

**FARKLI CMC TÜRÜ ORGANİK BASTIRICILARIN
FLOTASYONDA KULLANIMI**

**THE USE OF DIFFERENT CMC TYPE ORGANIC
DEPRESSANTS IN FLOTATION**

Emre YILDIZ

Doç. Dr. Özlem BIÇAK
Tez Danışmanı

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

2023

ÖZET

FARKLI CMC TÜRÜ ORGANİK BASTIRICILARIN FLOTASYONDA KULLANIMI

Emre YILDIZ

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem BIÇAK

Eylül 2023, 112 sayfa

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda amaç organik bir bastırıcı kullanarak doğal yüzebilir bir cevher olan talkın bastırılarak konsantre kalitesinin artırılmasıdır. Flotasyonda organik bastırıcıların kullanılması, başarılı olması durumunda, hem çevresel hem de ekonomik anlamda bir katma değer yaratabilecek potansiyele sahiptir. Flotasyon deneylerinde Kanada'da ki bir maden şirketinden (CNI) temin edilen Bakır-Nikel cevheri kullanılmış ve cevherdeki talk minerali bastırılarak yüksek tenörlü ve daha kaliteli bir bakır konsantresi üretilmesi hedeflenmiştir. Deneyler kapsamında kullanılan CMC'ler; Rheolon 30N, Rheolon 300N, Rheoflo TNS 90, Depramin 347N ve son olarak 8860 GL GCA'dır. Deneysel çalışmanın ilk aşamasında, baz koşul olarak hiç bastırıcı kullanılmadan ve ikinci aşamada ise yukarıda bahsedilen beş farklı CMC ile üç farklı dozajda kinetik flotasyon testleri yapılarak baz koşul ile kıyaslanmıştır. Bu testler sonucunda hem cevherin temin edildiği tesiste kullanılan, hem de çalışılan CMC'ler arasında en iyi performansı gösteren Rheolon 30N ile daha detaylı kaba ve süpürme flotasyonu yapılmasına karar verilmiştir. Yapılan flotasyonlar sonucunda yüksek dozajda CMC'nin (350g/t) konsantre kütlesini 21,2%'den 12,4%'e düşürdüğü, konsantrenin bakır tenörünü 3,4%'den 4,6%'ya artırdığı ve nikel tenörünü 2,4%'den 3,1%'e yükselttiği görülmüştür. Fakat nihai bakır ve nikel verimi bastırıcı kullanılmayan deneye göre düşük kalmıştır. Son aşamada üretilen konsantre kalitesini belirlemek amacıyla yapılan açık devre temizlemeli flotasyon deneyleri yapılmış ve bu testlerde, baz koşul (bastırıcı kullanılmadan) ve en iyi performansın elde edildiği iki reaktif olan; Rheolon 30N ve Depramin 347N'nin performansları karşılaştırılmıştır. Bastırıcı kullanılmayan deneyde

%46,08 verimle %32,86 tenörlü bakır konsantresi elde edilmiştir. Rheolon 30N ile yapılan testler sonucunda %53,54 verimle %32,70 tenörlü bakır konsantresi elde edilmiştir. Depramin 347N (350g/t) kullanılan deneyde %66,66 verimle %24,32 tenörlü bakır konsantresi elde edilmiştir. Nikelin büyük bir kısmı (>%60) bakır devresinde kaldığı için nikel konsantresi elde edilememiştir. Sonuçlar incelendiğinde bastırıcı kullanılan deneyler bastırıcı kullanılmayan deneye kıyasla alınan konsantre miktarını artırmıştır. Bu artışta tenörde düşüş olmasına rağmen kazanılan bakır metal miktarı da artmıştır. Sonuç olarak bastırıcı olarak CMC kullanımı bu cevher için talkı bastırarak daha kaliteli bir konsantre elde edilmesine katkı sağlayabilecek bir potansiyele sahiptir. Dolayısıyla bu cevher için talkı bastırmak amaçlı CMC'nin kullanılması hem çevresel hem de ekonomik bir katma değer sağlayabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Bastırıcı, flotasyon, organik, talk minerali, bakır-nikel cevheri

ABSTRACT

THE USE OF DIFFERENT CMC TYPE ORGANIC DEPRESSANTS IN FLOTATION

Emre YILDIZ

**Master of Science, Department of Mining Engineering
Supervisor: Assoc. Prof. Özlem BİCAK
September 2023, 112 pages**

The aim of the studies carried out within the scope of this thesis is to increase the quality of the concentrate by depressing the talc, a naturally floatable ore, using an organic depressant. The use of organic depressants in flotation, if it is successful, has the potential to provide benefits both environmentally and economically. Copper-Nickel ore obtained from a mining company (CNI) in Canada was used in the flotation experiments and it is aimed to produce a high grade and better quality copper concentrate by depressing the talc mineral in the ore. CMCs used in the experiments are; Rheolon 30N, Rheolon 300N, Rheoflo TNS 90, Depramin 347N and 8860 GL GCA. In the first stage of the experimental study, kinetic flotation tests were performed without using any depressants as the base condition, and in the second stage, kinetic flotation tests were performed with the above-mentioned five different CMCs at three different dosages and compared with the base condition. As a result of these tests, it was concluded to perform more detailed rougher and scavenger flotation tests with Rheolon 30N, which was used in the plant where the ore was supplied and also showed the best performance among the CMCs studied. As a result of the flotations, using high dosage CMC (350g/t) reduced the concentrate mass from 21.2% to 12.4%, increased the copper grade of the concentrate from 3.4% to 4.6% and increased the nickel grade from 2.4% to 3.1%. However, the final copper and nickel recoveries were lower than base condition which no depressant was used. In order to determine the quality of the concentrate to be produced in the final stage, open circuit cleaning flotation experiments were carried out with the base condition (no depressant) and with Rheolon 30N and Depramin 347N where the best performances

were obtained. In the base condition (in the absence of any depressant), copper concentrate with a grade of 32.86% was obtained with a recovery of 46.08%. As a result of the tests performed with Rheolon 30N, a copper concentrate with a grade of 32.70% was obtained with a recovery of 53.54%. In the experiment by using Depramin 347N (350g/t), copper concentrate with a grade of 24.32% was obtained with a recovery of 66.66%. Since the majority of nickel (>60%) remained in the copper circuit, a nickel concentrate could not be obtained. Experiments with depressants have increased the concentrate mass compared to the experiment without depressant usage. Despite the decrease in grade, this increase has led to a higher recovery of Cu metal. As a result, the use of CMC as a depressant has the potential to contribute to obtaining a better quality concentrate by suppressing the talc for this ore. Thus, the utilization of CMC as a depressant for this ore, may provide both environmental and economic benefits for this ore by depressing talc.

Keywords: Depressant, flotation, organic, talc mineral, copper-nickel ore

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasındaki yardımı yanı sıra, hissettirdiği pozitif enerjisi ve sabrı ile insana daha iyi işler yapma ilhamı veren sevgili danışman hocam Doç. Dr. Özlem BIÇAK'a;

Lisans eğitimimde, iş hayatımda ve yüksek lisans çalışmalarımda verdiği desteklerden dolayı Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ'ye;

Deneysel çalışmalarım süresince tüm ekipman ve imkanlarından yararlanabildiğim Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'na;

Cevher temininde ve deneylerimde kullandığım reaktiflerin temininde bana yardımcı olan USK Kimya (Yeni ismi AKKİM) şirketine ve Canadian Royalties Inc.'a;

Deneysel çalışmalarım esnasında benden yardımlarını esirgemeyen sevgili çalışma arkadaşım Seda ÖZÇELİK ve bölümümüz teknisyeni Mustafa YILMAZ'a,

Tez yazım süresindeki yardımları, manevi destekleri ile sonsuz minnet duyduğum dostum Orhan ÖZTAŞ'a, Mustafa BALA'ya ve Cem SARIKAYA'ya;

Hayatımın her aşamasında yanımda olan ve bugünlere gelmemi sağlayan annem Döndü YILDIZ, babam Murat YILDIZ, ablam Büşra YILDIZ, ağabeyim Eren YILDIZ ve eşim Zehra KABLAN YILDIZ'a en içten duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	Error! Bookmark not defined.
ABSTRACT.....	3
TEŞEKKÜR.....	5
İÇİNDEKİLER	6
ÇİZELGELER	8
ŞEKİLLER.....	9
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	12
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Canadian Royalties Inc. Hakkında Genel Bilgi	3
2.2. Flotasyon.....	3
2.3. Flotasyon Reaktifleri.....	5
2.3.1. Toplayıcılar	5
2.3.2. Köpürtücüler	5
2.3.3. Kontrol Reaktifleri.....	6
2.3.3.1. pH Düzenleyiciler	6
2.3.3.2. Canlandırıcılar	6
2.3.3.3. Dağıtıcılar	6
2.3.4. Bastırıcılar	7
2.3.4.1. Organik Bastırıcılar.....	8
2.3.4.1.1. Karboksimetil Selüloz (CMC).....	10
2.4. Dünyada Bakır Üretimi	14
2.5. Türkiye’de Bakır Üretimi.....	17
2.6. Dünyada Nikel Üretimi	19
2.7. Türkiye’de Nikel Üretimi.....	21
3. MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEM.....	24
3.1. Numune Hazırlama	24
3.2. Yoğunluk Ölçümü	25
3.3. Öğütme Kalibrasyonu	26
3.4. Kimyasal Analiz.....	27
3.5. Cevher Mineralojisi.....	27
3.6. Flotasyon Test Koşulları.....	30
4. DENEYSEL SONUÇLAR.....	32

4.1.	Kinetik Kaba ve Süpürme Devreli Flotasyon Testleri	33
4.2.	Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Testleri ve Geri Çevirmeli Kapalı Devre Sonuçları	51
5.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	63
	KAYNAKLAR	65
	EKLER	68
	EK-1 Mineraloji Raporu	68
	EK-2 Öğütme kalibrasyonu çalışmasında öğütülen cevherin elek analizleri	79
	EK-3 Toplu Kaba Flotasyon ve Süpürme Flotasyon Devreli Kinetik Flotasyon Test Koşulları, XRF Sonuçları ve Köpük Görüntüleri	80
	EK-4 Surface modification with hydroxyl calcium ions strengthen CMC selectively depress arsenopyrite: Bridging adsorption mechanism and application in Cu-As separation çalışması ile ilgili veriler	112
	ÖZGEÇMİŞ	114

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1.	Bazı ülkelerin özel şirket ve hükümet verileri ile güncellenen bakır üretim bilgileri	15
Çizelge 3.1.	Baz koşula yapılan XRF analiz sonucu	27
Çizelge 3.2.	Mineraloji raporundan göre besleme ve ürünlerin kimyasal içeriği (%) ..	28
Çizelge 3.3.	Mineraloji rapora göre besleme ve ürünlerin mineral içeriği / Mineralojik bileşimi (%)	29
Çizelge 3.4.	Flotasyon Test Koşulları	31
Çizelge 4.1.	Deneylerde kullanılan CMC'lerin teknik özellikleri	32
Çizelge 4.2.	Karektarizasyon kapsamında yapılan flotasyon testinin XRF sonuçları	32
Çizelge 4.3.	Deneysel çalışmaların ilk aşamasında yapılan toplu kaba kinetik flotasyon testleri özet tablosu.....	33
Çizelge 4.4.	CMC'lerin yıllık maliyet hesabı	62
Çizelge 4.5.	Cu konsantre satış geliri hesaplanması ve CMC maliyetinin çıkarılması	62

ŞEKİLLER

Şekil 2.1.	Tanecik ve kabarcık etkileşimi	4
Şekil 2.2.	Flotasyon sistemi	4
Şekil 2.3.	Hidroksil grubu polisakkaritlerin bağ yapısı	9
Şekil 2.4.	Dekstrinin bağ yapısı	9
Şekil 2.5.	Guar Gam bağ yapısı	10
Şekil 2.6.	Bir CMC çeşidinin bağ yapısı	11
Şekil 2.7.	Bazı ülkelerin dünya bakır rezervlerindeki %paylarının dilim grafiği	16
Şekil 2.8.	2012-2022 yılları arası dünya bakır üretim miktarı sütun grafiği	16
Şekil 2.9.	2016-2023 yılları arası bakır metal satış fiyatı (\$/t) çizgisel grafiği	17
Şekil 2.10.	Türkiye’de 2017-2022 yılları arası üretilen tüvenan bakır cevheri sütun grafiği	18
Şekil 2.11.	2016-2022 yılları arası Türkiye tüvenan bakır ihracat/ithalat miktarı sütun grafiği	18
Şekil 2.12.	Pentlandit minerali görünümü	19
Şekil 2.13.	Nikelin dünyada sektörel bazlı %kullanımını gösteren daire grafiği	20
Şekil 2.14.	2022 yılında dünyada bazı ülkelerin nikel %üretimlerini gösteren daire grafiği	21
Şekil 2.15.	Türkiye’de 2012-2022 yılları arası tüvenan nikel cevheri üretimini gösteren sütun grafiği	22
Şekil 2.16.	2017-2023 yılları arası nikel metal satış fiyatını (\$/t) gösteren çizgisel grafik	22
Şekil 3.1.	Cevherin kantarda tartımı	24
Şekil 3.2.	Cevherin ham hali	24
Şekil 3.3.	Vakumlanmış cevher	25
Şekil 3.4.	Piknometre ve şematik görüntüsü	25
Şekil 3.5.	Öğütme kalibrasyonu grafiği	27

Şekil 3.6.	Mineralojik analizi yapılan flotasyon devresi akışlarının yığılmış sütun grafiği gösterimi	30
Şekil 3.7.	Sol baştan sırası ile 4,5 L – 2,5 L – 1 L – 0,5L flotasyon hücreleri	31
Şekil 4.1.	Rheolon 30N %Konsantre Kütlesi-Su Verimi Grafiği	34
Şekil 4.2.	Rheolon 30N Birikimli Zaman-Bakır Verim Grafiği	35
Şekil 4.3.	Rheolon 30N Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği	36
Şekil 4.4.	Rheolon 30N Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği	36
Şekil 4.5.	Rheolon 30N Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği	37
Şekil 4.6.	Rheolon 30N Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği	37
Şekil 4.7.	Rheolon 300N %Konsantre Kütlesi-%Su Verimi Grafiği	38
Şekil 4.8.	Rheolon 300N Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği	39
Şekil 4.9.	Rheolon 300N Birikimli Zaman-Nikel Verim Grafiği	39
Şekil 4.10.	Rheolon 300N Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği	40
Şekil 4.11.	Rheolon 300N Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği	40
Şekil 4.12.	Rheolon 300N Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği	41
Şekil 4.13.	Depramin 347N Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği	42
Şekil 4.14.	Depramin 347N Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği	42
Şekil 4.15.	Depramin 347N Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği	43
Şekil 4.16.	Depramin 347N Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği	43
Şekil 4.17.	Depramin 347N Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği	44
Şekil 4.18.	Rheoflo TNS 90 Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği	45
Şekil 4.19.	Rheoflo TNS 90 Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği	45
Şekil 4.20.	Rheoflo TNS 90 Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği	46
Şekil 4.21.	Rheoflo TNS 90 Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği	46
Şekil 4.22.	Rheoflo TNS 90 Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği	47
Şekil 4.23.	8860 GL GCA Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği	48
Şekil 4.24.	8860 GL GCA Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği	48
Şekil 4.25.	8860 GL GCA Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği	49
Şekil 4.26.	8860 GL GCA Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği.....	49
Şekil 4.27.	8860 GL GCA Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği	50

Şekil 4.28.	Baz Koşul için Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Kütle Denkliği Akım Şeması	52
Şekil 4.29.	Baz koşulun JK Sim Float 6.4’de deneysel verilerin hesaplanan verilere karşı çizilen grafiği	53
Şekil 4.30.	Rheolon 30N için Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Kütle Denkliği Akım Şeması	54
Şekil 4.31.	Rheolon 30N’nin JK Sim Float 6.4’de deneysel verilerin hesaplanan verilere karşı çizilen grafiği	55
Şekil 4.32.	Depramin 347N için Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Kütle Denkliği Akım Şeması	56
Şekil 4.33.	Depramin 347N’nin JK Sim Float 6.4’de deneysel verilerin hesaplanan verilere karşı çizilen grafiği	57
Şekil 4.34.	Baz Koşul için Kapalı Devre Temizlemeli Flotasyon Simülasyonu Akım Şeması	59
Şekil 4.35.	Rheolon 30N için Kapalı Devre Temizlemeli Flotasyon Simülasyonu Akım Şeması	60
Şekil 4.36.	Depramin 347N için Kapalı Devre Temizlemeli Flotasyon Simülasyonu Akım Şeması	61

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde	$Fe_{4,5}Ni_{4,5}S_8$	Pentlandit
g	Gram	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	Talk
kg	Kilogram	PbS	Galen
mg	Miligram	SO ₄	Sülfat
mm	Milimetre	CuSO ₄	Bakır Sülfat
µm	Mikrometre	ZnSO ₄	Çinko Sülfat
L	Litre	NaHSO ₃	Sodyum bisülfat
t	Ton	Na ₂ SiO ₃	Sodyum Silikat
cm ³	Santimetreküp	NaCN	Sodyum Siyanür
dk	Dakika	Na ₂ S ₂ O ₅	Sodyum metabisülfat
Cu	Bakır	-OH	Hidroksil Grubu
Zn	Çinko	-COOH	Karboksil Grubu
Ni	Nikel		
Fe	Demir		
Al	Alüminyum	Kısaltmalar	
Ca	Kalsiyum	CMC	Karboksimetil Selüloz
Mg	Magnezyum	SIBX	Sodyum izobütil Ksanta
Pb	Kurşun	MIBC	Metil izobütil Karbinol
K	Potasyum	XRF	X Işını Floresansı
NH ₂	Amin	FTIR	Fourier Dönüşümlü
FeOH	Demir Hidroksit		Kızılötesi Spektrometre
Fe ₂ O ₃	Hematit	ATR	Zayıflatılmış Toplam
Fe ₃ O ₄	Manyetit		Yansıma
CuFeS ₂	Kalkopirit	CRI	Canadian Royalties Inc.

1. GİRİŞ

Günümüzde tenörlerin düşmesi, serbestleşme tane boyunun küçülmesi ve mineralojik yapının karmaşıklaşmasından dolayı flotasyonla zenginleştirme daha önemli bir hal alarak yaygınlaşmıştır. Flotasyon, mineral yüzeylerinin hidrofobik veya hidrofilik özelliği farkından yararlanarak ayrılmalarını sağlayan fiziko-kimyasal bir zenginleştirme yöntemidir [1]. Konsantreye gelmesi istenmeyen minerallerin flotasyon reaktif gruplarından olan bastırıcılar kullanılarak, yüzeyleri hidrofilik yapılmakta ve atığa gitmesi sağlanmaktadır.

Flotasyonda kullanılan bastırıcılar, belirli bir mineralin yüzey özelliklerini değiştirerek, mineralin flotasyonunu engelleyen/baskılayan reaktiflerdir. Bastırıcılar genellikle flotasyonda seçimliliği artırmak ve konsantre kalitesini yükseltmek amacıyla kullanılırlar. Flotasyonda kullanılan bastırıcıları, inorganik ve organik olmak üzere iki ana sınıfa ayırabiliriz. Örneğin, sodyum siyanür, potasyum dikromat, sodyum silikat, sülfür dioksit gazı, sülfat ve tiyosülfat içeren inorganik bastırıcılar flotasyonda demir sülfürleri ve sülfürlü mineralleri bastırmak için yaygın olarak kullanılan bastırıcılardır. Ancak bunların insan sağlığı açısından toksik olabileceği ve içerdikleri ağır metallere dolayı çevreye karşıda zararlı olabilecekleri için kullanımları kontrollü ve sıkı denetimler ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum ek bir maliyet ve iş yükü getirmektedir. Oysa nişasta türevi bastırıcılar, sodyum karboksimetil selüloz (CMC) ve guar gum gibi organik bastırıcıların toksik etkisi yoktur ve çevreye zararlı değildir. Organik bastırıcılar bazı durumlarda inorganik bastırıcılar yerine kullanılabilirler. Tek dezavantajları, bu tür bastırıcılar oldukça uzun zincirli olduklarından dolayı bastırıcı etkisi inorganik bastırıcılara göre daha yüksektir ve dozaj kontrolünün çok iyi yapılması gerekmektedir aksi takdirde yüzebilen herşeyi bastırma tehlikesi de vardır. Ancak bastırıcı etkilerinin yüksek olması sebebiyle, talk gibi doğal yüzebilir minerallerin flotasyonunu bastırmak içinde kullanılabilirler.

Bu tez kapsamında amaç, Canadian Royalties Inc. Şirketine ait Nuvanik sahasından gelen bakır-nikel cevherindeki talkı organik bir bastırıcı türü olan CMC kullanarak bastırmak ve konsantrede verim kaybı olmadan ekonomik ve çevreci bir şekilde konsantre kalitesini arttırmaktır.

Son yıllarda artan hammadde ihtiyacına ek olarak, özellikle pandemi ile başlayan arzda ve tedarik zincirindeki problemlerden dolayı, yüksek verimde ve kalitede konsantre üretmek daha fazla önem kazanmıştır. Son yıllarda (2020-2022) bakır konsantre satış fiyatında %50 (Şekil 2.9) ve nikel konsantre satış fiyatındaki %100 (Şekil 2.16) artış meydana gelmiştir. Nikel cevherindeki bu yükselmenin en büyük sebeplerinden bir tanesi otomotiv sektöründeki değişimdir. Artan elektrik kullanımı ve elektrikli araçlara talebin artması çerçevesinde nikelin önemli bir metal olarak devam edeceği düşünülebilmektedir. Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri kritik hammaddeler çalışmalarına bakıldığında bu öngörü daha da güçlenmektedir [2, 3].

Bakır ve nikel cevherlerinde yüksek tenörde konsantreleri yüksek verimle kazanmak ekonomik ve stratejik önem arz etmektedir.

2. GENEL BİLGİLER

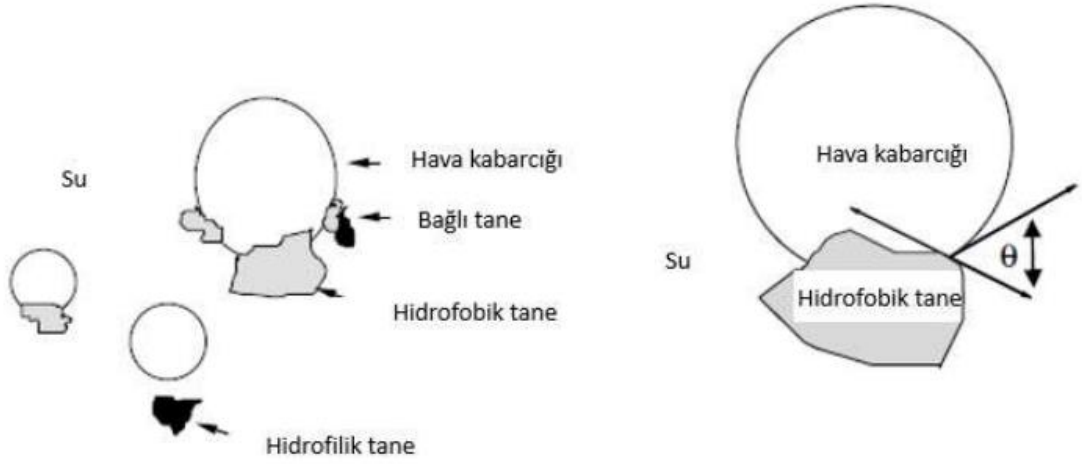
2.1. Canadian Royalties Inc. Hakkında Genel Bilgi

Canadian Royalties Inc. (CRI), Nunavik'te (Quebec eyaleti) Nunavik Nikel Projesi adı altında bir bakır ve nikel madeni işleten, merkezi Montreal'de bulunan özel bir madencilik şirkettir. CRI'in tamamı Çinli firma Jilin Jien Nickel Industry Co., Ltd.'e aittir. EXPO, ALLAMMAQ ve MEQUILLON gibi çeşitli madenlerden gelen cevher ile 4.500 ton/gün kapasiteli zenginleştirme tesisi ile 2013 yılı Şubat ayında üretim aşamasına geçilmiştir. Nikel ve bakır konsantreleri, ana EXPO kampından yaklaşık 120 km uzaklıktaki Deception Bay limanına her gün kamyonlarla taşınır ve depolanır. "Nunavik" adlı buz kırıcı bir gemi yılda yaklaşık yedi kez Deception'a gelir, denizaşırı ülkelerden operasyonel malzeme getirir ve Avrupa'ya teslim etmek üzere konsantre ile yüklenir [4].

2.2. Flotasyon

Flotasyon, bir mineralin veya malzemenin yüzeyinin hidrofilik ve hidrofobik özelliğinden faydalanarak, su içinde veya başka bir sıvı ortamda birlerinden ayrılmasını sağlayan fiziko-kimyasal bir cevher zenginleştirme yöntemidir [5]. Flotasyon yöntemi, gravite yöntemi ile ekonomik bir şekilde zenginleştirilemeyen düşük tenörlü veya karmaşık yapısı sebebi ile serbestleşme tane boyutu çok küçük olan cevherlerin seçimli bir şekilde zenginleştirilebilmesini sağlayarak, madencilik endüstrisinin gelişmesinde büyük pay sahibidir.

