	0.37	>40	49.40	
MY-53	Temizleme Atık -25 µm	1.42	1.11	0.97	<10	0.73	0.01	45.34	0.26	0.39	0.02	0.07	0.02	4.29	<10	0.05	<10	25.00	0.21	>40	49.30	
MY-54	Nihai Atık +53 µm	1.41	1.33	4.83	134.00	7.59	0.03	35.93	1.20	2.52	0.11	0.12	0.09	25.55	33.00	0.33	<10	34.00	1.72	>40	30.45	
MY-55	Nihai Atık - 53+38 µm	1.23	1.63	1.77	<10	3.08	0.01	48.64	0.42	0.78	0.05	0.04	0.04	9.14	13.00	0.13	<10	30.00	0.75	38.90	42.05	
MY-56	Nihai Atık - 38+25 µm	0.87	1.45	1.52	<10	2.35	<0.01	38.65	0.39	0.62	0.04	0.06	0.03	6.91	12.00	0.09	<10	28.00	0.63	>40	45.70	
MY-57	Nihai Atık -25 µm	0.64	1.00	2.55	<10	2.51	0.01	52.12	0.56	1.08	0.05	0.19	0.06	10.96	22.00	0.14	<10	33.00	0.60	>40	41.00	

MY-58	Nihai Konsantre +53 µm	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	37.55	
MY-59	Nihai Konsantre - 53+38 µm	25.16	2.87	0.63	<10	0.40	<0.01	28.47	0.17	0.16	<0.01	0.04	0.02	1.37	25.00	<0.01	<10	17.00	0.12	>40	39.58	
MY-60	Nihai Konsantre - 38+25 µm	21.91	3.62	0.27	<10	0.17	8.92	36.06	0.20	0.10	<0.01	0.02	<0.01	1.29	<10	<0.01	<10	17.00	0.11	N.A.	41.97	
MY-61	Nihai Konsantre -25 µm	16.01	6.72	0.52	<10	0.16	<0.01	33.90	0.23	0.17	<0.01	0.08	0.02	1.79	<10	0.03	<10	18.00	0.11	>40	42.89	
MY-62	1. kademe Kaba Konsantre +53 µm	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	38.14	
MY-63	1. kademe Kaba Konsantre - 53+38 µm	19.75	1.72	0.34	<10	0.51	<0.01	24.86	0.17	0.16	0.01	0.02	<0.01	1.67	17.00	0.02	<10	13.00	0.15	>40	44.61	
MY-64	1. kademe Kaba Konsantre - 38+25 µm	15.48	1.93	0.26	<10	0.24	8.85	28.62	0.17	0.11	<0.01	0.02	0.02	1.07	<10	0.01	<10	17.00	0.12	>40	47.08	
MY-65	1. kademe Kaba Konsantre -25 µm	8.01	2.66	0.32	<10	0.18	<0.01	40.38	0.22	0.13	<0.01	0.10	0.02	1.67	10.00	0.02	<10	20.00	0.08	>40	49.10	
MY-66	1. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C1	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	IS	
MY-67	1. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C2	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	IS	
MY-68	1. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C3	8.1	1.54	0.20	<10	0.07	7.76	39.78	0.21	0.03	<0.01	0.04	<0.01	0.55	<10	<0.01	<10	16.00	0.12	>40	84.23	
MY-69	1. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C4	7.89	2.32	0.33	<10	0.06	<0.01	40.10	0.18	0.05	<0.01	0.02	<0.01	0.80	<10	<0.01	<10	17.00	0.13	>40	50.52	
MY-70	1. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C5	7.36	2.52	0.40	<10	0.13	1.32	39.36	0.23	0.08	<0.01	0.12	0.01	0.88	<10	0.01	<10	21.00	0.15	>40	50.02	
MY-71	1. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C6	8.85	3.12	0.48	16.00	0.96	<0.01	42.19	0.28	0.29	0.02	0.46	0.03	2.50	261.00	0.05	<10	21.00	0.30	>40	43.73	
MY-72	2. kademe Kaba Konsantre +53 µm	9.48	2.45	1.28	<10	2.23	<0.01	42.83	0.42	0.60	0.04	0.03	0.06	8.66	11.00	0.07	<10	22.00	0.67	N.A.	38.63	

MY-73	2. kademe Kaba Konsantre - 53+38 µm	4.92	2.87	0.71	<10	1.28	<0.01	38.98	0.36	0.31	0.03	0.03	0.03	5.08	<10	0.04	<10	20.00	0.39	>40	52.01	
MY-74	2. kademe Kaba Konsantre - 38+25 µm	2.34	3.34	0.94	<10	1.13	<0.01	41.81	0.32	0.27	0.03	0.03	0.02	4.27	<10	0.05	<10	28.00	0.33	>40	48.57	
MY-75	2. kademe Kaba Konsantre -25 µm	1.36	3.04	1.32	<10	0.95	<0.01	46.97	0.41	0.51	0.03	0.07	0.05	6.02	13.00	0.12	<10	26.00	0.25	>40	47.13	
MY-76	2. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C1	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	47.61	
MY-77	2. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C2	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	I.S.	53.49	
MY-78	2. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C3	1.13	2.87	0.22	<10	0.13	1.50	46.31	0.24	0.05	<0.01	0.02	<0.01	0.92	<10	0.01	<10	19.00	0.18	>40	54.21	
MY-79	2. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C4	0.94	3.52	0.90	<10	0.46	<0.01	43.97	0.27	0.17	0.02	0.02	0.04	2.95	<10	0.04	<10	24.00	0.28	>40	50.67	
MY-80	2. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C5	0.75	3.15	0.80	<10	0.70	<0.01	49.07	0.39	0.27	0.02	0.06	0.01	4.78	13.00	0.04	<10	21.00	0.36	>40	49.91	
MY-81	2. kademe Kaba Konsantre Cyclosizer C6	1.78	3.01	2.00	<10	1.00	0.02	50.19	0.61	0.91	0.02	0.62	0.08	8.38	80.00	0.11	<10	28.00	0.53	37.50	39.66	
MY-82	Limonitli Cevher	3.05	1.94	1.45	25.00	4.22	0.02	32.45	0.22	0.37	0.18	1.40	0.03	32.43	22.00	0.07	39.00	39.00	2.07	0.11		0.04
MY-83	Yeraltı Cevheri	2.00	0.25	2.38	<10	6.50	0.01	39.38	0.29	0.82	0.10	1.01	0.09	12.32	13.00	0.14	<10	36.00	1.52	31.90		0.18