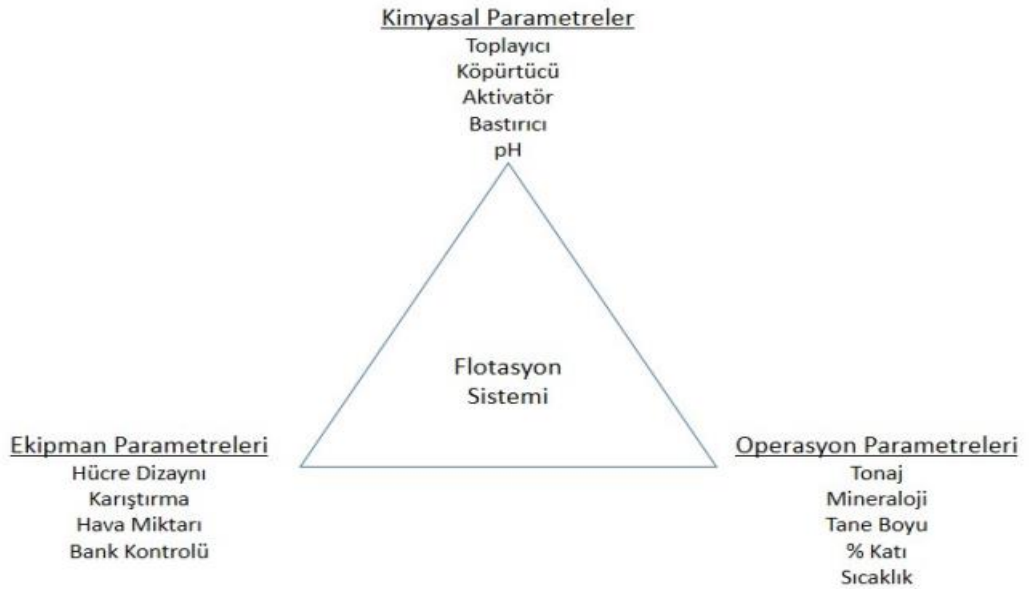
Hidrofobiklik, malzeme yüzeyinin ıslanabilirlik derecesidir. Cevher zenginleştirmede, mineraller su ile karıştırıldığında hızlı bir şekilde ıslanabiliyorlarsa su sever (hidrofilik) özelliği yüksek, eğer yüzeyinin ıslanma miktarı az ise su sevmez (hidrofobik) özelliği yüksek olur. Su sevmez özelliği yüksek mineraller sisteme hava verilerek flotasyon palpının (mineral ve su) içerisinde oluşturulan bir kabarcığa tutunur ve mineral ve hava kabarcığı birlikteliği sudan daha hafif bir yoğunluğa sahip olduğu için yukarı yönlü hareket etmeye başlar (Şekil 2.1) [6].



Şekil 2.1 Tanecik ve Kabarcık Etkileşimi

Minerallerin hidrofobiklik derecesi hava kabarcığı ile yaptığı temas açısı ile ölçülebilir (Şekil 2.1). Temas açısı (θ) ile hidrofobiklik derecesi arasında doğru orantı bulunmaktadır [6].

Flotasyon ile zenginleştirme yönteminde, kontrol altında tutulması gereken birçok değişken vardır. Bu değişkenler; kimyasal, ekipman ve operasyon parametreleridir. Bu parametreler Şekil 2.2’de detaylandırılmıştır [7].



Şekil 2.2 Flotasyon sistemi

Yukarıda Şekil 2.2’de verilen parametreler prosesimizin performansını yakından ilgilendirmektedir. Bu sebeple bu parametreleri sabit ve kontrol altında tutabilmemiz kritik bir öneme sahiptir.

2.3. Flotasyon Reaktifleri

Flotasyonun seçimli olarak gerçekleştirilebilmesi için, yüzdürmek istediğimiz mineralin yüzeyinin hidrofobik özellikte olması gereklidir. Sistemde bulunan yüzmesini istemediğimiz minerallerin ise hidrofilik kalmaları sağlanır. Bu koşulun oluşması için flotasyonda kullanılan çeşitli kimyasallara, reaktif adı verilmektedir. Flotasyon yönteminde kullanılan reaktifler aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır [5];

- Toplayıcılar
- Köpürtücüler
- Kontrol Reaktifleri
 - pH düzenleyicileri
 - Canlandırıcılar
 - Dağıtıcılar
 - Bastırıcılar

2.3.1. Toplayıcılar

Toplayıcılar, su ile karıştırıldığında hedef mineralin yüzeyine adsorbe olarak hidrofobik bir kaplama oluştururlar. Bu hidrofobik kaplama, mineralin suyla temasını azaltır ve hava kabarcıkları tarafından oluşturulan köpük tabakasına tutunmasını, böylece hava kabarcıklarıyla birlikte yüzeye çıkmasını sağlar. Toplayıcıların seçiciliği, hedef minerale göre farklılık gösterir ve sürecin etkinliğini belirler [8].

2.3.2. Köpürtücüler

Köpürtücüler genellikle su ile çözünebilir özelliktedirler. Flotasyon palpına eklene köpürtücü, hedef minerallerin veya metallerin hidrofobik yüzeylerini kaplayarak köpük tabakasının oluşumunu sağlar. Bu köpük tabakası, hava kabarcıkları ile birleşerek yüzeye çıkan hidrofobik mineral veya metal partiküllerinin hava kabarcıklarına tutunmasını ve köpük ürününde toplanmasını sağlar. Köpürtücüler, suyla karışabilme, hızlı etki gösterebilme, stabil köpük oluşumunu destekleyebilme gibi özelliklere sahiptirler ve flotasyon sürecindeki verimliliği etkileyebilirler. Köpürtücü maddelerin kimyasal yapıları ve etkileri, flotasyonun seçiciliğini, verimliliğini ve performansını belirleyen önemli faktörlerdendir [5].

2.3.3. Kontrol Reaktifleri

Flotasyon kontrol reaktifleri pH düzenleyiciler, canlandırıcılar, dağıtıcılar olarak üç alt gruplara ayrılmaktadır.

2.3.3.1. pH Düzenleyiciler

Flotasyon sürecinde pH, minerallerin yüzey özelliklerini etkileyen önemli bir faktördür. pH düzenleyiciler, flotasyonun hedef mineral ve metal partikülleri üzerindeki etkisini artırmak için kullanılır. pH düzenleyiciler, flotasyon palpına eklenerek çözeltinin pH değerini belirli bir aralıkta sabit tutarlar. Bu aralık, hedef mineral veya metalin hidrofobik veya hidrofilik karakteristik özelliklerine göre değişir. Örneğin, pH 3'de feldspat hidrofobik özellik gösterirken kuvars hidrofildir [9]. Bayraktar, İpekoglu ve Torun'un 1991 yılında yaptığı çalışmada pH 6,6-6,8 aralığına ayarlanarak sfalerit bastırılmış (hidrofilik), kalkopirit yüzdürülmüştür (hidrofobik). Bu sayede bakır konsantrasyonu %3-4 Zn ve %19-22 Cu içeriği ve yaklaşık %70-80 arası bir verimle üretilebilmektedir [10]. pH düzenleyiciler, hedef mineral veya metal partiküllerinin yüzey özelliklerini değiştirerek toplayıcının etkinliğini artırabilirler. Ayrıca, pH düzenleyicileri, flotasyon sürecindeki diğer reaktiflerin etkinliğini de etkileyebilirler ve stabil köpük oluşumu için gereklidirler. [11].

2.3.3.2. Canlandırıcılar

Canlandırıcılar, minerallerin yüzey özelliklerini değiştiren ve mineralin yüzeyindeki hidrofobik özellikleri arttıran reaktifler olarak tanımlanır. Canlandırıcılar, flotasyon işleminin verimliliğini artırmak için kullanılır. Bu reaktifler, köpürme işleminde yüzeye tutunmak için gereken hidrofobik kaplamayı mineral yüzeyine sağlarlar ve bu sayede mineral partiküllerinin hava kabarcıklarına daha güçlü bir şekilde yapışmasını sağlarlar. Bu işlem, mineral taneciklerinin köpükte toplanarak kazanılmasını sağlar [12].

2.3.3.3. Dağıtıcılar

Flotasyon reaktifleri arasında yer alan dağıtıcılar, genellikle çam terebentin yağı, sodyum silikat, karboksimetil selüloz (CMC) ve lignosülfonat gibi organik veya inorganik bileşiklerden oluşan bir grup kimyasal maddedir. Dağıtıcılar, palpın veya minerallerin yüzey gerilimini azaltarak, minerallerin daha homojen bir şekilde dağılmasını sağlarlar. Bu sayede flotasyon işlemi sırasında minerallerin ayrıştırılması daha kolay hale gelir [12].

2.3.4. Bastırıcılar

Flotasyonda kullanılan bastırıcılar, belirli bir mineralin yüzey özelliklerini değiştirerek, mineralin flotasyonunu baskılayan reaktiflerdir. Bastırıcılar genellikle flotasyonun seçimini artırmak ve yan ürünlerin ayırımını kolaylaştırmak amacıyla kullanılır [13].

Bastırıcılar, farklı minerallerin ayrılması için tasarlanmıştır. Örneğin, sodyum siyanür ve sodyum silikat bazlı bastırıcılar, demir-sülfür minerallerinin flotasyonunu bastırmak için kullanılırken, sodyum karboksimetil selüloz (CMC) bazlı bastırıcılar ise talk ve serpantin gibi magnezyum içeren ve genellikle doğal yüzebilir minerallerin flotasyonunu bastırmak için kullanılır [14].

Bastırıcılar, çalışma mekanizmalarına göre iki gruba ayrılır: adsorban ve su moleküllerinin hidrofobik yüzeylerini kapatıcı ve pasifleştirici bastırıcılar. Adsorban bastırıcılar, hedef minerallerin yüzeyine adsorbe olurlar ve hidrofilik bir kaplama oluşturarak hedef mineralin flotasyonunu baskırlar. Örneğin, sodyum siyanür (NaCN), çinko sülfat (ZnSO₄), sodyum bisülfid (NaHSO₃) ve sodyum metabisülfid (Na₂S₂O₅) adsorban bastırıcılara örnek olarak verilebilir. Su moleküllerinin hidrofobik yüzeylerini kapatan bastırıcılar ise, su moleküllerinin hedef mineral yüzeyine adsorbe olmasını engelleyerek, hedef mineralin flotasyonunu baskırlar. Bu bastırıcılar, sodyum silikat (Na₂SiO₃), karboksimetil selüloz (CMC) ve dextrin gibi polisakkaritlerdir [15].

Ayrıca flotasyon sürecinde kullanılan bastırıcılar, genel olarak iki ana gruba ayrılabilir:

1. İnorganik bastırıcılar: Örnek olarak sodyum siyanür (NaCN), sodyum metabisülfid (Na₂S₂O₅), potasyum dikromat (K₂Cr₂O₄) ve çinko sülfat (ZnSO₄) verilebilir. Bu tür bastırıcılar, özellikle metal sülfürlerinin flotasyonunu bastırmak için kullanılır. İnorganik bastırıcılar kimyasal olarak hidrofilitir ve çözeltide iyonik bağlar oluşturarak mineral yüzeylerine adsorbe olurlar. Bu nedenle, inorganik bastırıcılar adsorbanlar sınıfına girer.

İnorganik bastırıcıların çevreye ve insan sağlığına olumsuz etkisi organik bastırıcılara göre daha fazladır. Yukarıda sık kullanılan bastırıcılardan örnek vermek gerekirse sodyum siyanürün (NaCN) son derece toksit bir maddedir [14]. Sodyum metabisülfidin (Na₂S₂O₅) vucütte alerji oluşumu, mide duvarında tahriş ve solunum yolları tıkanıklığı etkileri vardır [17]. Potasyum dikromat (K₂Cr₂O₄) ciddi cilt yanıklarına ve göz hasarına yol açar. Alerjik cilt reaksiyonlarına yol

açar. [18]. Bu ve bunun gibi reaktifler ayrıca çevreye karşıda zararlı olabilecekleri için kullanımları kontrollü ve sıkı denetimler ile gerçekleştirilmektedir. Bu durum ek bir maliyet ve iş yükü getirmektedir.

2. Organik bastırıcılar: Örnek olarak naylon reçineler, selüloz türevleri, tanenler ve lignin gibi organik bileşikler verilebilir. Bu tür bastırıcılar, özellikle oksit ve silikat minerallerinin flotasyonunu bastırmak için kullanılır. Organik bastırıcılar su moleküllerinin hidrofobik yüzeylerini kapatan bastırıcılar sınıfına girer.

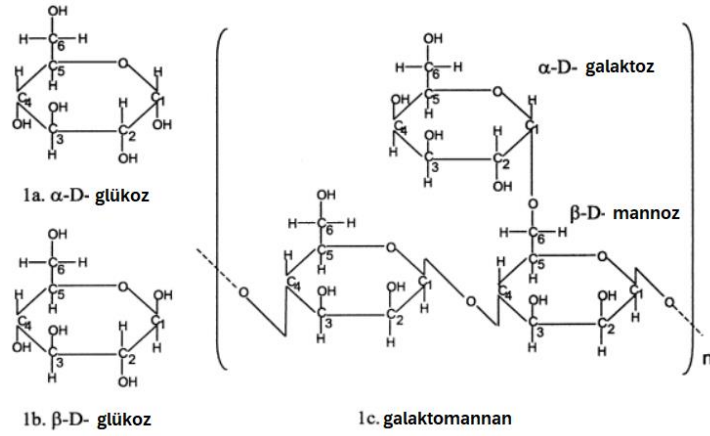
Ayrıca inorganik ve organik bileşiklerin bir kombinasyonundan oluşan karma bastırıcılar bulunmaktadır. Genellikle daha karmaşık cevherlerin flotasyonunda kullanılır. Karma bastırıcılar, hem adsorban hem de su moleküllerinin hidrofobik yüzeylerini kapatıcı olarak etki edebilirler [7].

2.3.4.1. Organik Bastırıcılar

Moleküllerin kimyasal bağlarla bağlanması sonucu oluşan yüksek molekül ağırlıklı maddelere polimer denir [14]. Organik bastırıcılar polimer denilen bu tekrarlanabilir birimlerin oluşturduğu uzun zincirli molekül yapılardan oluşmaktadır. Polimerler sentezlenirken kullanılan küçük molekül ağırlıklı birimlere “monomer” adı verilir. Polimerlerin bastırıcı etkilerinin temelini, sahip oldukları on binlerce monomerin oluşturduğu çok yüksek molekül ağırlıkları oluşturur.

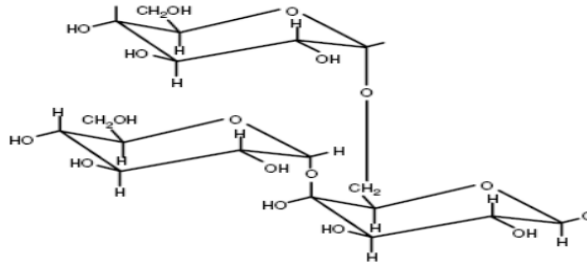
Polisakkaritler ise karbonhidrat polimerlerinin alt kategorisinde bulunur, doğal olarak oluşan organik polimerlerdir. Polisakkaritler, doğal polisakkaritler ve fonksiyonel gruplar eklenerek yapıları değiştirilmiş polisakkaritler olarak (modified polymers) sınıflandırılabilir. Nişasta, dekstrin ve guar gum doğal polisakkaritlere, CMC’de (karboksimetil selüloz) modifiye edilmiş polisakkaritlere örnek verilebilir [19]. Hidroksil grupları, doğal polisakkaritlerin polimer zincirinde bulunan tek polar gruptur (Şekil 2.3) [21]. Hidroksil grupları polimere hidrofilik özellik kazandırmaktadır ve böylece bastırıcı olarak kullanılabilir [5]. Aşağıda doğal polisakkaritler kısaca açıklanmıştır.

- Nişasta: Demir sülfür minerallerinin bastırılmasında kullanılır. Demir sülfür mineralleri genellikle bakır ve çinko flotasyon süreçlerinde istenmeyen yan ürünler olarak kabul edilir. Ayrıca nişasta kurşun-çinko flotasyonunda kurşun minerallerini bastırarak çinko minerallerinin seçimli bir şekilde flotasyon köpüğüne tutunmalarını sağlar [21].



Şekil 2.3 Hidroksil Grubu Polisakkaritlerin Bağ Yapısı

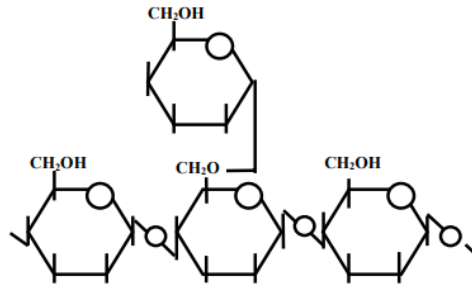
- Dekstrin: Yapısı α D-glikoz şeklindedir (Şekil 2.3’de 1a.) ve soğuk suda çözünebilirliği nişastaya göre daha yüksektir. Dekstrin nişastanın kuvvetli asidik koşullarda ısısal bozunması (thermal degradation) sonucu oluşmaktadır. Dekstrin ve nişasta arasındaki tek yapısal fark, dekstrinin daha küçük ve dallı bir yapıya sahip olmasıdır. Özellikle demir sülfür minerallerinin bastırılması için kullanılan bir polimerdir (Şekil 2.4) [22].



Şekil 2.4 Dekstrinin Bağ Yapısı

- Guar Gamı: Guar gamı (Şekil 2.5), guar bitkisinden elde edilen bir karboksil grubu içeren polisakkarittir. Yüksek molekül ağırlığı sebebi ile güçlü flokülant özelliğe sahiptir. Flotasyonda bastırıcı olarak kullanılabilir. Silikat minerallerinin flotasyonunu bastırmak için etkilidir [19]. Parsonage ve arkadaşları tarafından 1984 yılında yapılan çalışmada ise, dekstrin, nişasta ve guar gumın sülfürlü minerallerin flotasyonunda silis, kalsit ve dolomit gibi minerallerin bastırılmasında etkileri detaylıca incelenmiştir [20, 24]. Guar gum'ın pH 4’te seçimli bir şekilde, bakır-kurşun

flotasyonunda galeni bastırmada oldukça etkili olduğu ve endüstriyel olarak uygulandığı belinmektedir [24].

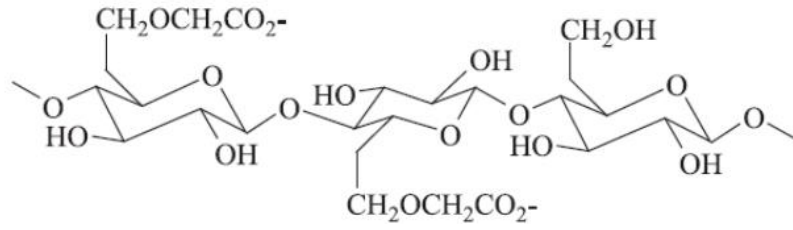


Şekil 2.5 Guar Gam Bağ Yapısı

- o Selüloz: Doğal bir polisakkarit olan selüloz sadece karboksimetil selüloz (CMC) haline modifiye edilirse flotasyonda bastırıcı olarak kullanılabilir. Selülozik bileşiklerin bastırıcı etkileri ise molekül ağırlığına ve yapısal özelliklerine bağlıdır. Düşük molekül ağırlıklı selüloz esterleri, silikat ve fosfat minerallerinin bastırılmasında kullanılırken, yüksek molekül ağırlıklı selüloz esterleri, kalsiyum, barit ve talkı bastırmak için kullanılır [25].

2.3.4.1.1. Karboksimetil Selüloz (CMC)

CMC (Şekil 2.6), demir (hematit ve magnetit) ve demir sülfür (pirit ve markazit) minerallerini bastırmak için kullanılır. Özellikle hematit (Fe_2O_3) ve manyetit (Fe_3O_4) gibi demir mineralleri üzerinde etkilidir [26]. Ayrıca, kurşun ve çinko flotasyonunda kurşunun bastırılması için kullanılır. Böylece kurşun minerallerinin hidrofilik yüzeylerini kaplayarak köpüğe tutunmalarını azaltır ve çinko minerallerinin seçimli bir şekilde konsantride toplanmasını sağlar. CMC, bakır oksit minerallerini bastırmak için de kullanılmaktadır [27]. Flotasyonda talk ($Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$), mika ve kuvars gibi silikat mineralleri, genellikle istenmeyen yan ürünlerdir. CMC bu mineralleri bastırarak konsantrenin kalitesinin düşmesini engeller. Talk mineralinin yüzeyi, CMC gibi hidrofilik bir polisakkarit ile kaplanarak, hidrofobik kabarcıklara tutunmasını engeller. Böylece talk minerali bastırılmış olur [29].



Şekil Error! Use the Home tab to apply 0 to the text that you want to appear here.6

Bir CMC Çeşidinin Bağ Yapısı

Bicak ve arkadaşlarının 2007 yılında yaptığı çalışmada; guar gumın, pirit için CMC'lere göre daha güçlü bastırıcı etkiye sahip olduğu görülmüştür. Guar gum 0,1 ppm gibi çok düşük dozajlarda bile etkili olmuştur. Piritin flotasyonunda, sisteme kalsiyum iyonlarının eklenmesi ve kullanılan bastırıcının molekül ağırlığı önemli bir etki göstermemiştir. En yüksek bastırıcı etki pH 9'da elde edilmiştir [28].

B. Fletcher ve arkadaşları tarafından 2020 yılında yapılan bir çalışmada piritin bastırılması hedeflenmiştir. Bastırıcı kullanılmayan koşulda pirit verimi (bakır aktivasyonu olmadan) %33 civarındadır. Bakırla aktifleştirilen pirit için verim %76,0'dır. NWS (native wheat starch) ilavesinin 100 g/t'den 700 g/t'ye çıkarılması, verimi istikrarlı bir şekilde %67,2'den %4,0'a düşürür. Hem CMC hem de Perox 3/30, 100 g/t ve 300 g/t dozajlarında NWS ile karşılaştırıldığında bastırma performansında benzer fakat dozaj kullanımında belirgin bir iyileşme göstermektedir. Ancak iyileşme CMC dozajına daha az bağımlı hale gelir. NWS, Perox 3/30 dozajına bağlı kalır. CMC için pirit verimi, 300 g/t'de %21,1'den 700 g/t'de %16,6'ya düşerek çok az değişiklik gösterir. Perox 3/30 uygulandığında elde edilen verim, 300 g/t'de %23,3'ten 500 g/t'de %2,0'a düşer [30].

Liu ve arkadaşları tarafından 2019 yılında yapılan bir araştırmada CMC'nin talk flotasyonuna etkisi incelenmiştir. Bu çalışmada, CMC'nin talk flotasyonunu baskılamada etkili olduğu ve optimal konsantrasyonunun 150 mg/L olduğu bulunmuştur. Ayrıca, CMC'nin hidrofilik yapısının, talk mineraline bağlanmadan önce hidrofobik kabarcıkların oluşumunu engellediği gösterilmiştir [31].

Bulut ve Yurtsever tarafından 2021 yılında yapılan çalışmada, CMC'nin talkın flotasyonda bastırılması için kullanılmasıyla ilgili bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, CMC'nin talk mineralini bastırmada diğer organik bastırıcılara kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği ve optimum konsantrasyonunun 100 mg/L olduğu bulunmuştur [32].

Khraisheh ve arkadaşları tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada, CMC'nin flotasyonda talk mineralini bastırmak için kullanımı, farklı pH değerlerinde incelenmiştir. Bu çalışmada, CMC'nin pH 6-12 aralığındaki farklı konsantrasyonlarının kullanımı ile, talk mineralinin flotasyonda bastırılması başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. pH değeri arttıkça, CMC'nin talkı bastırma etkisinin arttığı görülmüştür [33].

Talk, tipik Güney Afrika platin cevherlerinin gang mineralidir. İncelenen bu çalışmada Polimer bastırıcı olan karboksimetil selülozun (CMC) talk üzerindeki davranışı potasyum, magnezyum ve kalsiyum iyonlarının iyonik kuvvetinin bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. CMC'nin en önemli özelliklerinden biri substitusyon derecesidir (DS). Bu sadece CMC moleküllerinin çözünürlüğünü etkilemekle kalmaz, aynı zamanda çözelti özelliklerini de etkiler. Tanım olarak DS, anhidroglukoz birimi başına ortalama karboksimetil grubu sayısıdır. Teorik olarak en fazla 3 değerini alabilir; ancak piyasada bulunan CMC için normal DS aralığı yaklaşık 0,5-1,5'tir. CMC'nin moleküler ağırlığının etkisi araştırılmış ve çeşitli deneysel koşullarda adsorpsiyon izotermi oluşturulmuştur. Adsorpsiyon izotermi, düşük CMC molekül ağırlıklarında daha az önemli olan iki platolu adsorpsiyonun varlığını açıkça göstermiştir. CMC'nin moleküler ağırlığı arttığında talkı bastırmada sistematik bir artış gözlenmiştir. İyonların varlığının talk adsorpsiyonu üzerinde olumlu bir etkisi olduğu görülmüş, Mg^{+2} , Ca^{+2} ve K^{+2} iyonik gücünün 10^{-3} 'ten 10^{-2} 'ye çıkarılması adsorpsiyonu önemli ölçüde artırmıştır. İki değerlikli katyonların varlığı, tek değerlikli katyon K^{+} ile karşılaştırıldığında genel olarak talkın daha yüksek oranda bastırılması sağlamış, Ca^{+2} iyonları ise talkı bastırmada en büyük etkiye sahip olmuştur [33].

Organik bastırıcılar talk yüzeyine fiziksel olarak adsorbe olur ve molibdenitten ayrılmasını sağlar. Organik bastırıcıların pH 9'da talk mineralini bastırdığı ve bu etkinin daha alkali veya asidik koşullar altında kademeli olarak kaybolduğunu ileri sürülmüştür. 50 g/t bastırıcı kullanılan deneyde konsantre kütlesi %52,4'tür. %46 tenörlü molibdenit %84,4 verimle kazanılmıştır. Bastırıcısız deneyse ise konsantre kütlesi %85'dir. %32,7 tenörlü molibdenit %96,5 verimle kazanılmıştır. Organik bastırıcıların etkisi metal iyonları tarafından farklı derecelerde arttırılabilir. Örneğin, CMC'nin talk mineralin bastırmak etkinliğini arttırmak için Al^{+3} ilavesi, CMC'nin adsorpsiyonunu önemli ölçüde

kolaylaştırır ve talkı bastırmasını güçlendirir. Buna ek olarak, CMC'nin klorit üzerindeki bastırıcı etkisi Cu^{+2} ve Ca^{+2} iyonlarından etkilenir; Cu^{+2} iyonları arttıkça CMC'nin klorit yüzeyine tutunması artarken, Ca^{+2} 'nin etkisi daha azdır [34].

Genel olarak, organik polimerleri bastırıcı olarak etkilerini artırmak için flotasyon devresine metal iyonları eklemek gereklidir. Sülfürlü cevher flotasyonunda, Al^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , Pb^{+2} , Zn^{+2} , Cu^{+2} ve Fe^{+3} gibi metal iyonları palpta eklenen en tipik metal iyonlarıdır [35].

2022 yılında Wang ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, CMC'nin farklı pH'da kalkopirit flotasyonu üzerindeki bastırıcı etkisi Fe^{3+} ve Ca^{2+} varlığında araştırılmıştır. pH 4'te kalkopirit yüzeyindeki Fe^{+} ve FeOH^{+} içeriği pH 12'dekinden çok daha fazla olduğu görülmüştür [36].

2017 yılında López-Valdivieso ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada CMC'nin galen (PbS) üzerine adsorpsiyonu; elektrokinetik, adsorpsiyon ve ATR-FTIR spektroskopik çalışmaları ile incelenmiştir. Ayrıca, kalkopirit (CuFeS_2) ve galen üzerindeki CMC adsorpsiyonunu karşılaştırılmıştır. Minerallerin oksidasyonunun yüzebilirlik ve CMC adsorpsiyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Oksidasyon, PbS yüzeyinde sülfat bileşenleri oluşturarak CMC'nin adsorpsiyonunu aktive eder ve bu sayede PbS yüzeyi, adsorbe edilen etil ksantattan kaynaklanan hidrofobikliğin üzerine hidrofilik hale gelir. Galenin yüksek yüzebilirliği CMC tarafından büyük ölçüde engellenirken, kalkopirit etkilenmemiştir. Toksik olmayan polisakkarit olan CMC'nin, kalkopiriti yüzdürürken galeni bastırması kurşun ve bakırın birbirinden ayrılmasını sağlamaktadır [37].

CMC'nin arsenopirit üzerindeki bastırıcı etkisi ve kalkopiritten ayrılması hakkında yeterli veri bulunmamaktadır. Bu nedenle Wang ve arkadaşları tarafından 2023 yılında yapılan çalışmada CMC arsenopiriti bastırmak için kullanılmıştır. Ayrıca, Ca^{+2} iyonlarının CMC'nin bastırıcı özelliğine etkisi de araştırılmıştır. Yapılan çalışmada sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- 1) Tek başına CMC kullanımı Cu-As ayrımını sağlayamamıştır.
- 2) CMC'nin arsenopirit üzerindeki bastırıcı etkisi Ca^{+2} varlığında büyük ölçüde artmış ve kalkopirit arsenopiritten başarılı bir şekilde ayrılmıştır.

3) Ca^{+2} ile yüzey modifikasyonu, CMC'nin arsenopirit yüzeyine seçici olarak adsorpsiyonunu sağlamıştır.

4) Kalsiyum hidroksit iyonları, Ca^{+2} modifikasyonundan sonra arsenopirit yüzeyine seçici olarak tutunmuş, yüksek elektrofilik güce sahip olmuş ve köprülleme etkisiyle CMC adsorpsiyonunu daha da arttırmıştır.

Bu çalışma, kalkopirit flotasyonu sırasında arsenopiritin seçici olarak bastırılması için yeni bir şema ortaya koymuştur, CMC ve Ca^{+2} iyonunun kombinasyonu Cu-As ayrılmasında umut vericidir [38]. Çalışma ile ilgili ayrıntılı veriler Ek-4'de verilmiştir.

2.4. Dünyada Bakır Üretimi

Bakır, insanoğlu tarafından yaklaşık 7000 yıldır kullanılmaktadır. İnsanlık tarihinde ilgi çeken ilk metal altın olmasına rağmen, metallerin işlenerek eşya olarak kullanılması bakırın keşfi ile başlamıştır. Bakırın keşfi ile birlikte taş devrinden sonraki döneme ismini veren tunç devri (M.Ö. 3000-1800), daha modern bir yaşamın başlangıcı olmuştur. Tunç devrinde insanlar bakırın çok kolay şekillendirilebilen (işlenebilen) bir metal olduğunu keşfetmişlerdir ve eşyalarını bakır kalay alaşımı olan tunçla üretmişlerdir. Arkeolojik çalışmalar, bakır üretiminin artışının medeniyetin gelişmesi ile arasındaki paralelliği ortaya koymaktadır ve bakırın önemi insan hayatında her geçen gün daha da artmıştır. Dünyada en fazla bakır cevheri üreten ülkeler; ABD (Amerika Birleşik Devletleri), Avustralya, Çin, Kongo, Peru ve Şili'dir [39].

2016 yılında Şili 5,5 milyon ton bakır metal üretimi yaparak diğer ülkeleri geride bırakmıştır. Bakır üretiminde dünyada bölgesel bazda ikinci sırada bulunan Asya kıtası, son yıllarda ekonomisinde büyük gelişme kaydetmiştir. Filipinler'deki Tampakan bakır ve altın yatağının önümüzdeki yıllardaki potansiyeli dikkat çekmektedir. Bakır içeriği %0,6 olan maden sahası 2,4 milyar ton rezerve sahiptir. Bölgede önemli yer tutan sahalarda arasında Afganistan'da bulunan Ainak bakır maden sahası ve Rusya'nın doğu Sibirya bölgesinde yer alan Udokan Cu-Ag maden sahalarda da bölgede önemli yere sahiptir. Kuzey Amerika kıtası dünya bakır üretiminde önemli bir yer tutan madene ev sahipliği yapmaktadır. Bingham Kanyonu Bakır Madeni ABD'nin bakır metal ihtiyacını karşılayan en önemli yataklardan biridir [32]. Çizelge 2.1'de dünyada bazı ülkelerin 2019 ve 2020 yıllarındaki bakır metal üretimi verilmektedir. Şekil 2.9'da ise 2016-2023 yılları arası değişkenlik gösteren bakır metal fiyatları verilmiştir [3].

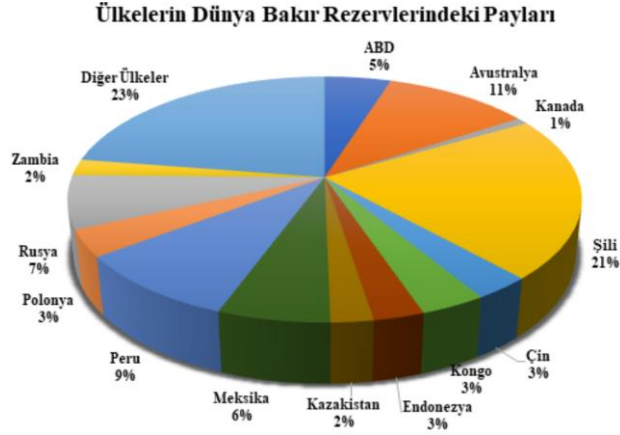
2019’da küresel ölçekte 20,4 milyon ton olan bakır üretimi, Kovid-19’un Nisan ve Mayıs aylarını etkilemesiyle, 2020 yılında 20 milyon tona gerilemiştir. Rafine bakırın küresel ölçekte üretiminde ise 2019’da 24,5 milyon tondaki miktar 2020 yılında 25 milyon tona yükselmiştir. Bu durumun başlıca sebebi ise 2019 yılında birden fazla izabenin eş zamanlı bakım ve iyileştirmeler için uzun süreli duruş vermesidir [40].

Çizelge 2.1 Bazı ülkelere ait özel şirket ve hükümet verileri içeren bakır üretimi bilgileri (Bin ton). [41]

	Maden Cu Üretimi		Rafineri Cu Üretimi		Rezerv
	2021	2022	2021	2022	
ABD	1.230	1.300	971	1.000	44.000
Avusturalya	813	830	385	380	97.000
Kanada	550	530	287	310	7.600
Şili	5.620	5.200	2.270	2.100	190.000
Çin	1.910	1.900	10.500	11.000	27.000
Kongo	1.740	2.200	1.450	1.700	31.000
Almanya	-	-	615	620	-
Endonezya	731	920	290	300	24.000
Japonya	-	-	1.510	1.600	-
Kazakistan	510	580	500	510	20.000
Güney Kore	-	-	647	610	-
Meksika	734	740	473	470	53.000
Peru	2.300	2.200	336	290	81.000
Polonya	391	390	578	590	30.000
Rusya	940	1.000	981	1.100	62.000
Zambiya	842	770	354	350	19.000
Diğer	2.850	3.400	3.170	3.000	200.000
Toplam	21.200	22.000	25.300	26.000	890.000

Şekil 2.7’de 2022 yılı itibarıyla küresel ölçekte toplam bakır rezervi 890 milyon ton olarak ön görülmekte olup Şili %21 pay ile bakır rezervleri dağılımında en büyük orana sahip ülke konumunda, Avustralya %11 ve Peru %9’luk payları ile Şili’yi takip etmektedir. Aynı zamanda Şili 5,2 milyon ton metal bakır üretimi ile dünya bakır üretiminde 1. sırada iken bunu 2,2 milyon ton ile Peru, 1,9 milyon ton ile Çin takip

etmektedir [2]. Şekil 2.8’de ise dünyada üretilen bakırın yıllara dağılımının sütun grafiği verilmiştir. 2016-2020 yılları arasında neredeyse aynı üretim miktarına sahip bakır, 2021 ve 2022 yıllarında bakır üretimi artış göstermiştir.

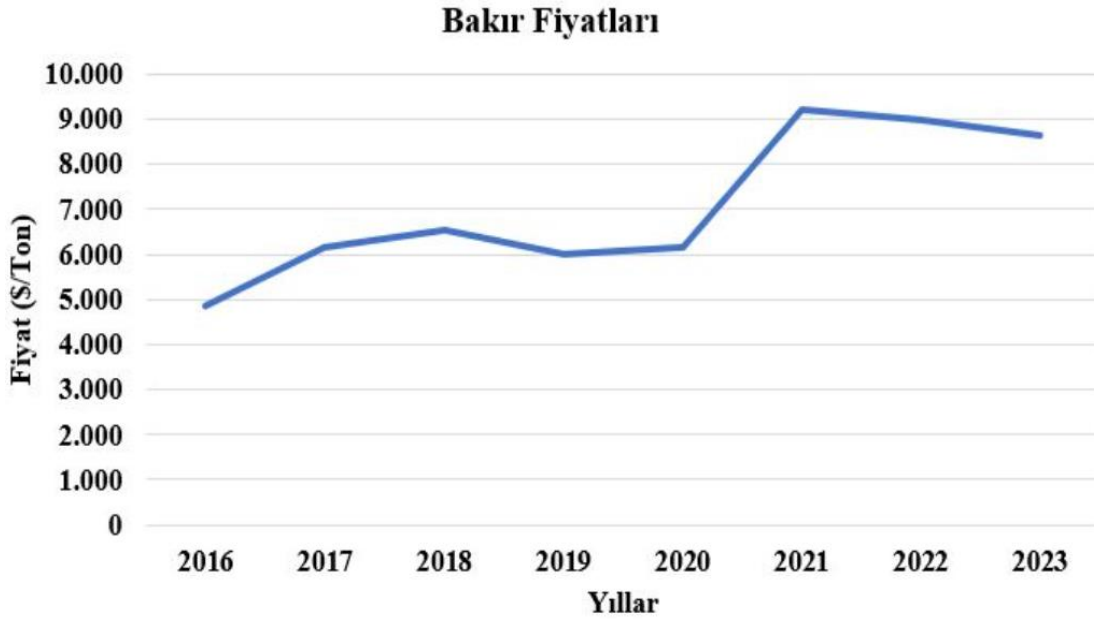


Şekil 2.7 Bazı ülkelerin dünya bakır rezervlerindeki paylarının (%) dilim grafiği [2]



Şekil 2.8 2012-2022 yılları arası dünya bakır üretim miktarı sütun grafiği [2]

Bakır fiyatlarında 2021-2022 yılı itibarıyla düşüş görülmüştür. 2020 yılı ortalama bakır fiyatı 6.170 \$/ton olarak fiyatlanırken, 2021 yılı fiyat ortalaması 9.223 \$/ton, 2022 yılında ise 8.996 \$/ton, 2023 yılı ortalarında (mayıs-haziran) ise ortalama 8.633 \$/ton olarak gerçekleşmiştir (Şekil 2.9) [2].



Şekil 2.9 2016-2023 yılları arası bakır metal satış fiyatı (\$/t) çizgisel grafiği [34]

2.5. Türkiye’de Bakır Üretimi

Ülkemizde 2022 yılı verilerine göre toplam tüvenan bakır cevheri üretimi 5,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2022 yılında üretim miktarlarına göre bakır üretimi yapılan iller Kastamonu, Siirt, Adıyaman, Artvin, Giresun, Çanakkale, Rize, Elazığ, Malatya, Kütahya, Kırşehir, Bitlis, Ordu. Samsun İzabe ve Elektroliz Tesisinde ise blister ve rafineri bakır üretimi yapılmaktadır [2].

Şekil 2.10’da 2019 yılında Türkiye’de tüvenan bakır üretiminde ciddi bir düşüş meydana geldiği görülmektedir. Aynı grafikte 2021 yılına kadar üretimde artış olduğu kaydedilmiştir.



* Kahramanmaraş'ta meydana gelen depremlerden etkilenen yerler için mücbir sebep hali kaynaklı beyan süreleri (15.08.2023) uzatıldığından 2022 yılına ait üretim bilgilerinin güncellenmesi devam etmektedir.

Şekil 2.10 Türkiye'de 2017-2022 yılları arası üretilen tüvenan bakır cevheri sütun grafiği [2].

Ülkemiz Bakır cevherleri ve zenginleştirilmiş bakır cevherleri ihracatı 2022 yılında bir önceki yıla göre %23 'lük bir artışla son 6 yılın en yüksek seviyelerine çıkararak 387.680 ton olmuştur (Şekil 2.11) [2].



Şekil 2.11 2016-2022 yılları arası Türkiye tüvenan bakır ihracat/ithalat miktarı sütun grafiği [2]

2.6. Dünyada Nikel Üretimi

Nikel yer kabuğundaki yaygın olarak bilinen elementlerden olup, yaklaşık bir asırdır endüstride kullanılmaktadır. 1848 yılında modern anlamda ilk nikel üretimi Norveç'te gerçekleştirilmiştir. Paslanmaz çelik üretiminde kullanılan nikel, 1889 yılında endüstride

çelik üretiminin başlaması ile, kaplama ve döküm sektörleri için en önemli metallere biri olmuştur. Nikel oksitlenmeye karşı gösterdiği dirençten dolayı günümüzde alaşımların üretiminde yaygın olarak kullanılmakta ve değeri her geçen gün artmaktadır [42].

Yerkabuğunda % 0,008 oranında bulunan nikel, çekirdeğin derin kısımlarında en çok bulunan beş element sırasıyla; demir, oksijen, silis, magnezyum ve nikel dir. Doğada saf olarak bulunmaz ve çoğunlukla kobalt ve demir ile birlikte sülfidler, oksitler ve silikatlar şeklinde oluşur. En önemli nikel mineralleri; pentlandit ($Fe_{4,5}Ni_{4,5}S_8$), nikelin ($NiAs$), millerit (NiS), anaberjit ($Ni_3(AsO_4)_{28}H_2O$), kloantit ($NiAs_2$) ve garniyerit ($(NiMg)_3Si_2O_5(OH)_4$) dir [42].

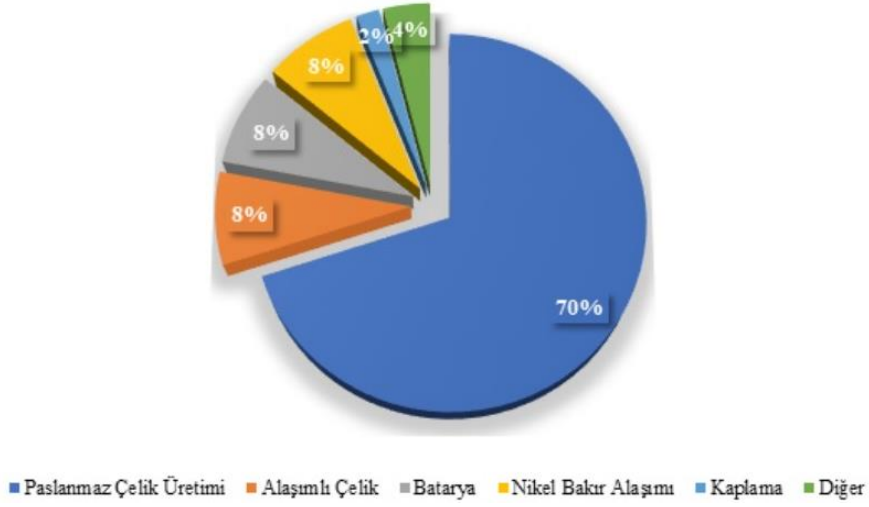


Pentlandit

Şekil 2.12 Pentlandit minerali görünümü

Nikel iki tür maden yatağından üretilir. Bunlardan birincisi; lateritik yataklardır. Bu cevher yataklarının ana mineralleri limonit ve garniyerittir. İkincisi ise; ana minerali pentlandit (Şekil 2.12) olan sülfidik yataklardır. Dünyada bulunan nikel rezervinin yaklaşık % 60'ı lateritik yataklarda, % 40'ı ise sülfidik yataklarda oluşmuştur. Madencilikte nikelin işletilebilir en düşük tenörü (cut-off grade); lateritik yataklar için %1, sülfidik yataklar için %0,2 dir. Aynı yataktan kobalt üretimi yapılabilmesi için Co/Ni oranının 1/30 olması gerekmektedir. Günümüzde nikel üretimi çoğunlukla sülfidik yataklardan elde edilmektedir [42].

Sektörel Kullanım Alanları



Şekil 2.13 Nikelin dünyda sektörel bazlı %kullanımını gösteren daire grafiği

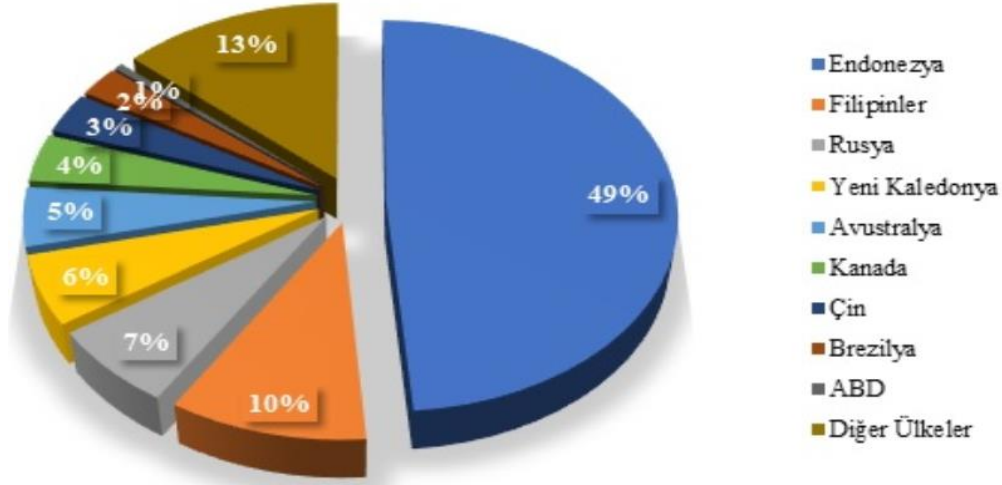
Bir alaşım metali olan nikelin Dünya Nikel Enstitüsüne göre sektörel bazlı kullanımını gösteren daire grafik Şekil 2.13’de verilmiştir. Üretilen nikelin en büyük kısmı %70 ile paslanmaz çelik üretiminde, ayrıca korozyona dirençli alaşımların yapımında da kullanılmaktadır. Nikelin alüminyum, bakır, krom, kurşun, kobalt, gümüş ve altın ile yapılan alaşımları mevcuttur. Nikel, çok yüksek ve çok düşük ısılarda gösterdiği dayanıklılık sebebiyle, içten yanmalı ve elektrikli motor parçalarının (gaz türbinleri, jet motorları vb.) yapımında kullanılır. Günümüzde nikel yaklaşık 300 bin çeşit üründe kullanılmaktadır. Kullanılan sektörlerin başında havacılık, ulaştırma, denizcilik ve inşaat, mimari uygulamalar, tıbbi cihazlar ve madeni para yapımı gelmektedir [3].

USGS’nin 2023 yılında yayımlanan verilerine göre bilinen en önemli nikel yatakları; Avustralya, Rusya, Brezilya, ve Küba, Yeni Kaledonya, Filipinler ve Endonezya’da bulunmaktadır [41].

Amerikan Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS, Mineral Commodity Summaries, 2023) 2023 yılında yayımlanan raporuna göre bazı ülkelerin metal nikel rezervi; ilk sıralarda yer alan ülkelerden, Avustralya’da 21 milyon ton, Endonezya’da 21 milyon ton, Brezilya’da 16 milyon ton, Rusya’da 7,5 milyon ton ve Yeni Kaledonya’da 7,1 milyon tondur [41].

Dünyada son yıllardaki nikel üretimi sürekli artış göstermektedir. 2022 yılında dünyada toplam nikel üretimi 3,3 milyon tondur [3]. Şekil 2.14'te 2022 yılında dünyada üretilen nikelin ülkelere göre yüzdesel dağılımı daire grafiği şeklinde verilmiştir.

2022 Yılı Ülkelere Göre Üretim Dağılımı



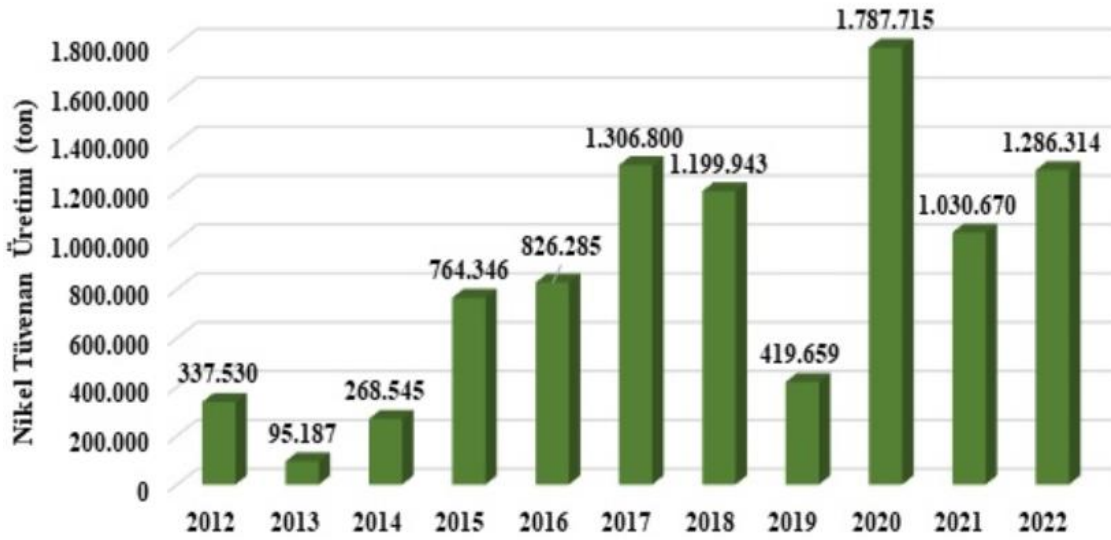
Şekil 2.14 2022 yılında dünyada bazı ülkelerin nikel %üretimlerini gösteren daire grafiği

Amerikan Jeoloji Araştırmaları Kurumunun (USGS, Mineral Commodity Summaries) 2023 yılı raporunda yer alan, 2022 yılının nikel üretim verilerine göre lider olan Endonezya'da 1.600.000 ton, Filipinler'de 330.000 ton ve Rusya'da 220.000 ton nikel üretimi gerçekleşmiş olup, onları Yeni Kaledonya 190.000 ton, Avustralya 160.000 ton, Kanada 130.000 ton, Çin 110.000 ton ve Brezilya 83.000 ton nikel üretimi ile takip etmiştir. Son yıllarda Çin'in sanayi ve ekonomisi güçlü bir şekilde gelişmektedir. Bunun bir sonucu olarak önemli bir nikel üreticisi ve tüketicisi haline gelmiştir [3].

2.7. Türkiye'de Nikel Üretimi

Türkiye'de ekonomik ve işletilebilir olan nikel yatakları Manisa-Gördes, Manisa-Çaldaş ve Eskişehir-Mihalıççık-Yunus Emre madenlerinde bulunmaktadır. Diğer bölgelerdeki cevher sahaları ekonomik olarak işletilebilir tenörün altında olduğu için üretim aşamasına geçilmemiştir. Özellikle 2000'li yıllarla nikel fiyatlarının hızlı yükselişi ile başlayan özel sektör girişimleri, Türkiye'de nikel madenciliğinin gelişmesinde büyük bir etken olmuştur [3]. Şekil 2.15'de 2012-2022 yılları arasında Türkiye'de üretilen tüvenan nikel miktarı verilmiştir. 2018 yılında düşen üretim, 2020 yılında zirve yapmıştır.

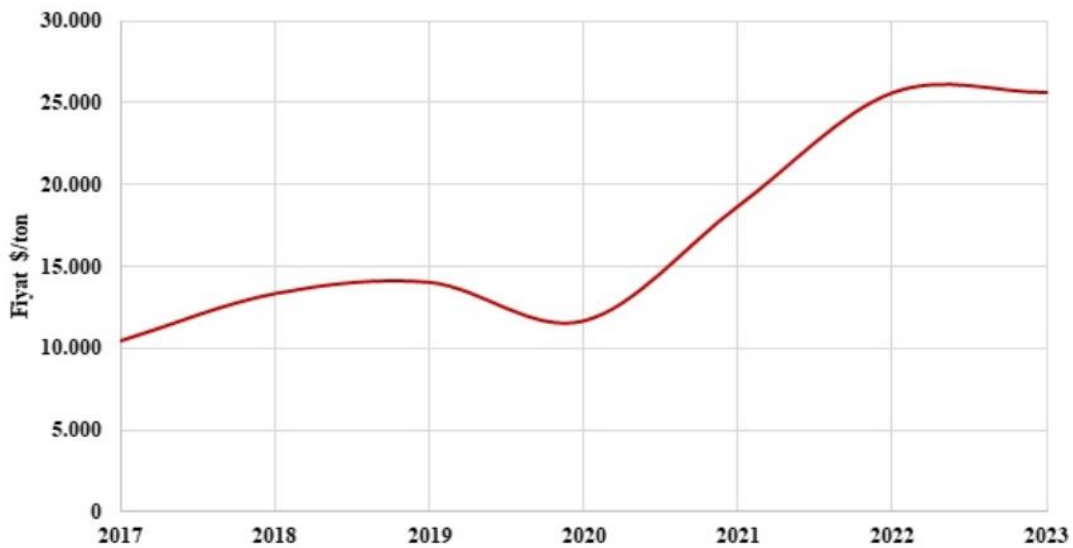
Nikel Üretimi (Tüvenan)



Şekil 2.15 Türkiye’de 2012-2022 yılları arası tüvenan nikel cevheri üretimini gösteren sütun grafiği

2019 yılında ortalama nikel fiyatı 15.000 \$/ton fiyatının altında kalmış olup, 2020 yılında 10.000 \$/ton seviyesine kadar düşmüştür. Kovid-19 salgını sonrası emtia fiyatlarında yükselişe sebep olmuştur. Bu yükselişe paralel olarak 2021-2023 yıllarında nikel fiyatı artarak 25.000 \$/ton seviyesinin üzerine çıkmıştır (Londra Metal Borsası LME, 2023). Şekil 2.16’da nikelin metal satış fiyatının yıllara dağılımını ayrıntılı bir şekilde inceleyebiliriz.

Nikel Fiyatları



Şekil 2.16 2017-2023 yılları arası nikel metal satış fiyatını (\$/t) gösteren çizgisel grafik

Elektrik kullanımında ki ve elektrikli araçlara olan talebin artması sonucunda nikelin önemli bir metal olarak devam edeceği düşünülebilmektedir. Avrupa Birliği'nin ve Amerika Birleşik Devletleri'nin kritik hammaddeler çalışmalarına bakıldığında bu öngörü daha da güçlenmektedir [3].

Her yıl dünyada yaklaşık olarak 40 milyon ton nikel cevheri ve nikel konsantresinin ticareti yapılmaktadır. Çin %79 satın alma oranı ile bu cevherin en büyük alıcısıdır. Bunu sırasıyla Japonya ve Güney Kore izlemektedir. Bu üç ülke üretilen dünya nikel cevherinin %97'lik kısmını ithal etmektedir. Nikel üretimi gerçekleştirip ihracat yapan ülkeler sıralamasında, %91'lik üretim ile ilk sırada Filipinler, ikinci sırada %5,5'lik payla Guatemala yer alır. Bu iki ülkeyi; Zimbabve, Avusturalya, Rusya, Güney Afrika ve %0,22'lik üretim ile Türkiye izlemektedir [42].

3. MALZEME VE DENEYSEL YÖNTEM

Flotasyon yöntemi ile zenginleştirilecek Cu-Ni cevheri numune hazırlama ve karakterizasyon çalışmaları ile deneysel çalışmalara hazırlanmıştır. Hazırlık sürecinde yapılan çalışmalar Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir. Numune hazırlama ve karakterizasyon çalışmaları detaylı bir şekilde aşağıda açıklanmaktadır.

3.1. Numune Hazırlama

Bu tez çalışmasında kullanılmak üzere toplam 50 kg cevher numunesi Kanada'nın Quebec Eyaletinde faaliyet gösteren Canadian Royalties Inc. firmasından temin edilmiştir (Şekil 3.1). Merdaneli kırıcıya beslenerek -2,36 mm boyuna indirelecek cevher Şekil 3.2'de verilmiştir. Merdaneli kırıcıda kırıldıktan sonra toplama kabında toplanan cevher, 2,36 mm elek açıklığına sahip titreşimli (Russel) elek makinesine beslenmiştir. Elek üstü kalan malzeme tekrar merdaneli kırıcıya beslenmiştir. Bütün cevher -2,36 mm boyuna inene kadar işlem tekrarlanmıştır. Tane boyu indirgenen cevher önce karıştırılmış, daha sonra numune bölücü (Jones Riffle Splitter) ile 1'er kilograma bölünmüştür.

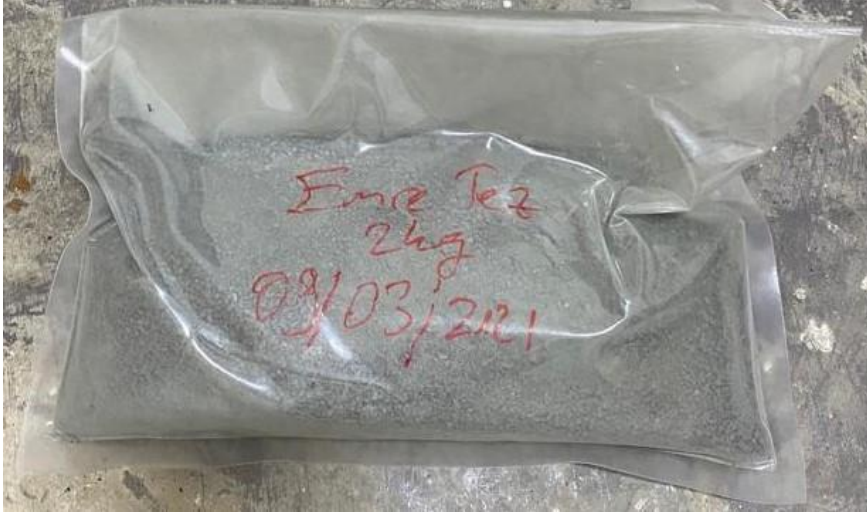
Sülfürlü cevherler hava ve neme maruz kalarak oksitlenebilirler. Oksitlenen cevherlerin yüzey kimyası değişir ve flotasyon performansları düşer [9]. Bu olumsuz etkinin önüne geçmek için cevher 1'er kilogramlık özel poşetlerde vakumlanarak saklanmıştır (Şekil 3.3).



Şekil 3.1 Cevherin kantarda tartımı



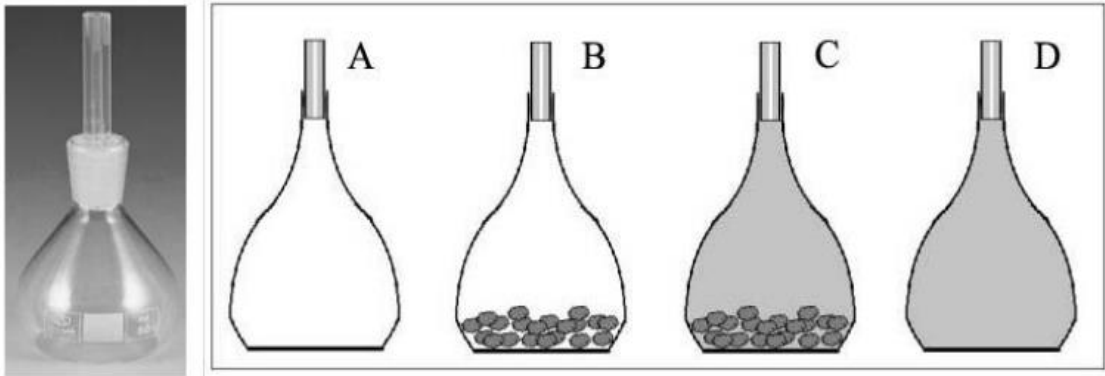
Şekil 3.2 Cevherin ham hali



Şekil 3.3 Vakumlanmış cevher

3.2. Yoğunluk Ölçümü

Malzemenin gerçek yoğunluğunun hassas bir şekilde ölçülebilmesi için numune 0,5 mm'den ince tane boyuna öğütülmelidir. Gerçek yoğunluğun ölçülebilmesi için piknometre kullanılmaktadır. Şekil 3.4'de görülen 50 ml hacme sahip piknometre, küçük bir balon joje şeklinde olup, ağzına fazla suyun taşarak tahliye edilmesi için oluklu bir cam tapa yerleştirilmiştir. Yoğunluğu ölçülecek katı malzeme piknometre içine konulduktan sonra üzerine yoğunluğu tespit edilecek malzemeye göre sıvı eklenilmektedir. Sıvı olarak; hidralize olmayan malzemenin gerçek yoğunluğunun ölçümünde su, hidralize olan malzemeler için ise alkol veya gazyağı kullanılmaktadır.



Şekil 3.4 Piknometre ve şematik görüntüsü

Gerçek yoğunluğu belirlenecek malzemenin alınan numunenin tane boyu 0,5 mm'den daha ince olmak üzere (genelde $-200 \mu\text{m}$) öğütülür ve malzemenin 10-20 g kadar (piknometrenin 1/4 ü dolacak şekilde) temsili örnek alınır ve tartım yoluyla kuru ağırlığı saptanır. Şekil 3.4'deki gibi gerçek yoğunluk belirlenmesi için kullanılacak piknometre

ve kılcal başlığı önce 25°C de kurutulur ve tartılarak ağırlığı (A) hesaplanır. Bir sonraki adım içine 10-20 g kadar kuru numune koyulduktan sonra tartılarak ağırlığı saptanır (B). Daha sonra yavaşça su ile doldurulur ve tanelerin arasında boşluk kalmaması için çalkalanarak hava kabarcıklarını piknometreden tahliye edilir. Sonra kılcal başlığı ile birlikte 25°C de kurutulup ağırlığı (C) saptanır. Son olarak piknometre boşaltılır içindeki nemi kurutulur ve tamamı su ile doldurulur, aynı sıcaklıkta kurutulup tartılarak ağırlığı (D) saptanır. Bu işlemlerden sonra aşağıda verilen formülün tüm bilinmeyenleri saptanmış olur. Gerçek yoğunluk hesaplanabilir duruma gelmiştir. Deneysel ve operatörden kaynaklanan hataları en aza indirmek için deney en az iki defa tekrarlı yapılmalıdır. Yapılan testlerin aritmetik ortalaması alınarak sonuç belirlenmelidir. Bu yöntemle 0.005 gr/cm³ hassasiyetle görünen yoğunluk hesaplanması yapılabilir. Eğer malzeme teorik yoğunluğu bulmak mümkündür. Yöntemin hassaslığı sıvının tozları ıslatma kabiliyetine bağlıdır. Kullanılan sıvının ıslatma kabiliyeti köpük önleyici katkılarla artırılabilir.

A: Şişe + Kapak

B: Şişe + kapak+ toz

C: Şişe + Kapak + Toz + su

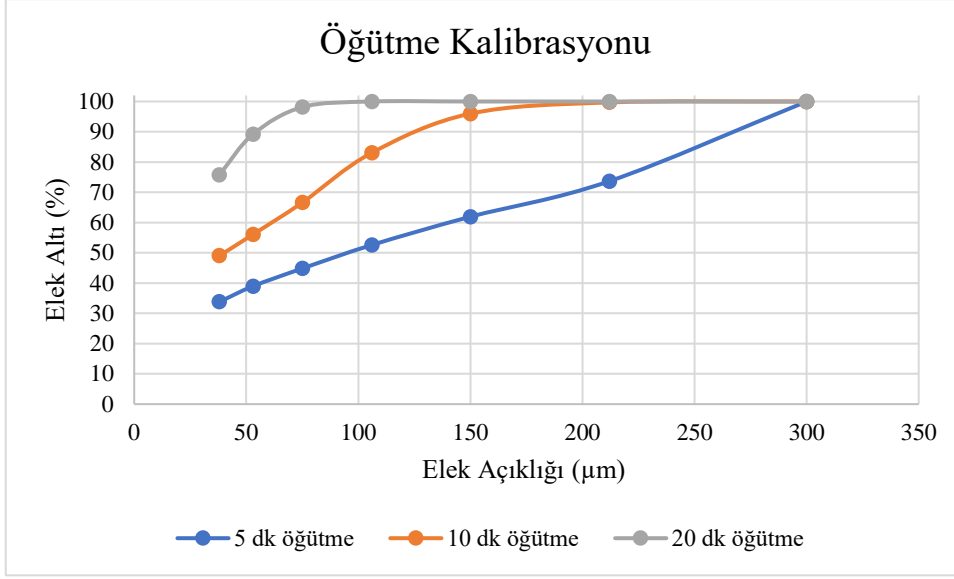
D: Şişe + Kapak + Su

ρ : kullanılan sıvının özgül ağırlığı (saf su için 1)

Yoğunluk = $((B-A)/(D-A)-(C-B)) \times \rho$ formülü ile hesaplanmaktadır [42].

3.3. Öğütme Kalibrasyonu

Öğütme kalibrasyonu serbestleşme tane boyunu elde etmek için cevherin öğütülmesi gereken süreyi belirlemek için yapılmaktadır. Öğütme, devirme mekanizmalı çubuklu değirmen (Ünal marka) ile yapılmıştır. Öğütme işlemi değirmene 1 kg cevher (%60 katı) ve 667 ml su (%40) beslenerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.5'de 5, 10, 20 dk öğütme sonucu elde edilen elek analizinin grafiksel gösterimi bulunmaktadır. 5 dk öğütme sonunda p80 tane boyu 233 μm , 10 dk öğütme sonunda p80 tane boyu 100 μm , 20 dk öğütülmüş cevherin p80 tane boyu 43 μm 'dir. Öğütülen malzemeye yapılan elek analizleri EK-2'de verilmiştir.



Şekil 3.5 Öğütme kalibrasyonu

3.4. Kimyasal Analiz

Deneylerin atık ve konsantreleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimyasal Analiz Laboratuvarında, Thermo Fisher Scientific (Waltham, ABD) marka Niton XL serisi model X-ray floresans cihazı (XRF) ile analiz edilmiştir. Aşağıda verilen Çizelge 3.1’de karakterizasyon kapsamında yapılan bastırıcı kullanmadan yapılan baz koşul deneyinin flotasyon beslemesi XRF analiz sonuçları verilmiştir. Kinetik flotasyon testinin ürünlerinin isimlendirilmesi test koşulu bölümünde açıklanmıştır.

Çizelge 3.1 Flotasyon beslemesine yapılan XRF analiz sonucu

	Tenör (%)		
	Cu	Fe	Ni
Besleme	0,71	14,51	0,55

3.5. Cevher Mineralojisi

Mineralojiye ait bilgiler sadece deneylerde kullanılan 50 kg’lık numuneyi değil, tesise beslenen daha büyük bir kütlemin bilgilerini içermektedir. Fakat tesis mühendislerinden alınan bilgi gönderilen numunenin bu bilgiler ışığında değerlendirilebilecek temsiliyette olduğudur. Ayrıca cevherin bakır devresine ait mineralojik bilgiler raporda bulunmamaktadır.

Sırası ile Qemscan ve kimyasal analiz sonuçlarına göre beslemede %0,86-0,78 bakır, %0,72-0,69 nikel içermektedir. Konsantreye gelmesini istemediğimiz başlıca diğer

elementler ise %16,1-17,3 demir, %10,2-11,2 magnezyum, %15,8-18,0 silikat olarak Çizelge 3.2’da verilmiştir. Ayrıca flotasyon beslemesinin kükürt içeriği %5,92-6,20’dir.

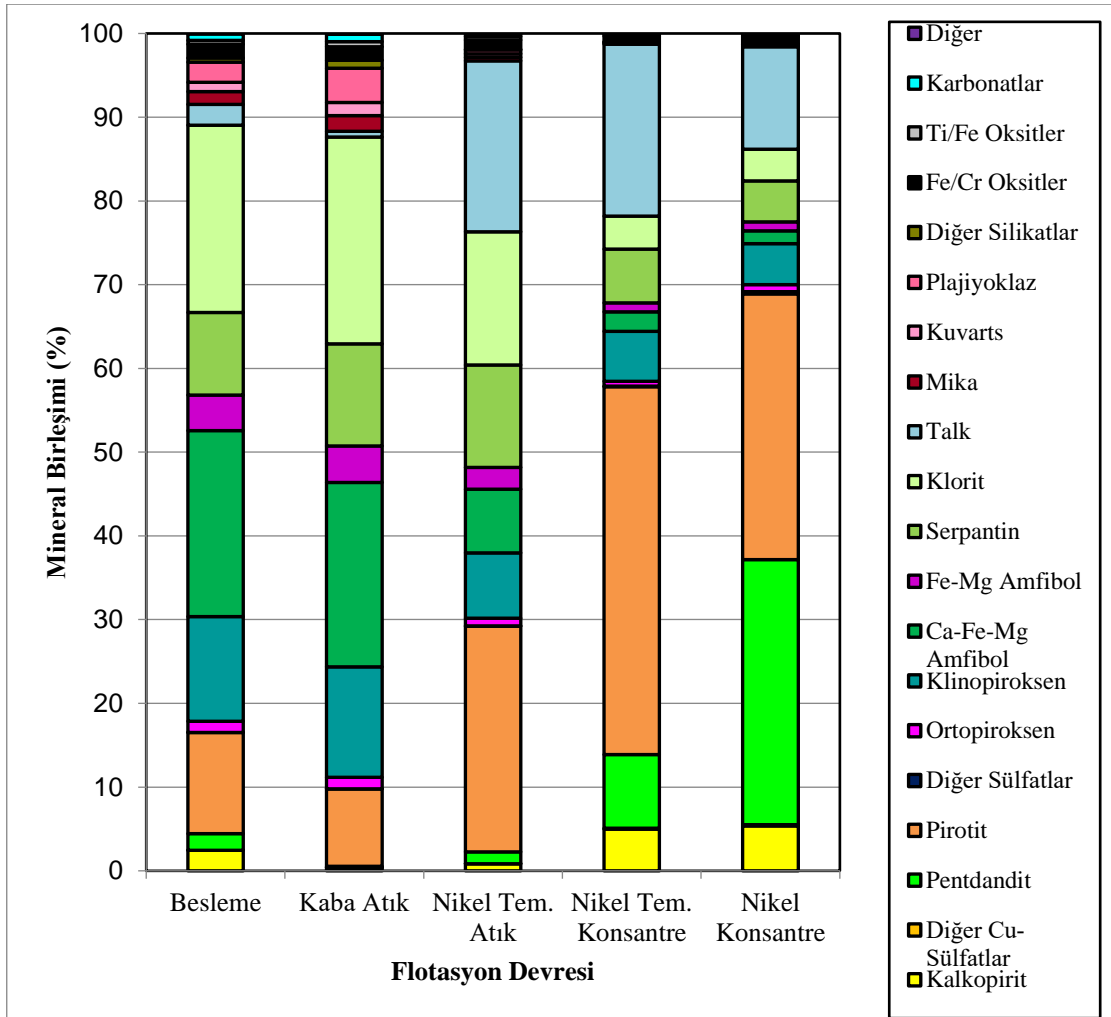
Çizelge 3.2 Mineraloji raporundan göre besleme ve ürünlerin kimyasal içeriği (%)

	Flotasyon Besleme/Değirmen Çıkış	Kaba Atık
Al (QEMSCAN)	3.36	3.92
Al (Kimyasal)	3.22	3.53
Ca (QEMSCAN)	4.42	4.72
Ca (Kimyasal)	3.95	4.47
Cr (QEMSCAN)	0.07	0.06
Cr (Kimyasal)	0.16	0.17
Cu (QEMSCAN)	0.86	0.14
Cu (Kimyasal)	0.78	0.08
Fe (QEMSCAN)	16.1	13.8
Fe (Kimyasal)	17.3	15.7
K (QEMSCAN)	0.05	0.07
K (Kimyasal)	0.10	0.12
Mg (QEMSCAN)	10.2	10.6
Mg (Kimyasal)	11.2	11.8
Mn (QEMSCAN)	0.01	0.01
Mn (Kimyasal)	0.13	0.14
Ni (QEMSCAN)	0.72	0.10
Ni (Kimyasal)	0.69	0.14
S (QEMSCAN)	5.92	3.58
S (Kimyasal)	6.20	4.04
Si (QEMSCAN)	15.8	17.0
Si (Kimyasal)	18.0	19.3
Ti (QEMSCAN)	0.13	0.18
Ti (Kimyasal)	0.22	0.24

Elementel ve mineralojik analiz sonuçları (Çizelge 3.3) incelendiğinde bakır minerali yalnızca kalkopirit (CuFeS_2) ve nikel minerali pentlandit ($\text{Fe}_{4,5}\text{Ni}_{4,5}\text{S}_8$) olarak görülmektedir. Başlıca safsızlıklar ise pirotit (Fe_{1-x}S , $x=0-0.17$), piroksen grubu, serpantin ($\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) ve talktır ($\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$).

Çizelge 3.3 Mineraloji rapora göre besleme ve ürünlerin mineral içeriği / Mineralojik bileşimi (%)

		Besleme	Kaba Atık
Tane Boyu μm (Hesaplanmış)		17	19
Mineral Kütlesi (%)	Kalkopirit	2.45	0.39
	Diğer Cu-Sülfatlar	0.01	0.01
	Pentlandit	1.97	0.13
	Pirotit	12.1	9.28
	Diğer Sülfatlar	0.01	0.00
	Ortopiroksen	1.35	1.34
	Klinopiroksen	12.5	13.2
	Ca-Fe-Mg Amfibol	22.2	22.0
	Fe-Mg Amfibol	4.22	4.35
	Serpantin	9.87	12.2
	Klorit	22.4	24.7
	Talk	2.50	0.68
	Mika	1.51	1.87
	Kuvarts	1.11	1.59
	Plajiyoklaz	2.40	4.07
	Diğer Silikatlar	0.52	0.97
	Fe/Cr Oksitler	1.63	1.59
	Ti/Fe Oksitler	0.45	0.63
	Karbonatlar	0.79	0.87
	Diğer	0.05	0.09
	Toplam		100.0
Tane Boyu (μm)	Kalkopirit	10	8
	Diğer Cu-Sülfatlar	5	20
	Pentdandit	12	8
	Pirotit	12	13
	Diğer Sülfatlar	9	11
	Ortopiroksen	8	8
	Klinopiroksen	11	12
	Ca-Fe-Mg Amfibol	12	12
	Fe-Mg Amfibol	9	9
	Serpantin	11	13
	Klorit	14	14
	Talk	12	10
	Mika	7	8
	Kuvarts	8	10
	Plajiyoklaz	13	16
	Diğer Silikatlar	12	15
	Fe/Cr Oksitler	11	12
	Ti/Fe Oksitler	13	15
	Karbonatlar	18	17
	Diğer	7	12



Şekil 3.6 Mineralojik analizi yapılan flotasyon devresi akışlarının yığılmış sütun grafiği gösterimi

Yukarıda verilen Şekil 3.6’da besleme ve dört akış kolundan alınan numunelere yapılan mineralojik analizin sütun grafiği verilmiştir. Nikel konsantresinde safsızlık olan pirotit ve talk mineralleri bulunmaktadır. Diğer mineraller ve bağlılık bilgilerini içeren detaylı mineralojik analiz sonuçları Ek 1’de verilmiştir.

3.6. Flotasyon Test Koşulları

DeneySEL çalışmalar Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarında tamamlanmıştır. Flotasyon testleri ağırlıkça %30-35 katı içeriği ile Denver tipi flotasyon makinesi kullanılarak yapılmıştır. Kaba ve süpürme devreli kinetik flotasyon çalışmaları 1 kg cevher ile 2,5 L hücrede, 1550 devir/dakika karıştırma hızı, 2,5 L/dk hava hızı ile yapılmıştır. Açık devre temizlemeli flotasyon deneyleri test koşulu Çizelge 3.4’de verilmiştir. Toplu flotasyon aşaması 2 kg katı 4,5 L hacimli hücre, 1900 devir/dk karıştırma hızı, 4,5 L/dk hava hızı ile yapılmıştır. Temizleme aşamaları ise 1 L

ve 0,5 L hücrelerde, 1100-900 devir/dk koşullarında gerçekleşmiştir. Şekil 3.7’de deneylerde kullanılan flotasyon hücrelerinin görünümü bulunmaktadır. Numunenin temin edildiği firmadan (CRI) alınan bilgi serbestleşme tane boyu (p80) 40-45 μm ’dir. Bu bilgi ışığında öğütme süresi 20 dk olarak belirlenmiştir. Bütün deneylerde 10 saniyede bir tur köpük alınmıştır. Flotasyon test koşulunun özet tablosu aşağıda Çizelge 3.8’de verilmiştir. Kaba flotasyon devresinin kinetik konsantre alma süreleri konsantre 1 devresi için 1 dk, konsantre konsantre 2 devresi için 2 dk, konsantre 3 devresi için 5 dk’dır. Süpürme flotasyon devresinin kinetik konsantre alma süreleri süpürme 1 devresi için 2 dk, süpürme 2 devresi için 2 dk belirlenmiştir.

Çizelge 3.4 Flotasyon Deney Koşulları

Devre Adı	Test No	Besleme	Öğütme Süresi / Yeniden Öğütme	Tane Boyutu (p80)	% Katı	Hücre Hacmi	Rotor Devri
Kaba ve Süpürme	1-16	1 kg	20 dk	43 μm	30-35	2.5 L	1550 dvr/dk
Temizleme	17-19	2 kg	20 dk / 5 dk	43 μm / -	30-35	4,5 – 0,5 L	900-1900 dvr/dk
Flotasyon Reaktifleri (g/t)					Ölçümler		
	Toplayıcı	Bastırıcı	Kontrol Reaktif	Köpürtücü	pH	Eh	Süre (dk)
	SIBX (% 1) (g/t)	(g/t)	CuSO ₄ (% 10) (g/t)	MIBC (g/t)			
Kaba ve Süpürme	250	0-350		10-15	8,30-8,70	-1,+1	12
Temizleme	230	250+100	50	15+25	12 / 9	-20	3+2



Şekil 3.7 Sol baştan sırası ile 4,5 L – 2,5 L – 1,0 L – 0,5L flotasyon hücreler

4. DENEYSEL SONUÇLAR

Deneysel çalışmaların ilk aşamasında kaba ve süpürme devresi bulunan kinetik flotasyon testleri yapılmıştır. Bastırıcı kullanılmadan sadece toplayıcı ve köpürtücü reaktifleri eklenerek yapılan deney baz koşul olarak tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında beş farklı CMC (Rheolon 30N, Rheolon 300N, Rheoflo TNS 90, Depramin 347N, 8860 GL GCA) denenmiştir (Çizelge 4.1). Bu CMC'ler 50 g/t (düşük), 200 g/t (orta) ve 350 g/t (yüksek) dozaj olmak üzere üç farklı dozajda kullanılmıştır. Testlerin konsantre ve atıklarına yapılan kimyasal analiz (XRF) sonucunda; verim-zaman, tenör-verim ve su verimi-konsantre ağırlığı grafikleri çizilmiştir. Baz koşul ile birlikte 5 farklı organik bastırıcının 3 farklı dozajda denendiği 16 flotasyon deney sonucunun özet tablosu Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Deneylerde kullanılan CMC'lerin teknik özellikleri

	Rheolon 30N	Rheolon 300N	Depramin 347N	Rheoflo TNS 90	8860 GL GCA
DS	~ 0.80	~ 0.80		~ 0.70	
Molekül Ağırlığı (g/mol)	~ 90000	~ 90K – 150K		~ 90000	
Viskozite (Pa.s)	30-50 @ %2	150-400 @ %2		20-140 @ %2	
Safılık (%)	98	98	98	60	98

Çizelge 4.2 Karakterizasyon kapsamında yapılan flotasyon testinin XRF sonuçları

Baz Koşul XRF Sonuçları										
	Tenör (%)			Verim (%)			Kümülatif Verim (%)			Ağırlık (%)
	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
Besleme	0,71	14,51	0,55	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Konsantre 1	12,41	20,22	2,47	59,86	4,66	15,50	59,86	4,66	15,50	3,46
Konsantre 2	4,01	19,89	3,52	14,74	3,50	16,84	74,60	8,16	32,34	2,64
Konsantre 3	1,63	22,02	3,47	8,47	5,47	23,46	83,07	13,63	55,80	3,73
Süpürme	0,68	31,78	1,98	6,48	14,49	24,57	89,55	28,12	80,36	6,84
Atık	0,09	12,95	0,13	10,45	71,88	19,64	10,45	71,88	19,64	83,33

Yukarıda verilen Çizelge 4.2'de karakterizasyon kapsamında yapılan toplu kaba ve süpürme devreli flotasyon deneyinin beslemesine ve ürünlerine yapılan XRF analizinin sonuçları verilmiştir.

4.1. Kinetik Kaba ve Süpürme Devreli Flotasyon Testleri

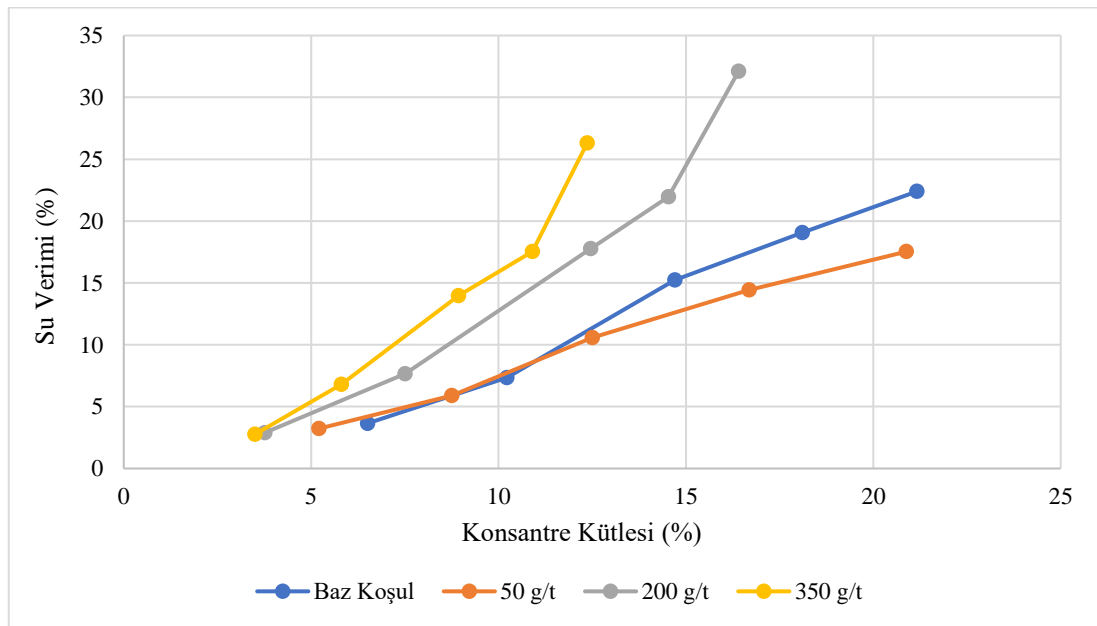
Çizelge 4.3 Deneysel çalışmaların ilk aşamasında yapılan toplu kaba ve süpürme kinetik flotasyon testleri özet tablosu

	Reaktif Adı	Dozaj (g/t)		Konsantre Kütle (%)		Tenör (%)				Verim (%)			
		CMC	SIBX	Kaba	Süpürme	Kaba Cu	Kaba+Süp Cu	Kaba Ni	Kaba+Süp Ni	Kaba Cu	Kaba+Süp Cu	Kaba Ni	Kaba+Süp Ni
Test 1	Baz Koşul	0	20+50+100	14,7	21,2	4,7	3,4	2,6	2,4	88,0	91,7	62,4	82,4
Test 2	Rheolon 30 N	50	20+50+100	12,5	20,9	5,6	3,5	2,7	2,5	87,1	91,8	53,2	79,9
Test 3	Rheolon 30 N	200	20+50+100	12,5	16,4	4,3	3,4	2,8	2,3	88,3	89,9	63,1	68,0
Test 4	Rheolon 30 N	350	20+50+100	8,9	12,4	6,2	4,6	4,0	3,1	86,0	87,9	66,1	71,2
Test 5	Rheolon 300 N	50	20+50+100	9,2	17,6	6,1	3,5	1,5	2,2	81,2	88,1	25,8	68,7
Test 6	Rheolon 300 N	200	20+50+100	12,8	19,5	4,9	3,4	2,7	2,2	85,3	89,2	62,0	76,6
Test 7	Rheolon 300 N	350	20+50+100	9,5	15,5	7,1	4,6	3,8	2,8	84,6	88,0	66,8	79,9
Test 8	Depramin 347 N	50	20+50+100	15,3	24,9	4,3	2,8	2,4	1,9	89,6	94,0	68,1	83,6
Test 9	Depramin 347 N	200	20+50+100	15,3	20,5	4,7	3,6	2,9	2,3	92,2	93,8	80,4	87,0
Test 10	Depramin 347 N	350	20+50+100	12,2	19,9	6,2	3,9	3,2	2,2	92,2	94,5	69,9	79,6
Test 11	Rheoflo TNS 90	50	20+50+100	13,6	22,7	4,7	2,9	2,5	2,0	87,8	92,4	61,2	81,6
Test 12	Rheoflo TNS 90	200	20+50+100	15,7	24,2	4,4	2,9	2,7	2,0	91,0	94,3	77,0	89,0
Test 13	Rheoflo TNS 90	350	20+50+100	13,2	20,2	4,9	3,3	3,2	2,3	88,7	91,5	76,0	85,4
Test 14	8860 GL GCA	50	20+50+100	13,7	22,2	4,3	2,8	2,2	2,1	84,5	89,4	53,9	84,4
Test 15	8860 GL GCA	200	20+50+100	11,1	18,7	5,3	3,4	1,8	2,4	83,4	88,9	36,3	82,3
Test 16	8860 GL GCA	350	20+50+100	9,3	14,6	6,3	4,2	2,0	2,9	83,1	86,9	33,8	78,2

Aşağıda verilen grafiklerde baz koşul ve 50 g/t (düşük), 200 g/t (orta), 350 g/t (yüksek) dozaj eklenerek Rheolon 30N, Rheolon 300N, Rheoflo TNS 90, Depramin 347N, 8860 GL GCA CMC'leri ile yapılan deney sonuçları kıyaslanmıştır. Kıyaslamalar reaktiflerin kendi arasında (düşük, orta, yüksek dozajda) ve baz koşula karşı yapılmıştır. Şekil 4.1'den Şekil 4.6'ya kadar Rheolon 30N'nin zaman-tenör-verim performansının karşılaştırıldığı grafikler bulunmaktadır. Şekil 4.7'den Şekil 4.12'ye kadar Rheolon 300N'nin zaman-tenör-verim performansının karşılaştırıldığı grafikler bulunmaktadır. Şekil 4.13'den Şekil 4.17'ye kadar Depramin 347N'nin zaman-tenör-verim performansının karşılaştırıldığı grafikler bulunmaktadır. Şekil 4.18'den Şekil 4.22'ye kadar Rheoflo TNS 90'ın zaman-tenör-verim performansının karşılaştırıldığı grafikler bulunmaktadır. Şekil 4.23'den Şekil 4.27'ye kadar 8860 GL GCA'nın zaman-tenör-verim performansının karşılaştırıldığı grafikler bulunmaktadır. Konsantre kütlesi (%), Cu tenör-verim (%), Ni tenör-verim (%) sonuçlarının karşılaştırılmasında en iyi performans gösteren CMC'ler Rheolon 30N (350 g/t) ve Depramin 347N (350 g/t)'dir. Kıyaslamalar aşağıda ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

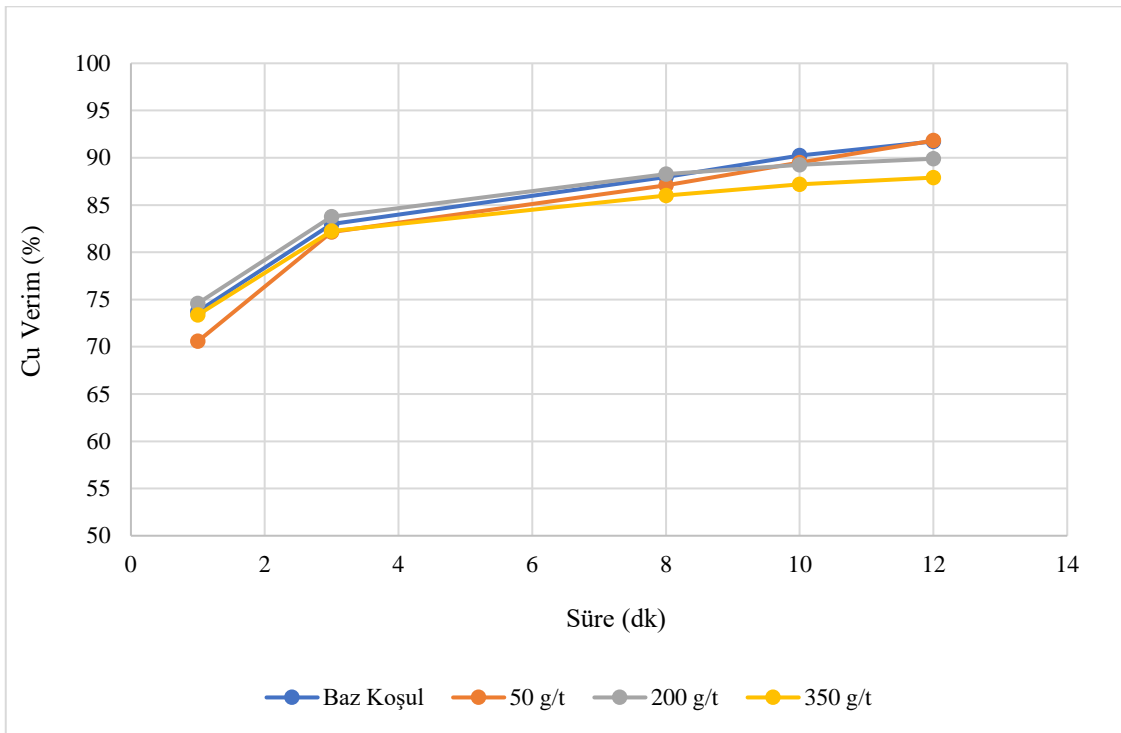
Rheolon 30N

Rheolon 30N'nin 50 g/t, 200 g/t ve 350 g/t kullanıldığı deneylerin hem kendi içerisinde hem de baz koşula göre karşılaştırmaları Şekil 4.1'den Şekil 4.6'ya kadar grafiklerle incelenmiştir.



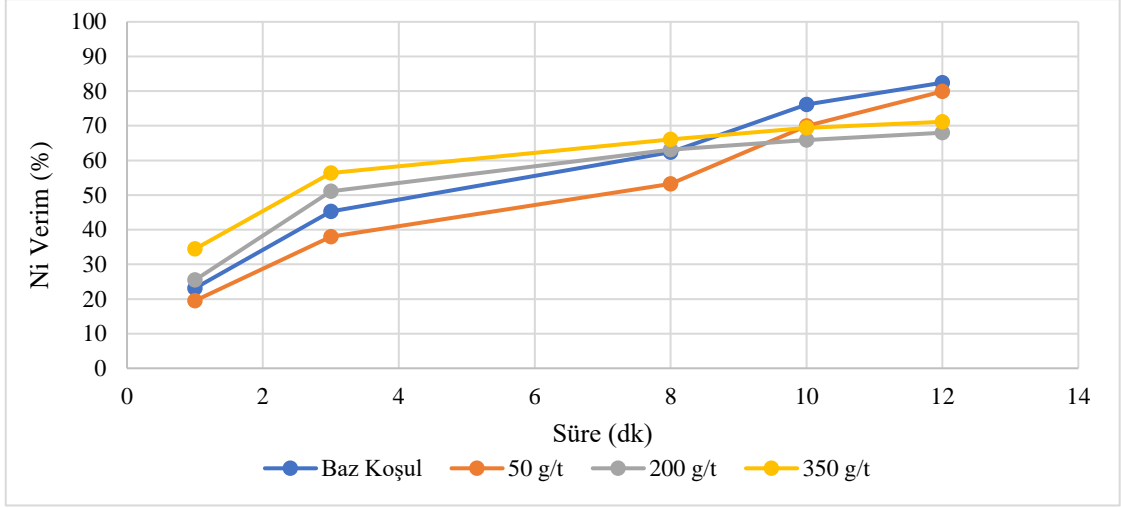
Şekil 4.1 Rheolon 30N %Konsantre Kütlesi-Su Verimi Grafiği

Şekil 4.1’de verilen grafikte Baz koşul ve Rheolon 30N’nin üç farklı dozajının konsantrde elde edilen kütlenin besleme kütlesine oranı (%) – su verimi (%) karşılaştırması yapılmıştır. 200 g/t ve 350 g/t Rheolon 30N kullanılan deneylerin ikinci süpürme aşamasında (flotasyonun 10-12. dk arası) konsantreye gelen su verimi konsantre kütlesinden fazla olmuştur. 200 g/t kullanılan deneyde konsantre kütlesi %1,87 su verimi %10,15 artmıştır. 350 g/t kullanılan deneyde konsantre kütlesi %1,46 su verimi %8,77 artmıştır. Sonuçlar Rheolon 30N’nin orta ve yüksek dozajlarda yapılan flotasyonun 10. dakikada bitirilebileceğini göstermektedir.



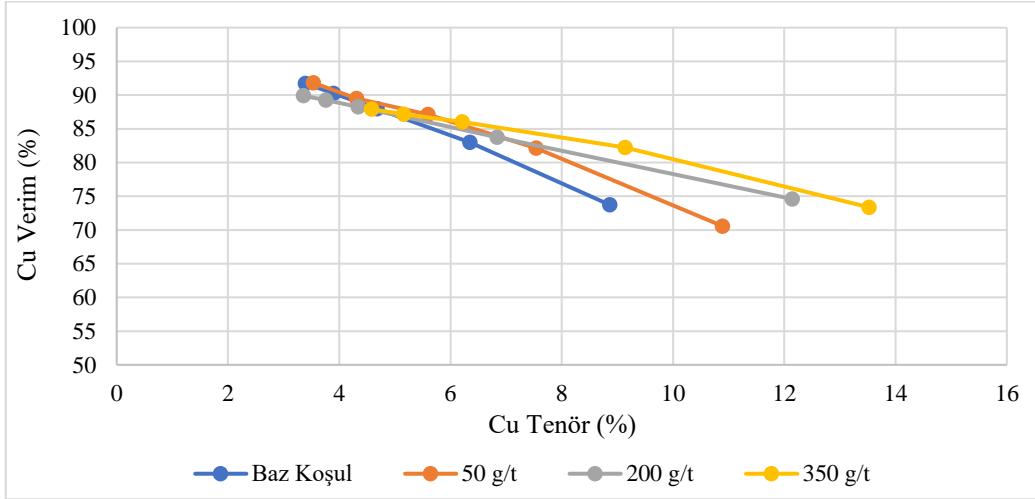
Şekil 4.2 Rheolon 30N Birikimli Zaman-Bakır Verim Grafiği

Şekil 4.2’de zamana karşı bakır verimi gösterilmiştir. Kaba flotasyon (ilk 8 dk) ve süpürme flotasyon (8-12 dk) devrelerinde baz koşul ve 50 g/t Rheolon 30N kullanılan deneyler 200 g/t ve 350 g/t ile yapılan deneylerde bakır verimleri %2-4 arası düşmüştür.



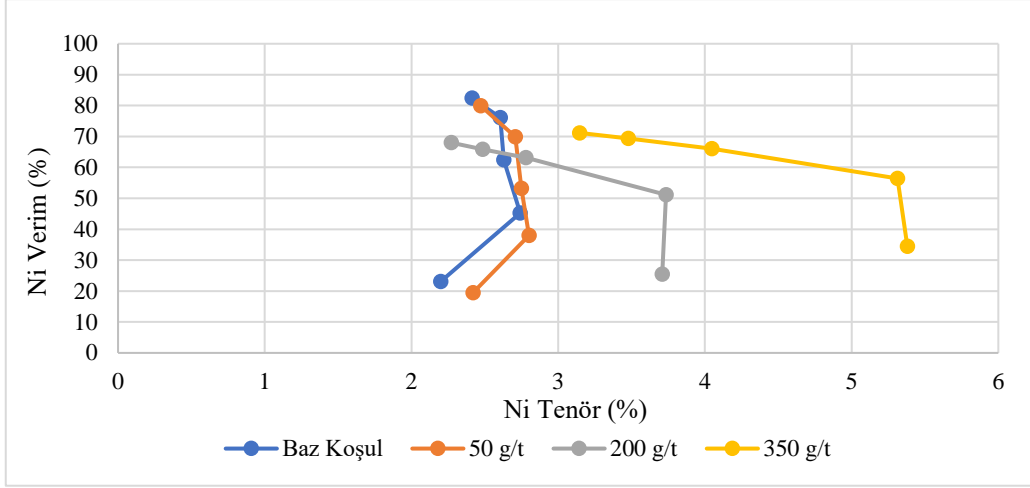
Şekil 4.3 Rheolon 30N Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği

Şekil 4.3’de zamana karşı nikel verimi gösterilmiştir. Nihai nikel verimi baz koşul ve düşük dozajda (50 g/t), orta (200 g/t) ve yüksek (350 g/t) dozaj kullanılan deneylere göre yaklaşık %10 yüksektir. Süpürme flotasyon devresi 8. dakikada başlamaktadır. Devreye eklenen toplayıcının olumlu etkisi baz koşulda ve düşük Rheolon 30N kullanımında görülmektedir.



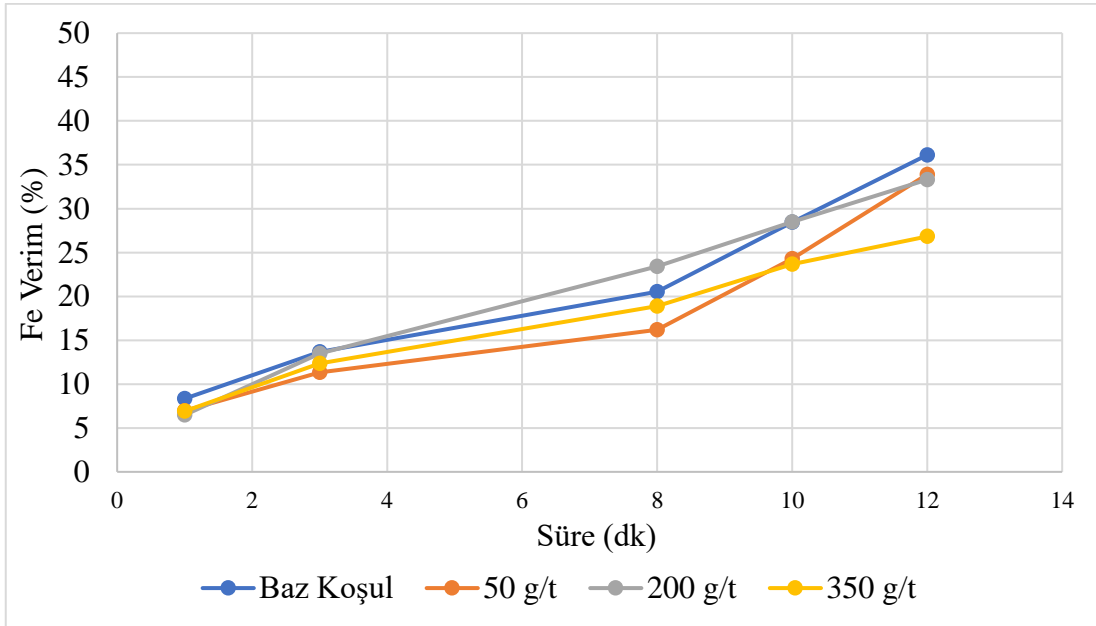
Şekil 4.4 Rheolon 30N Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.4’de bakır tenörünün bakır verime karşı çizilen grafiği verilmektedir. Baz koşuldan kullanılan Rheolon 30N’nin dozajını artırdıkça, bakır tenöründe artış görülmektedir. Flotasyonun ilk dakikasında baz koşul bakır tenörü ve verimi sırasıyla %8,86 ve %73,74’tür. Rheolon 30N yüksek dozaj (350 g/t) deneyinde %13,52 ve %73,37’dir. Flotasyonun sonunda Cu tenörü %3,4’den %4,6’ya yükselmiş, Cu verimi ise %91,7’de %87,9’a düşmüştür.



Şekil 4.5 Rheolon 30N Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği

Şekil 4.5'te nikel tenörünün nikel verimine karşı çizilen grafiği verilmiştir. Baz koşul ve Rheolon 30N düşük dozajlı (50 g/t) deney sonuçları birbirine benzer çıkmıştır. Bastırıcı dozajı arttıkça nikel tenörü flotasyon sonunda %2,4'den %3,1'e yükselmiştir. Bu fark kaba flotasyon devresinde %2,6'dan %4'e çıkarak daha fazla artmıştır.



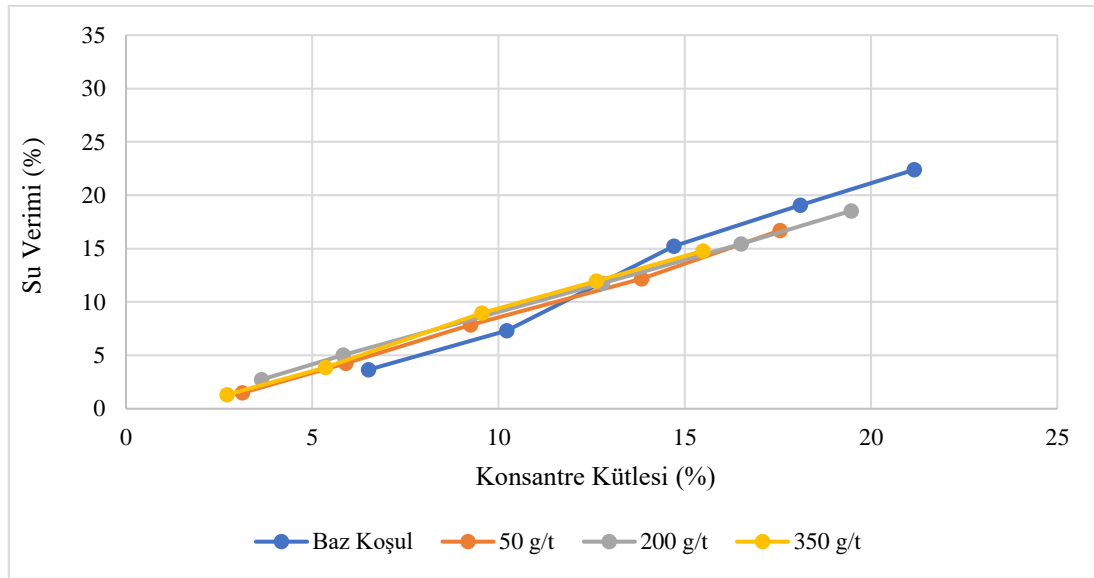
Şekil 4.6 Rheolon 30N Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği

Şekil 4.6'da zamana karşı demir verimi grafiği verilmiştir. Verilen grafikte baz koşuldan yüksek (350 g/t) Rheolon 30N dozajlı deneye doğru ilerledikçe flotasyon sonunda (12 dk) birikimli %Fe verimi %36,12'den %26,83'e azalmıştır. Bastırıcı kullanımı ve dozajı arttıkça konsantede demir içeren safsızlıklar azalmıştır.

Rheolon 30N ile 350g/t dozaj kullanılan deney ile daha düşük dozaj kullanılan deneyler karşılaştırıldığında verimlerin aynı olduğu noktada nikel tenörü daha yüksektir. Ayrıca bakır verimi artarken demir verimi belli bir sınırdan (%26,83) kalarak konsantrenin kalkopirit haricinde demir içeren minerallerin (Çizelge 3.7'ye göre pirotit) miktarının çok düşük olduğunu göstermektedir.

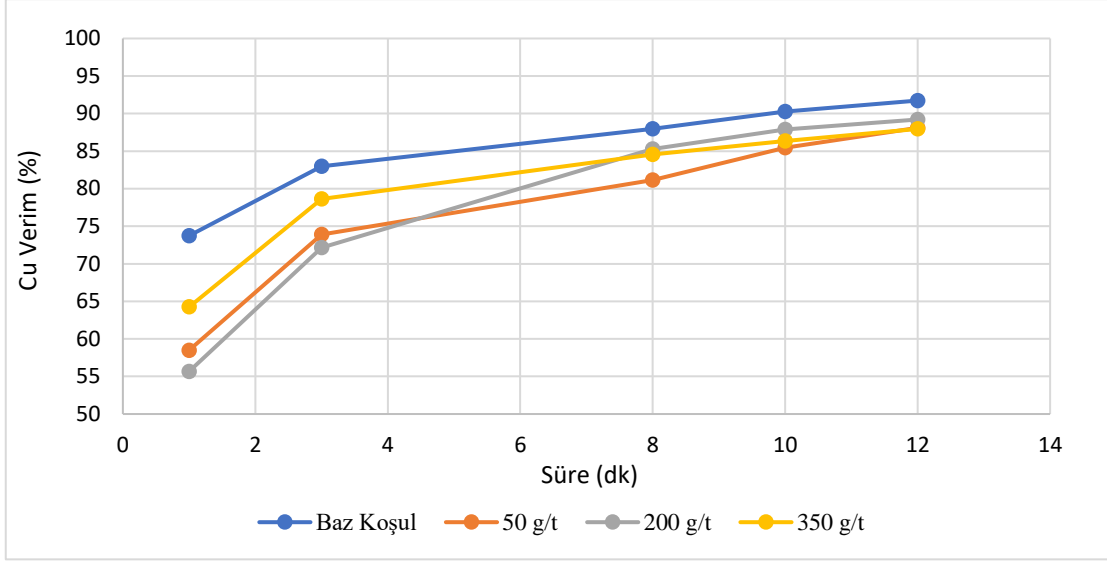
Rheolon 300N

Rheolon 30N'nin 50 g/t, 200 g/t ve 350 g/t kullanıldığı deneylerin hem kendi içerisinde hem de baz koşula göre karşılaştırmaları Şekil 4.7'den Şekil 4.12'ye kadar grafiklerle incelenmiştir.



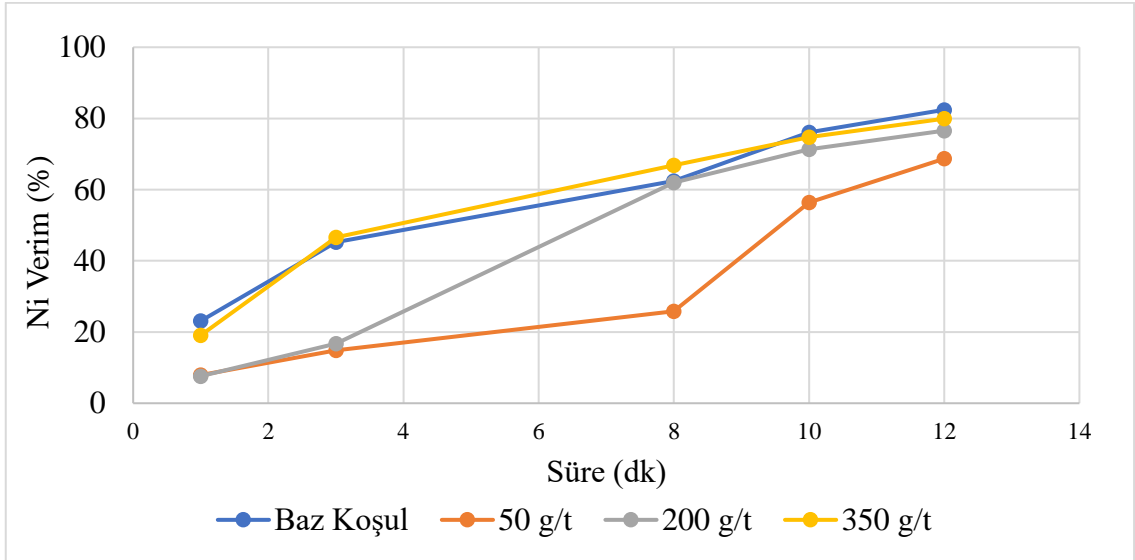
Şekil 4.7 Rheolon 300N %Konsantre Kütlesi-%Su Verimi Grafiği

Şekil 4.7'de konsantre kütlesinin (%) su verimine (%) karşı çizilen grafiği verilmiştir. Baz koşul ve Rheolon 300N ile yapılan deneylerde konsantreye gelen kütle miktarı ile su miktarı doğru oranda artmıştır. Flotasyonun sonuna kadar (12 dk) konsantreye katı kütlesi gelmeye devam etmiştir.



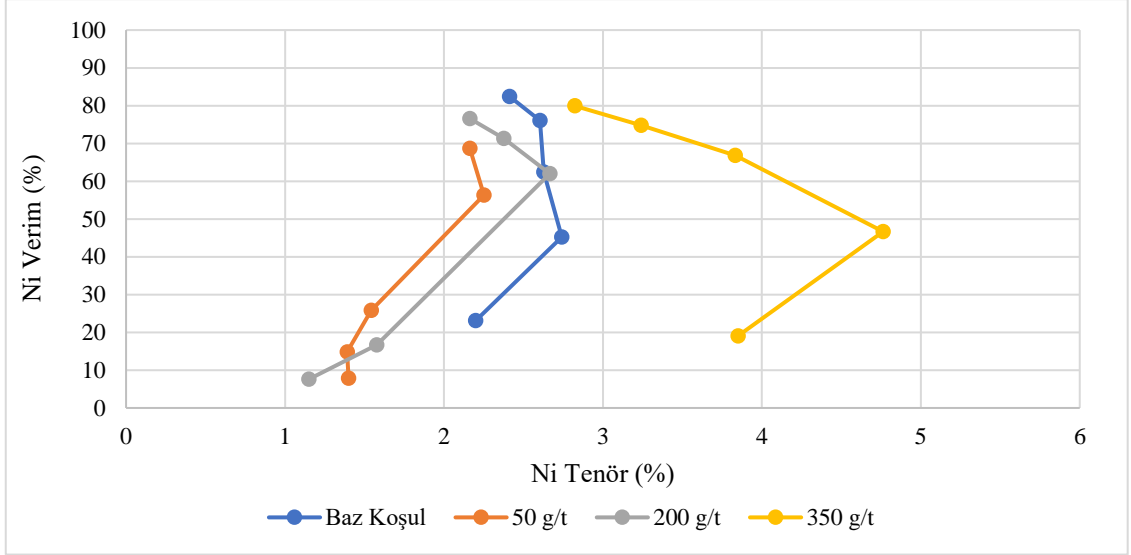
Şekil 4.8 Rheolon 300N Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.8’de zamana karşı bakır verimi grafiği incelenmiştir. Baz koşuldan Rheolon 300N’nin kullanıldığı düşükten yüksek dozaja (50-200-350 g/t) çıktıkça bakır verimi %91,7’den %88’e düştüğü görülmektedir. Bunun sebebi bastırcının dozajı arttıkça değerli bakır minerallerinide (kalkopirit) bastırarak konsantre verimini düşürmesi olarak değerlendirilebilir.



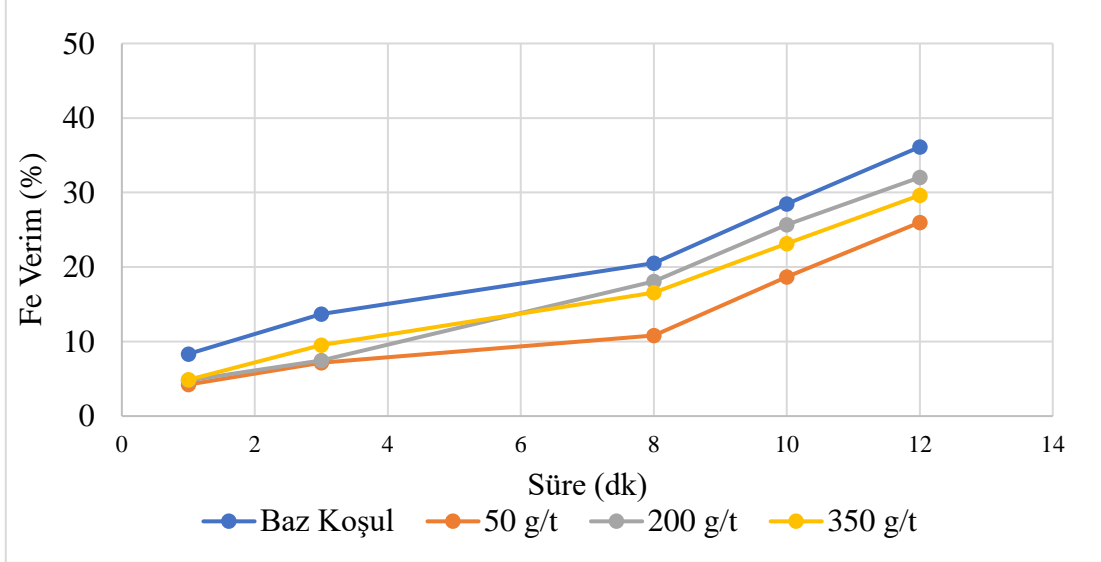
Şekil 4.9 Rheolon 300N Birikimli Zaman-Nikel Verim Grafiği

Şekil 4.9’da zamana karşı nikel veimi grafiği verilmiştir. Verilen grafikte Rheolon 300N 350 g/t kullanılan deneyde baz koşula göre nikel verimi %82,4’den %79,9’a düşmüştür.



Şekil 4.10 Rheolon 300N Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği

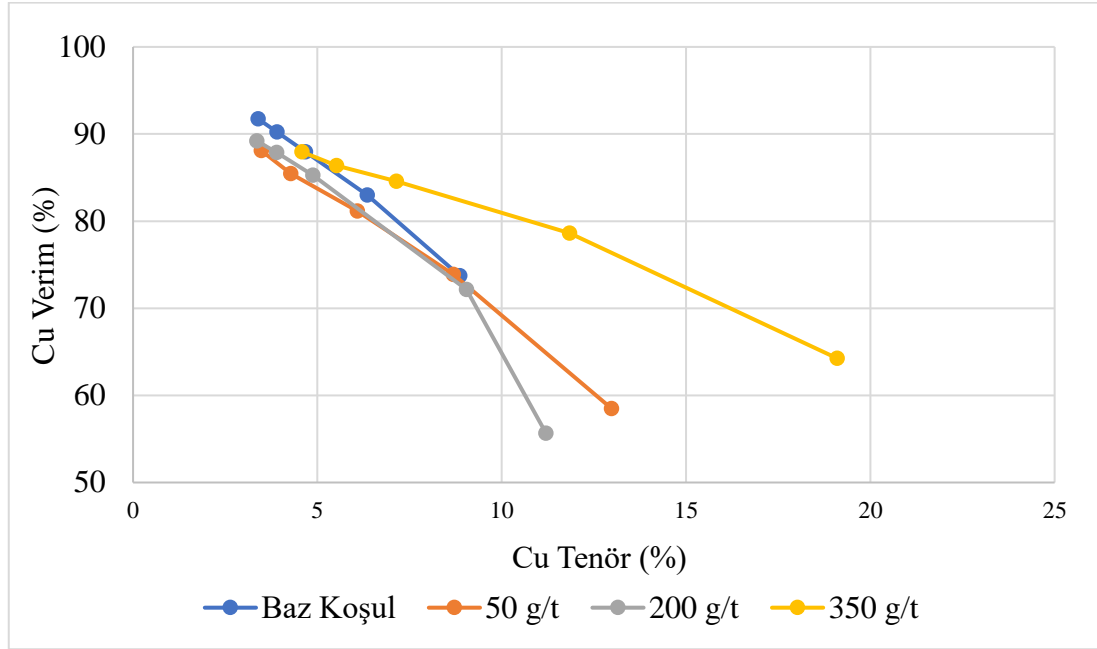
Şekil 4.10'da nikel tenörüne karşı nikel verimi grafiği verilmiştir. Görüldüğü üzere flotasyonun üçüncü dakikasından sonra alınan konsantrelerin nikel tenörü, nikel verimi ile birlikte yükselmiştir. Flotasyon sonunda ise baz koşula göre yüksek dozaj Rheolon 300N kullanılan deney arasında %2,5 nikel verimi kaybına karşı nikel tenörü %2,4'den %2,8'e yükselmiştir.



Şekil 4.11 Rheolon 300N Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği

Şekil 4.11'de zamana karşı demir verimi grafiği incelenmiştir. Rheolon 300N'nin düşük dozajda (50 g/t) kullanılan deneyinde baz koşula göre demir verimi %10,13 daha düşüktür. Şekil 4.8'e göre bakır verimindeki düşüş %3,7'dir. Demir verimindeki düşüşün

daha fazla olması safsızlıkların konsantreden uzaklaştırıldığına bir gösterge olarak yorumlanabilir.



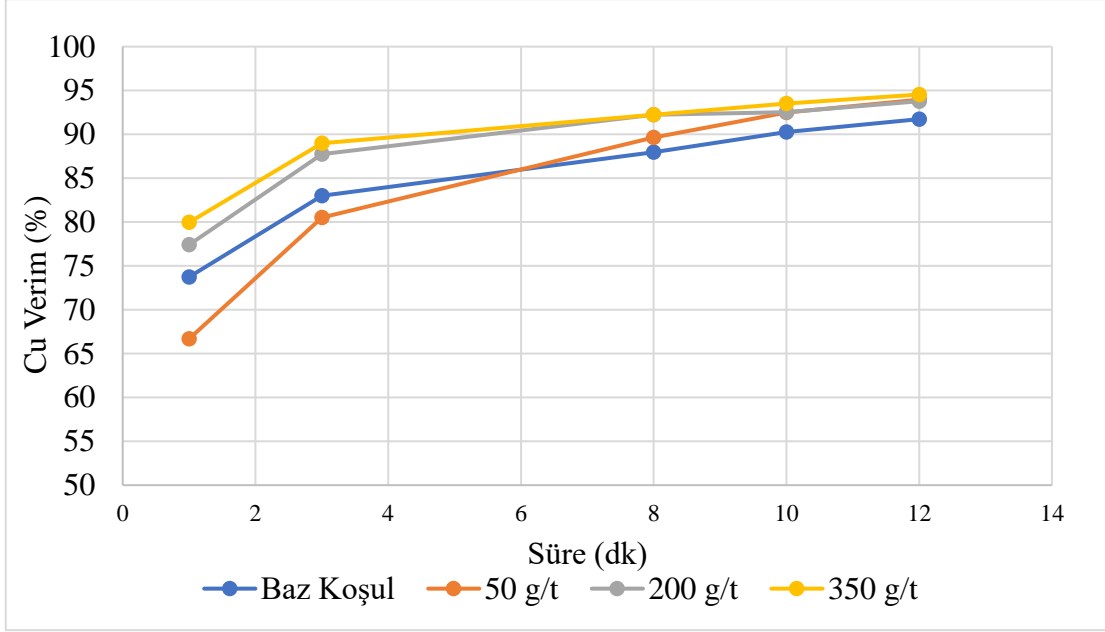
Şekil 4.12 Rheolon 300N Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.12’de bakır tenörünün bakır verimine karşı grafiği verilmektedir. Verilen grafik incelendiğinde kaba flotasyon devrede, bakır tenörü verim kaybı olmadan baz koşula göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Kaba flotasyon devre sonunda (8. dk sonunda) bakır tenörü %6,3’den %7,1’e yükselmiştir.

Rheolon 300N reaktifinin 350 g/t kullanıldığı deneyde diğer dozajlara göre bakır ve nikel tenörü sırası ile %3,4’den %4,6’ya ve %2,4’den %2,8’e yükselmiştir, ancak bakır ve nikel verimi sırasıyla %91,7’den %88’e ve %82,4’den %79,9’a düşmüştür.

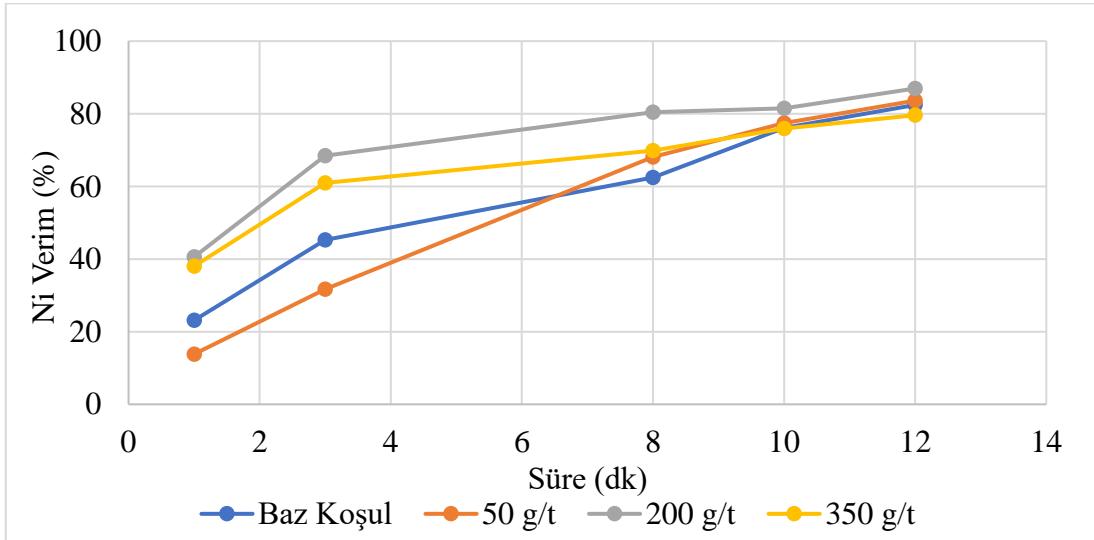
Depramin 347N

Depramin 347N’nin 50 g/t, 200 g/t ve 350 g/t kullanıldığı deneylerin hem kendi içerisinde hem de baz koşula göre karşılaştırmaları Şekil 4.13’den Şekil 4.17’ye kadar grafiklerle incelenmiştir.



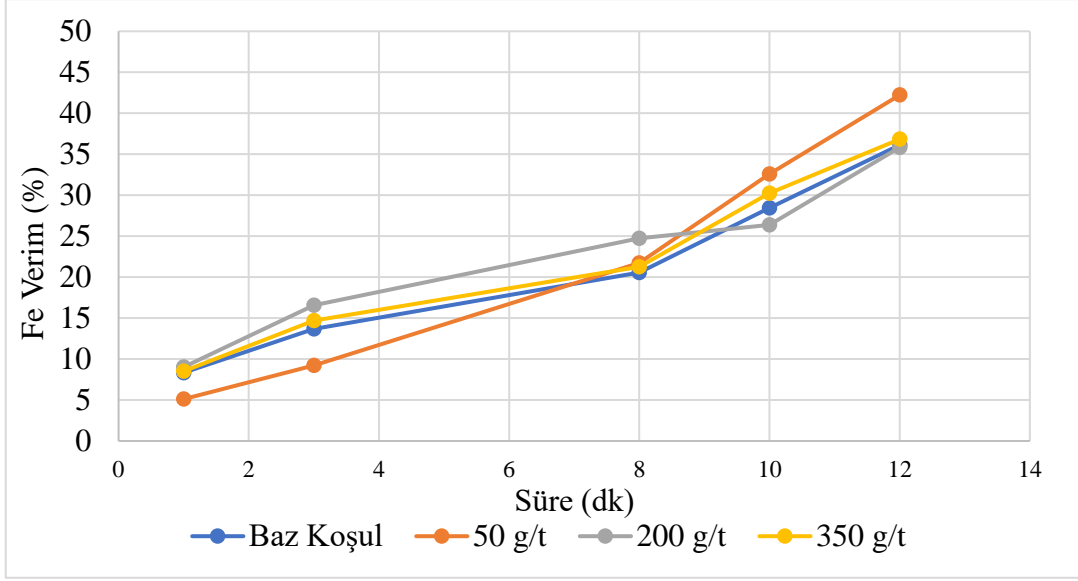
Şekil 4.13 Depramin 347N Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.13’de zamana karşı bakır verimi grafiği verilmiştir. Depramin 347N’nin kullanımının baz koşula göre nihai bakır verimi artırdığı görülmektedir. Yüksek dozajda (350 g/t) kullanılan deneyde bakır verimi %91,7’den %94,5’e yükselmiştir. Bastırıcı kullanılan deneylerde bakır veriminin yükselmesi reaktifin kullanımının olumlu bir etkisi olduğunu göstermektedir.



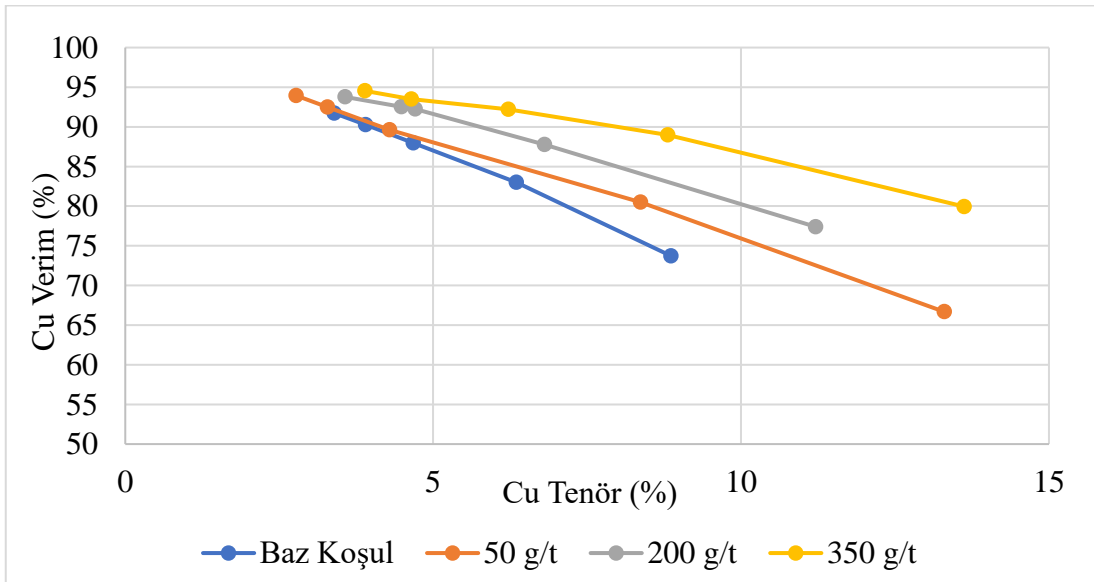
Şekil 4.14 Depramin 347N Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği

Şekil 4.14’de zamana karşı nikel verimi grafiği verilmiştir. Nihai nikel verimi en yüksek Depramin 347N’nin 200 g/t kullanılan koşulunda elde edilmiştir. Baz koşulda kaba flotasyon (8 dk) devresinde Ni verimi %62,4’ten %80,4’e, flotasyon sonunda (12 dk) ise %82,4’den %87’ye yükselmiştir.



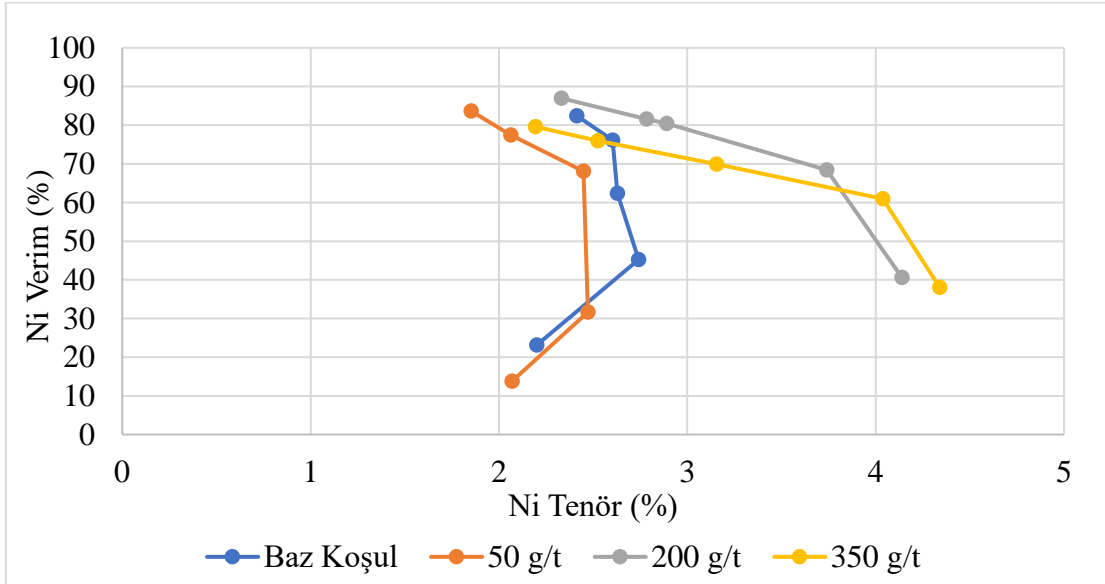
Şekil 4.15 Depramin 347N Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği

Şekil 4.15'te zamana karşı Fe verimi grafiği çizilmiştir. Rheolon 30N'nin yüksek dozaj (350 g/t) ile yapılan deneyinde (Şekil 4.6) demir verimi %26,83'tür. Rheolon 300N'nin yüksek dozaj (350 g/t) ile yapılan deneyinde (Şekil 4.11) Fe verimi %26'dır. Şekil 4.15'te görülen ise baz koşul ve Depramin 347N'nin orta (200 g/t) ve yüksek (350 g/t) dozajda kullanılan deneylerinde demir verimi %36-37'dir. Bu sonuç Depramin 347N'nin Rheolon 30N ve 300N'ye göre demir içeren safsızlıkları bastırmada daha az etkili olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 4.16 Depramin 347N Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.16’de bakır tenörünün bakır verime karşı çizilen grafiği verilmiştir. Flotasyon deneylerinde Depramin 347N’nin dozajı arttıkça baz koşula göre bakır verimi ve tenörü daha fazla artmaktadır. En etkili sonuç yüksek dozajda (350 g/t) elde edilmiştir. Flotasyonun ilk dakikasında sırasıyla bakır tenörü %8,9’dan %13,6’ya, verim ise %73,7’den %80’e yükselmiştir. Nihai bakır tenörü %3,4’den %3,9’a, verim ise %91,7’den %94,5’e yükselmiştir.



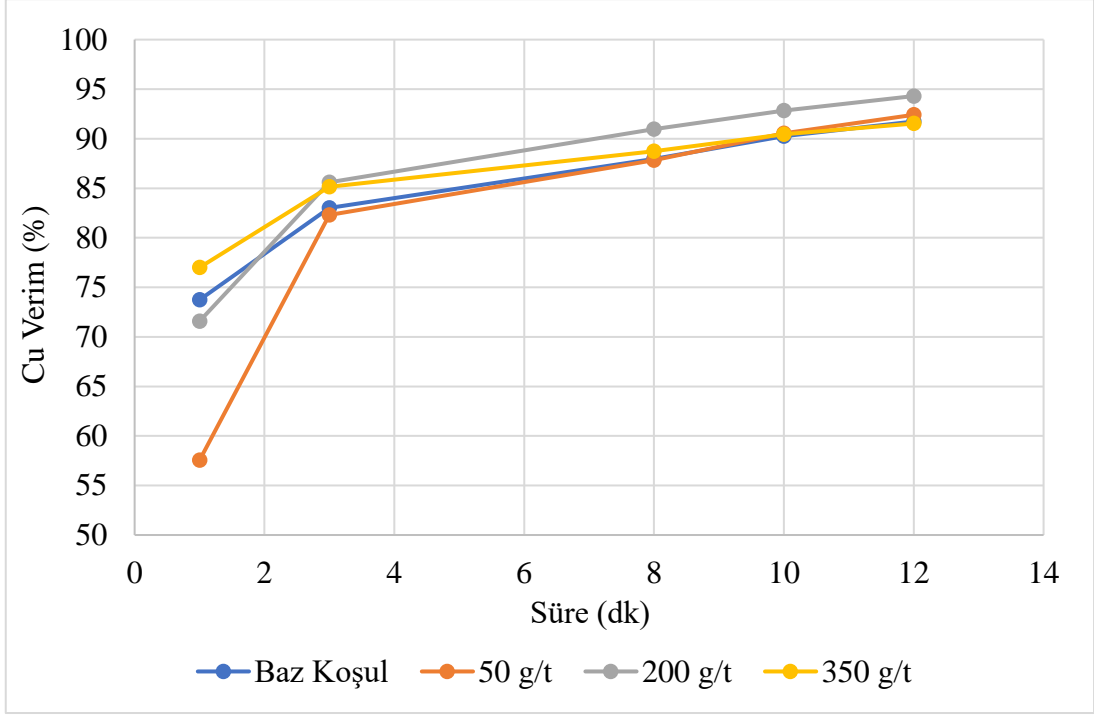
Şekil 4.17 Depramin 347N Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği

Şekil 4.17’de nikel tenörüne karşı nikel verimi grafiği verilmiştir. Nikel verim ve tenörü için en etkin sonucun Depramin 347N ile 200 g/t dozajda yapılan deneyde elde edildiği söylenebilir. Baz koşulda %2,4 tenör, %82,4 verim ile elde edilen konsantredeki nikel, Depramin 347N orta dozaj (200 g/t) ile %2,3 tenör, %87 verim ile elde edilmiştir.

Kaba flotasyon devresinde (8dk) Depramin 347N reaktifinin 350 g/t kullanıldığı deneyde diğer dozajlara göre verim düşmeden bakır (%4,7’den %6,2’ye) ve nikel tenörü (%2,6’dan %3,2’ye) yükselmiştir. Ek olarak 50g/t düşük dozaj kullanımında demir tenörü yüksektir, bu da safsızlıkları bastırmada düşük dozajın yeterli olmadığını göstermektedir.

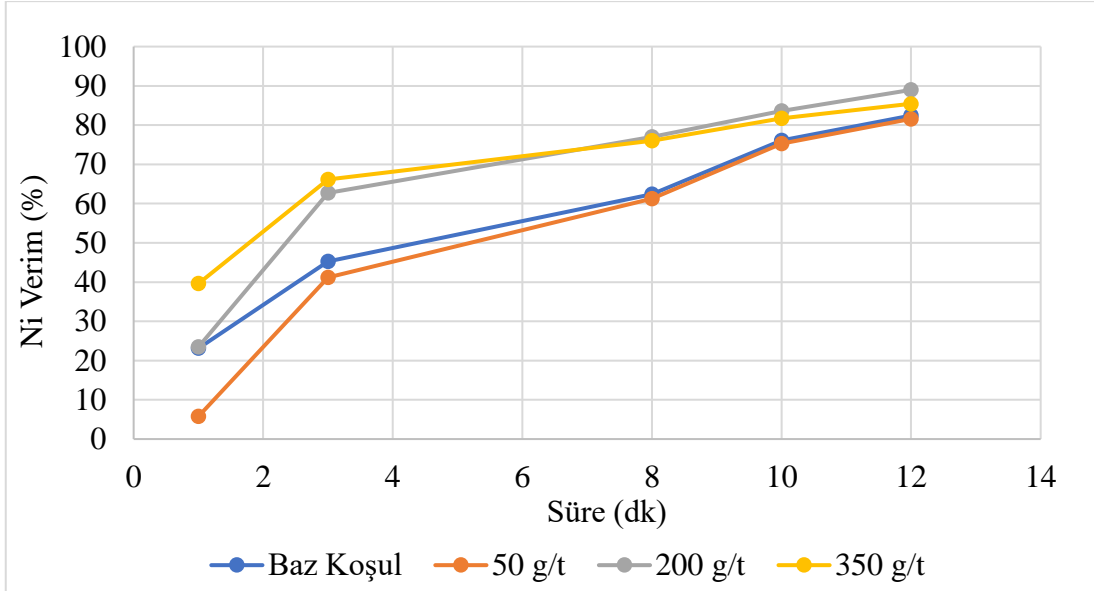
Rheoflo TNS 90

Rheoflo TNS 90’ın 50 g/t, 200 g/t ve 350 g/t kullanıldığı deneylerin hem kendi içerisinde hem de baz koşula göre karşılaştırmaları Şekil 4.18’den Şekil 4.22’ye kadar grafiklerle incelenmiştir.



Şekil 4.18 Rheoflo TNS 90 Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği

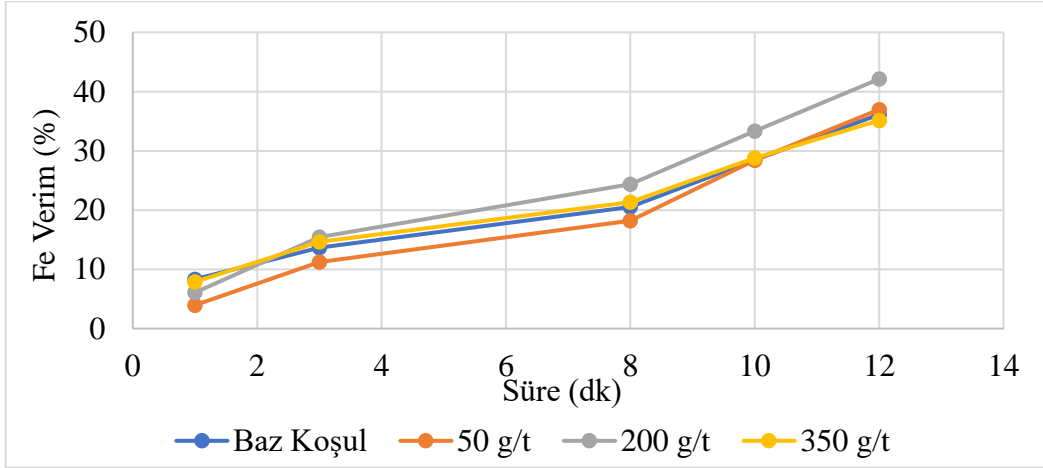
Şekil 4.18’ de zamana karşı bakır verimi grafiği verilmiştir. Verilen grafikte 200 g/t Rheoflo TNS 90 kullanılarak yapılan deneyde bakır verimi en yüksek değeri olan %94,3’tür. Konsantredeki diğer bakır verimleri baz koşulda %91,7’dir, Rheoflo TNS 90 (50 g/t) %92,4’tür, Rheoflo TNS 90 (350 g/t) %91,5’tir.



Şekil 4.19 Rheoflo TNS 90 Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği

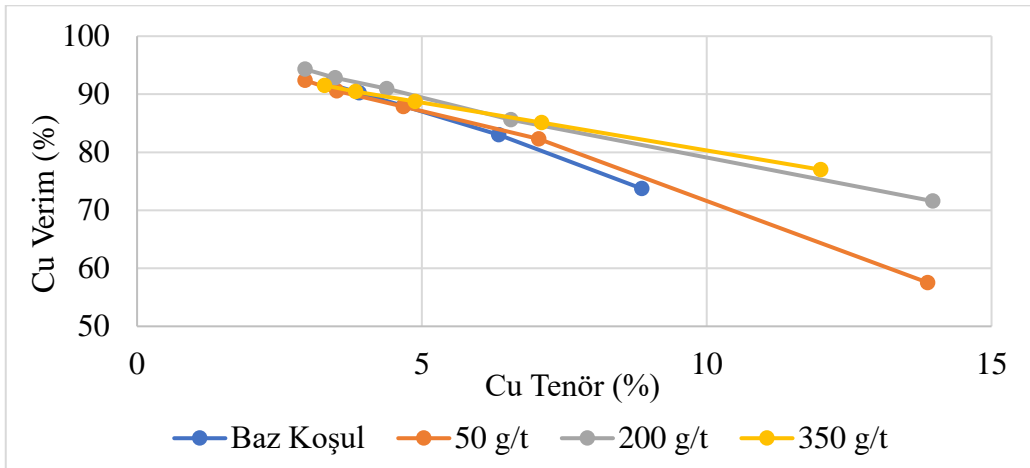
Şekil 4.19’da zamana karşı nikel verimi grafiği verilmiştir. Şekil 4.18’de verilen zamana karşı bakır grafiğine benzer bir şekilde en yüksek verim %89 ile 200 g/t Rheoflo TNS 90

kullanılan deneyde elde edilmiştir. Nikel verimi baz koşulda, 50 g/t ve 350 g/t Rheoflo TNS 90 bastırıcı kullanılan diğer koşullarda ise sırasıyla %82,4, %81,6 %85,4 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, yüksek miktarda (200 g/t ve 350 g/t) Rheoflo TNS 90 bastırıcı kullanımının özellikle kaba flotasyon aşamasında (3 ve 8 dakika) Ni verimine önemli oranda artış sağladığı, ancak flotasyon süresi arttıkça bu farkın azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.20 Rheoflo TNS 90 Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği

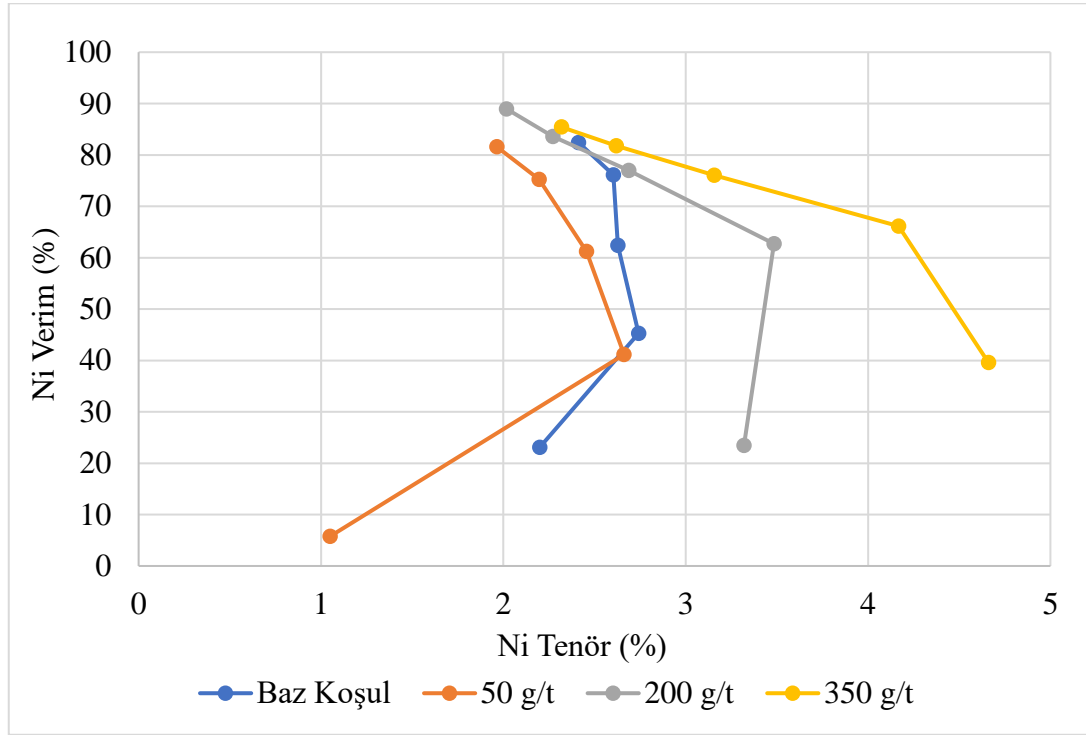
Şekil 4.20’de zaman karşı demir verimi grafiği verilmiştir. Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’de bakır ve nikel veriminin yüksek olduğu 200 g/t Rheoflo TNS 90 test koşulunda demir verimide %42,1 ile baz koşul ve diğer dozajlara göre yüksektir. Bakır-nikel ile birlikte demir veriminin de yüksek olması reaktifin seçimliliğinin Rheolon 30N (Şekil 4.6) ve Rheolon 300N’ye (Şekil 4.11) göre daha düşük olduğu şeklinde yorumlanabilir.



Şekil 4.21 Rheoflo TNS 90 Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.21’de bakır tenörünün bakır verimine karşı çizilen grafiği verilmiştir. Flotasyonun ilk dakikasında Rheoflo TNS 90’ın yüksek dozajda (350 g/t) kullanımı baz koşula göre bakır tenörünü %8,9’dan %12’ye bakır verimi ise %73,4’den %77’ye yükselmiştir.

Flotasyonun sonunda (12 dk) bakır tenörü %3,4'den %3,3'e, bakır verimi ise %91,7'den %91,5'e azalmıştır.



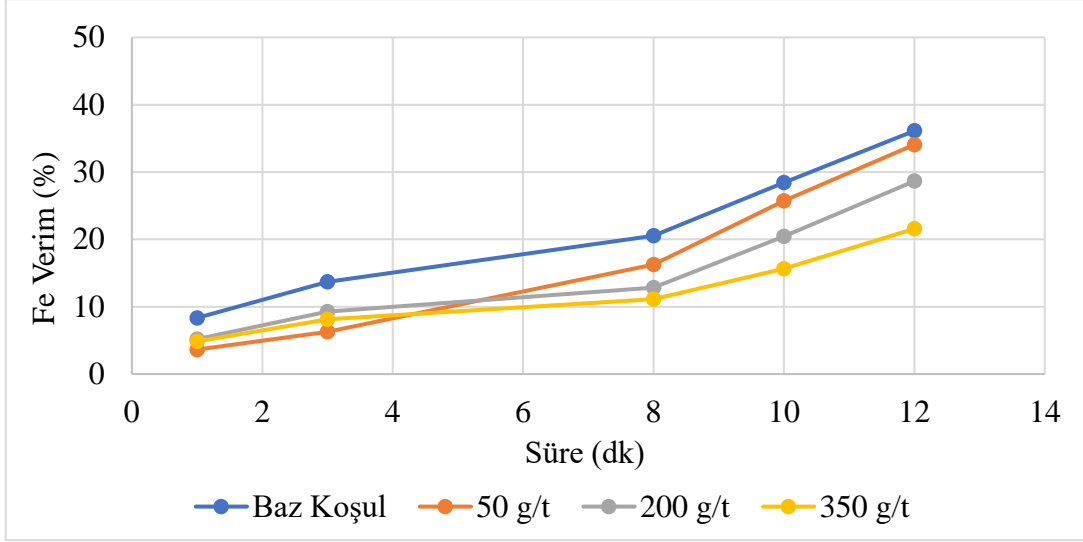
Şekil 4.22 Rheoflo TNS 90 Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafığı

Şekil 4.22'de nikel tenörünün nikel verimine karşı çizilen grafiğini görmekteyiz. Rheoflo TNS 90 reaktifinin orta (200 g/t) ve yüksek (350 g/t) dozaj kullanımında baz koşula göre daha yüksek nikel tenörü ve verimi elde edilmiştir. Kaba flotasyon devresinde (8 dk) nikel tenörü %2,6'dan %3,2'ye, verim ise %62,4'den %76'ya yükselmiştir.

Yukarıda incelenen Şekil 4.18 – Şekil 4.22 grafiklerine göre Rheoflo TNS 90'ın en iyi performans gösterdiği dozaj 350 g/t olmuştur. Rheoflo TNS 90'ın 350 g/t kullanıldığı deneyin baz koşula göre performansı; konsantr kütlesi %21,2'den %20,2'ye düşmüş, bakır tenörü %3,4'den %3,3'e düşmüş, nikel tenörü %2,4'den %2,3'e düşmüştür. Bakır verimi %91,7'den %91,5' düşmüş, nikel verim ise %82,4'den %85,4'e yükselmiştir.

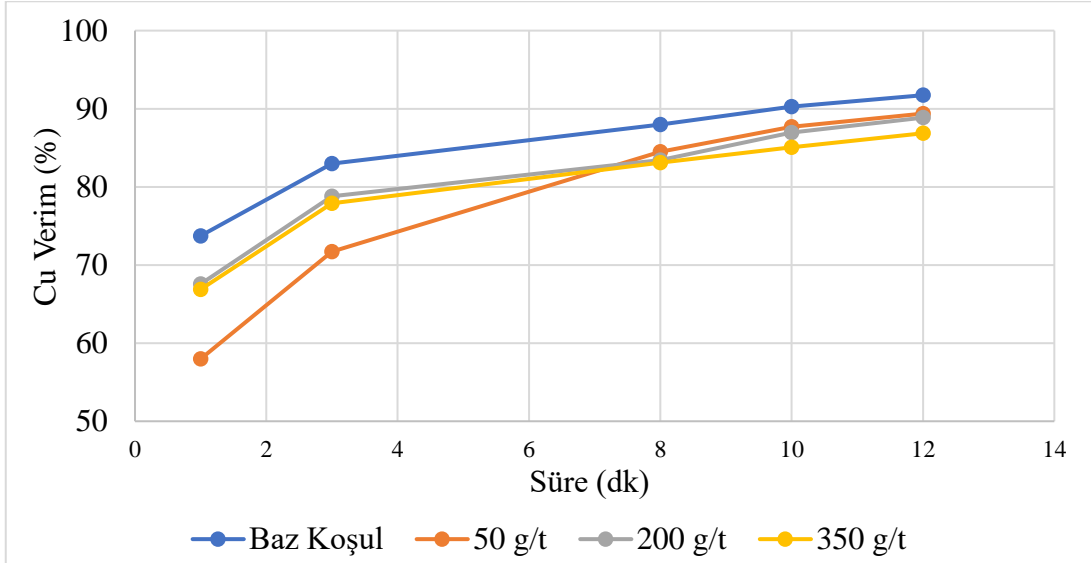
8860 GL GCA

8860 GL GCA'nın 50 g/t, 200 g/t ve 350 g/t kullanıldığı deneylerin hem kendi içerisinde hem de baz koşula göre karşılaştırmaları Şekil 4.23'den Şekil 4.27'ye kadar grafiklerle incelenmiştir.



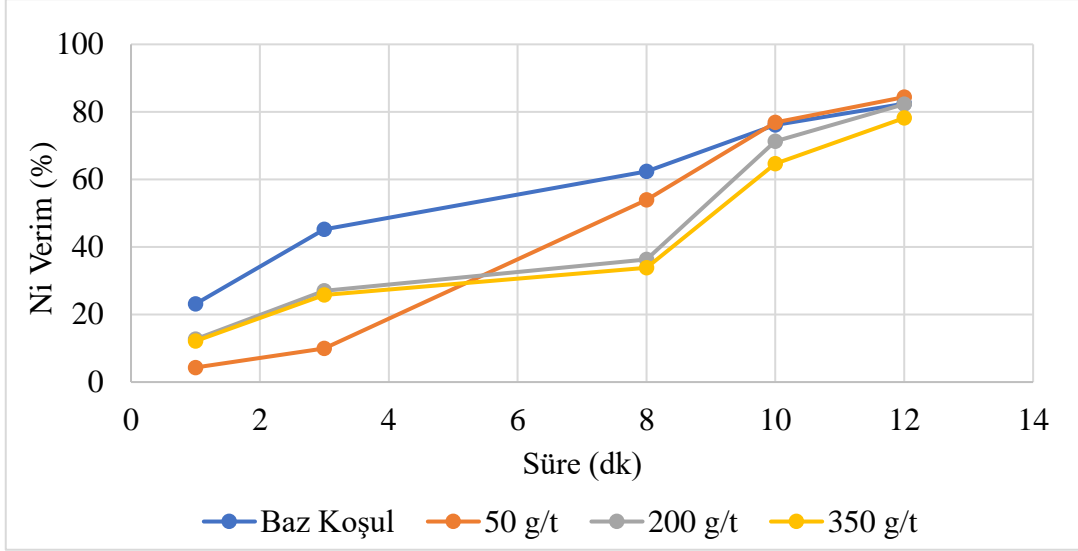
Şekil 4.23 8860 GL GCA Birikimli Zaman-Demir Verimi Grafiği

Şekil 4.23’de zamana karşı demir verimi grafiği verilmiştir. Kullanılan CMC’nin (8860 GL GCA) dozajı arttıkça (50 g/t’den 350 g/t’a) konsantrenin demir verimi düşmektedir. Flotasyon sonunda baz koşulda %36,1 olan demir verimi 8860 GL GCA’nın yüksek dozajda (350 g/t) kullanılan deneyinde %21,6’ya düşmüştür.



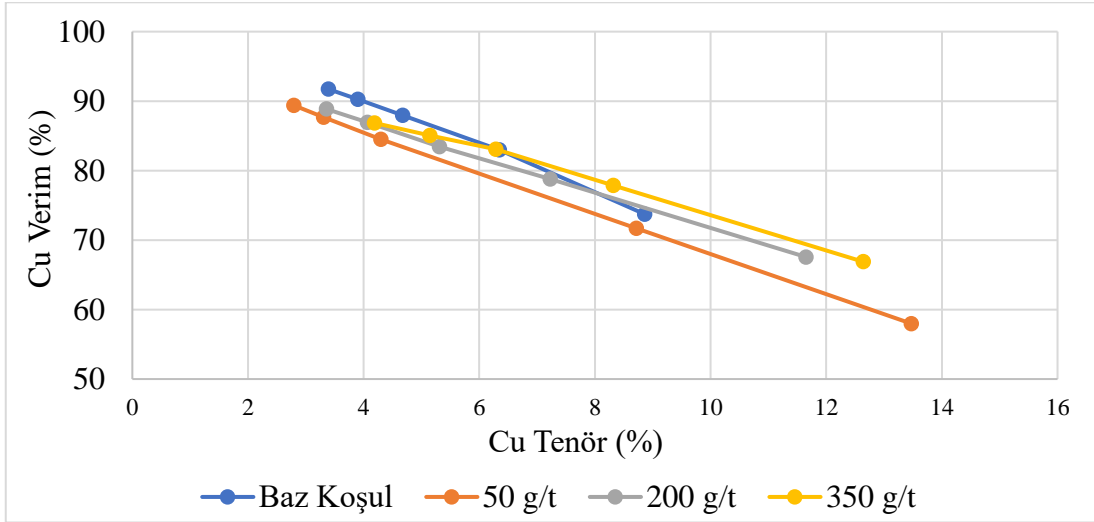
Şekil 4.24 8860 GL GCA Birikimli Zaman-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.24’de zamana karşı bakır verimi grafiği incelendiğinde kullanılan CMC’nin (8860 GL GCA) dozajı arttıkça (50 g/t’den 350 g/t’a) bakır verimi baz koşula göre düşmüştür. Baz koşulda %91,7 olan bakır verimi, 8860 GL GCA’nın yüksek dozajlı (350 g/t) testinde %86,9’a düşmüştür.



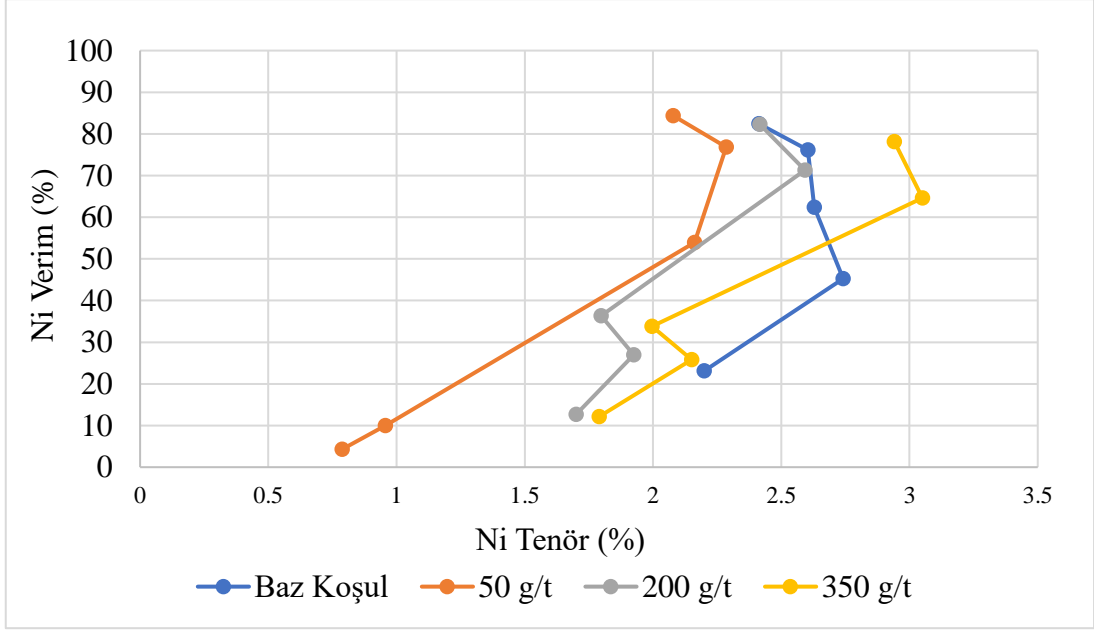
Şekil 4.25 8860 GL GCA Birikimli Zaman-Nikel Verimi Grafiği

Şekil 4.25’de zamana karşı nikel verimi grafiği verilmiştir. En yüksek nikel verimi %84,4 ile 8860 GL GCA’nın 50 g/t kullanıldığı teste elde edilmiştir. En düşük nikel verimi %78,2 ile 8860 GL GCA’nın yüksek dozajda (350 g/t) kullanıldığı deneyde kazanılmıştır. Baz koşulunun nikel verimi %82,4’tür.



Şekil 4.26 8860 GL GCA Birikimli Bakır Tenörü-Bakır Verimi Grafiği

Şekil 4.26’da bakır tenörünün bakır verimine karşı çizilen grafiği verilmiştir. 8860 GL GCA’nın yüksek dozajda (350 g/t) kullanımı kaba flotasyon devresinde (8 dk) baz koşula göre bakır tenörünü %4,7’den %6,3’e yükselttiği, verimi ise %88’den %83,1’e düşürdüğü görülmektedir. Nihai konsantride bakır tenörü %3,4’den %4,2’ye yükselttiği, bakır verimini ise %91,7’den %86,9’a düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 4.27 8860 GL GCA Birikimli Nikel Tenörü-Nikel Verimi Grafiği

Şekil 4.27’de nikel tenörünün nikel verimine karşı çizilen grafiği verilmiştir. 8860 GL GCA kullanılan deneylerde flotasyonun süpürme 1 devresine (10 dk) kadar nikel verimi ve tenörü artış göstermiştir. Nikel tenörünün baz koşula göre daha yüksek olduğu 350 g/t dozajla yapılan deneydir. Baz koşula göre konsantre kütlesi %21,2’den %14,6’ya düşmüştür. Nikel tenörü %2,4’den %2,9’a yükselmiştir. Nikel verimi ise %82,4’den %78,2’ye düşmüştür.

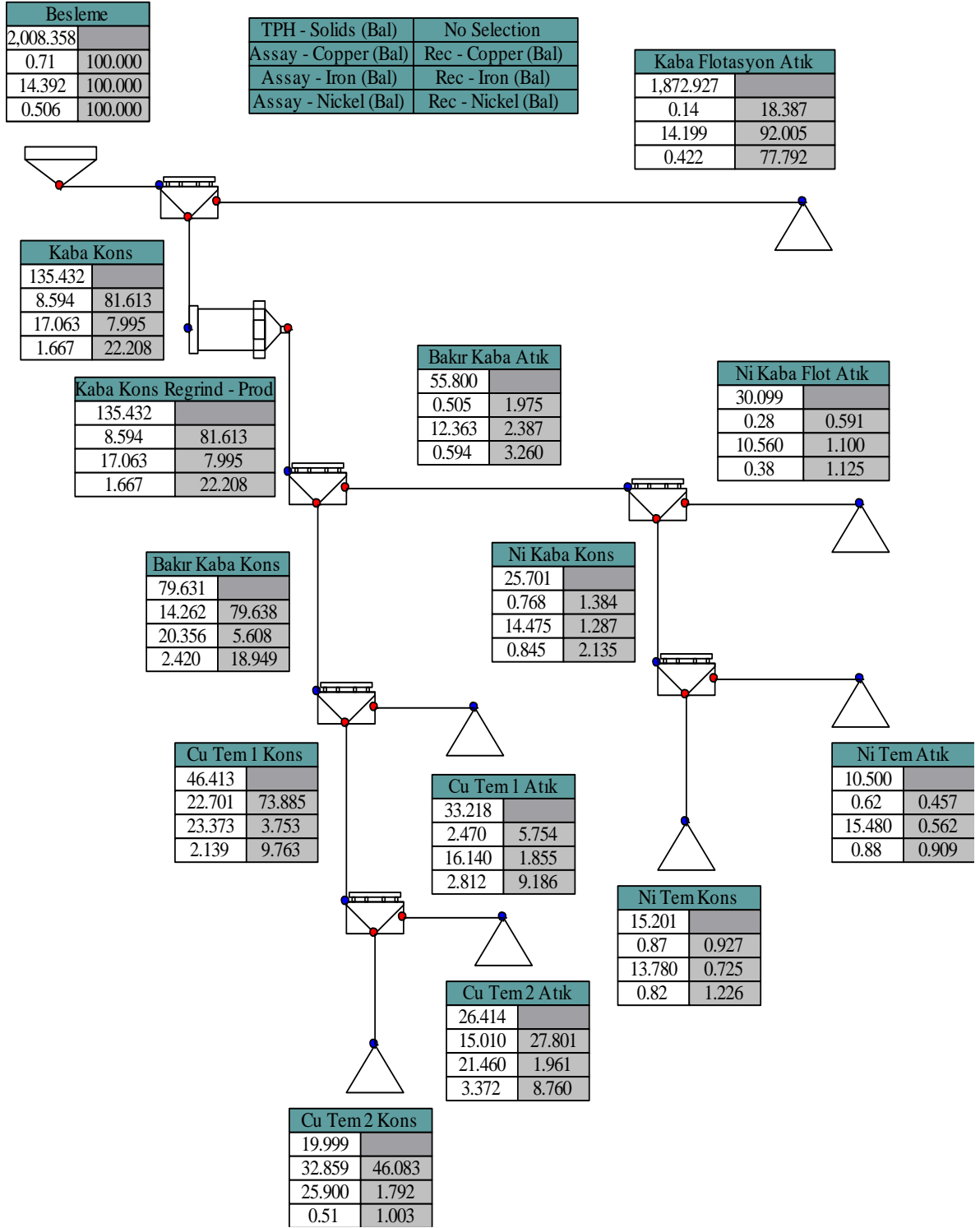
Yukarıda incelenen Şekil 4.23 – Şekil 4.27 grafiklerine göre 8860 GL GCA’nın en iyi performans gösterdiği dozaj 350 g/t olmuştur. 8860 GL GCA’nın 350 g/t kullanıldığı deneyin baz koşulu ile karşılaştırıldığında, konsantre kütlesi %21,2’den %14,6’ya düşmüş, bakır tenörü %3,4’ten %4,2’ye yükselmiş, nikel tenörü %2,4’ten %2,9’a yükselmiştir. Bakır verimi %91,7’den %86,9’a düşmüş, nikel verim ise %82,4’ten %78,2’ye düşmüştür.

Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1’den Şekil 4.27’ye kadar detaylı bir incelemenin sonunda, açık devre temizlemeli flotasyon testlerinde Rheolon 30N ve Depramin 347N CMC’lerinin kullanılmasına karar verilmiştir. 350 g/t Rheolon 30N’nin baz koşula göre konsantre kütlesini %21,2’den %12,4’e düşürdüğü, bakır tenörünü %3,4’den %4,6’ya nikel tenörü %2,4’den %3,1’e yükselttiği görülmektedir. Fakat nihai bakır verimi %91,7’den %87,9’a, nihai nikel verimi %82,4’den %79,9’a düşürmüştür. Rheolon 30N reaktifi Akkim firması tarafından üretilmektedir ve aynı zamanda cevher numunesinin temin edildiği Canadian

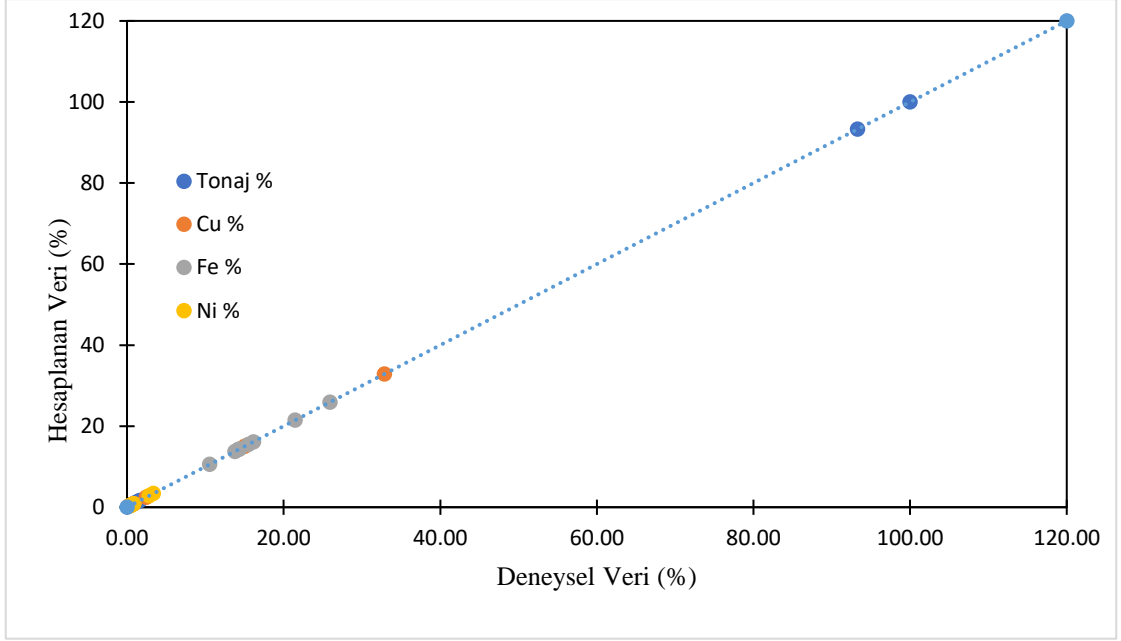
Royalties Inc. tarafından kullanılmaktadır. 350 g/t Depramin 347N kullanılan deneyler incelendiğinde baz koşula göre konsantre kütlesi %21,2'den %19,9'a düşmüş, konsantrenin bakır tenörü %3,4'den %3,9'a yükselmiştir, nikel tenörü %2,4'den %2,2'ye düşmüştür. Devrenin bakır verimi %91,7'den %94,5'e yükselmiş, nikel verimi %82,4'den %79,6'ya düşmüştür. Depramin 347N reaktifi Arkema firması tarafından üretilmektedir. Deneysel çaişmaların ikinci aşaması açık devre temizleme flotasyon deneyleri ile devam edecektir. Baz koşul, ve ilk aşamada ev iyi sonuçlar elde edilen iki bastırıcı (Rheolon 30N ve Depramin 347N) en yüksek dozda (350 g/t) gerçekleşmiştir. Yapılan açık devre temizlemeli flotasyon testlerinin sonuçları aşağıda Şekil 4.28 – Şekil 4.32'de verilen akım şemalarında incelenecektir.

4.2. Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Testleri ve Geri Çevirmeli Kapalı Devre Sonuçları

Tez kapsamında satılabilir kalitede konsantre elde edebilmek için temizleme devresini de kapsayan flotasyon testleri yapılmasına karar verilmiştir. Bakır devresinde iki kademe temizleme, nikel devresinde bir kademe temizleme yapılacaktır. Temizleme devrelerine yeteri kadar cevher beslenebilmesi için testler 2 kg ile yapılmıştır. Öğütme kalibrasyonunun bozulmaması için iki defa 1 kg cevher 20 dk öğütülüp birleştirilerek toplu flotasyon yapılmıştır. Toplu flotasyonun konsantresi minerallerin yüzeyinin reaktiflerden arındırılması ve daha çok serbestleşmeleri için 5 dk yeniden öğütme değirmenine beslenmiştir. Yeniden öğütülen cevher bakır kaba flotasyon devresine beslenmiştir. Toplu flotasyonun atığı ise nihai atığa gönderilmiştir. Bakır kaba flotasyon devresinin konsantresi bakır temizleme 1 devresine beslenmiştir, atığı ise nikel kaba flotasyon devresine beslenmiştir. Bakır temizleme 1 devresinin konsantresi bakır temizleme 2 devresine beslenmiştir. Bakır temizleme 2 devresinin konsantresi nihai bakır konsantresidir. Nikel kaba flotasyon devresinin konsantresi nikel temizleme 1 devresine beslenmiştir. Nikel temizleme 1 devresinin konsantresi nihai nikel konsantresidir. Ancak nikel devresinde tenör ve verim değerleri çok düşük kalmıştır, satılabilir özellikte bir konsantre elde edilememiştir. JK Simmet programında çizilen ve hesaplanan açık devre temizlemeli flotasyon akım şemasının kütle denkliği (Şekil 4.28, Şekil 4.30 ve Şekil 4.32) aşağıda verilmiştir.



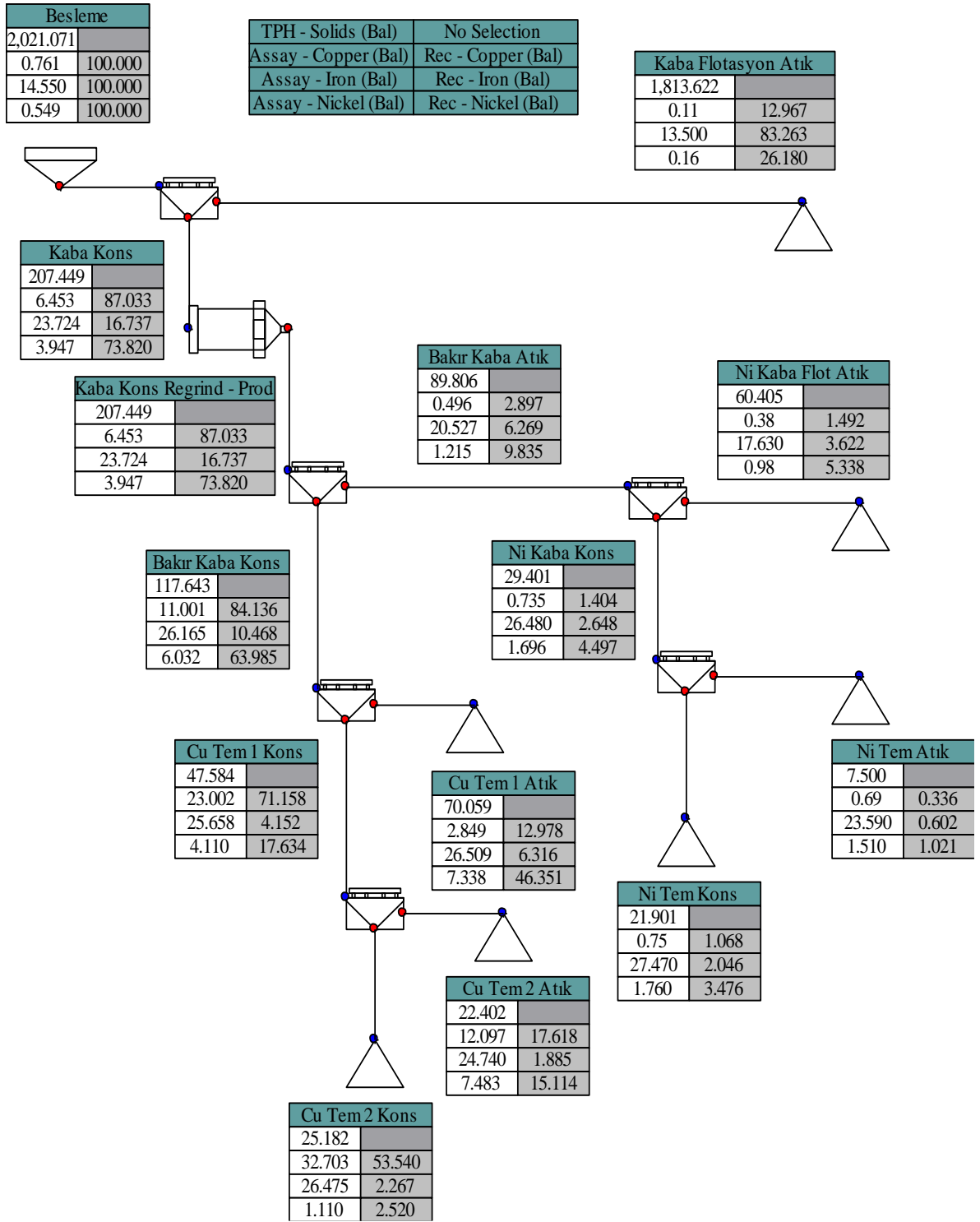
Şekil 4.28 Baz koşul için Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Kütle Denkliği Akım Şeması



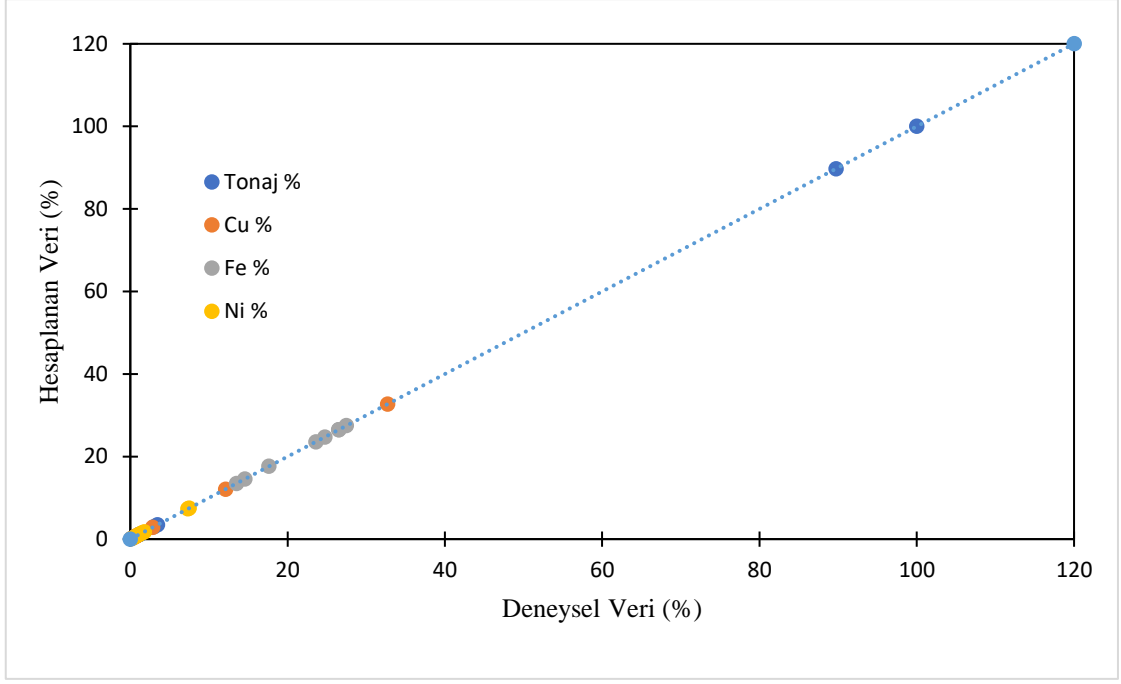
Şekil 4.29 Baz koşulunun JK Sim Float 6.4'de deneysel verilerin hesaplanan verilere karşı çizilen grafiği

Baz koşulunun JK Sim Float 6.4 programı kullanılarak yapılan madde denkleği çalışmaları sonucunda hesaplanan veri ile deneysel verilerin karşılaştırıldığı grafik Şekil 4.29'da verilmiştir. Grafik incelendiğinde deneysel veriler ile program tarafından hesaplanan veriler aynı doğrultuda çıkmıştır.

Şekil 4.28'de baz koşula ait açık devre temizlemeli flotasyon kütle denkleği akım şeması verilmektedir. Bakır temizleme 1 devresinin Cu tenörü %22,7, verimi %73,9'dur; Fe tenörü %23,4, verimi %3,8'dir ve Ni tenörü %2,1, verimi %9,8'dir. Bakır temizleme 2 devresinin Cu tenörü %32,9, verimi %46,1'dir; Fe tenörü %25,9, verimi %1,8'dir; Ni tenörü %0,5, verimi %1,0'dır. Nikel temizleme 1 devresinin Ni tenörü %0,8, verimi %1,2; Fe tenörü %13,8, verimi %0,7; Cu tenörü %0,9, verimi %0,9 olarak elde edilmiştir. Tasarlanan ve denenilen bu devrede satılabilir bir nikel konsantresi elde edilememiştir. Bakır temizleme 1 devresinin Cu tenörü %20'den fazladır ve temizleme 2 devresine besleme yapılmadan bu konsantrede satılabilir.



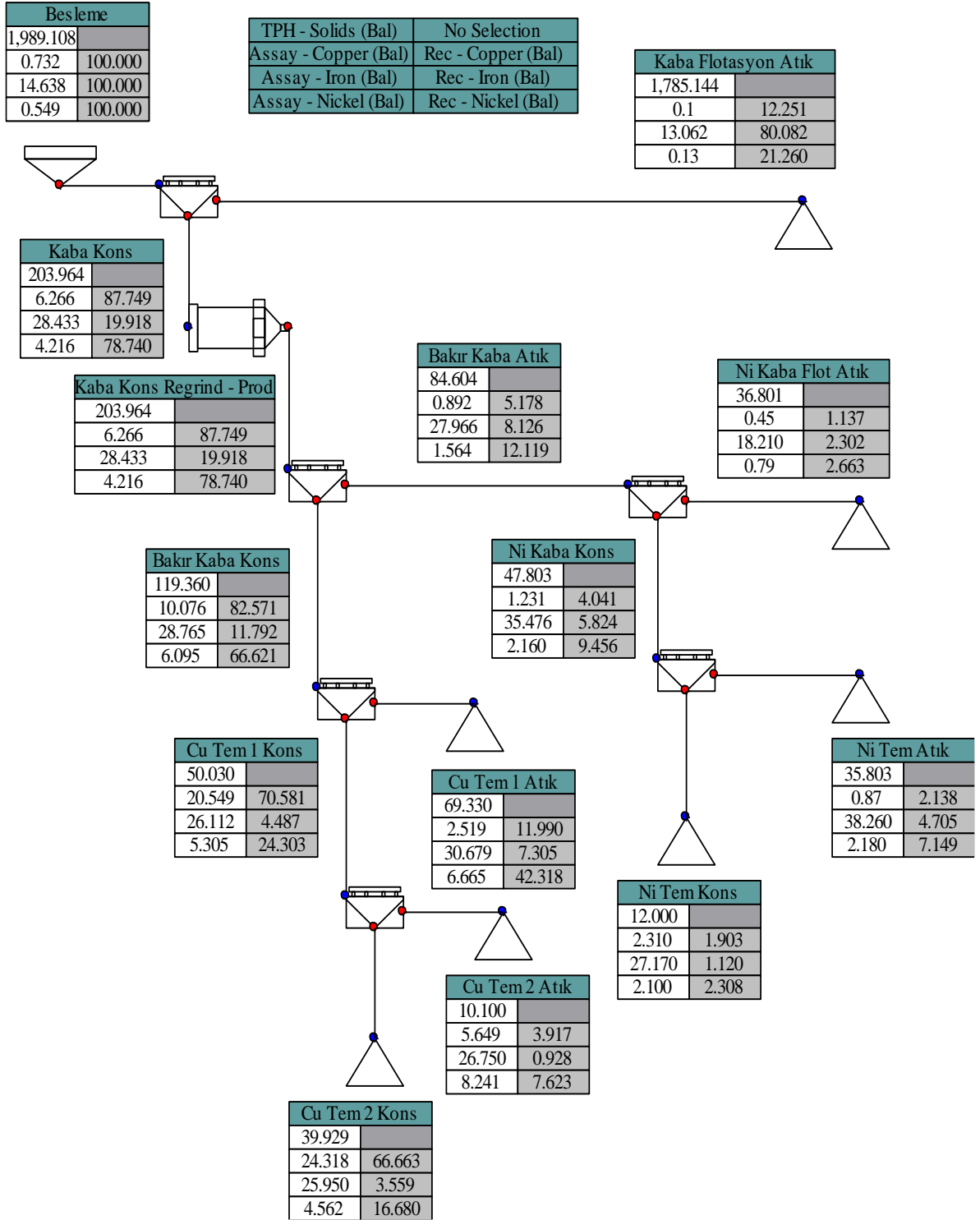
Şekil 4.30 Rheolon 30N için Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Kütle Denkliği Akım



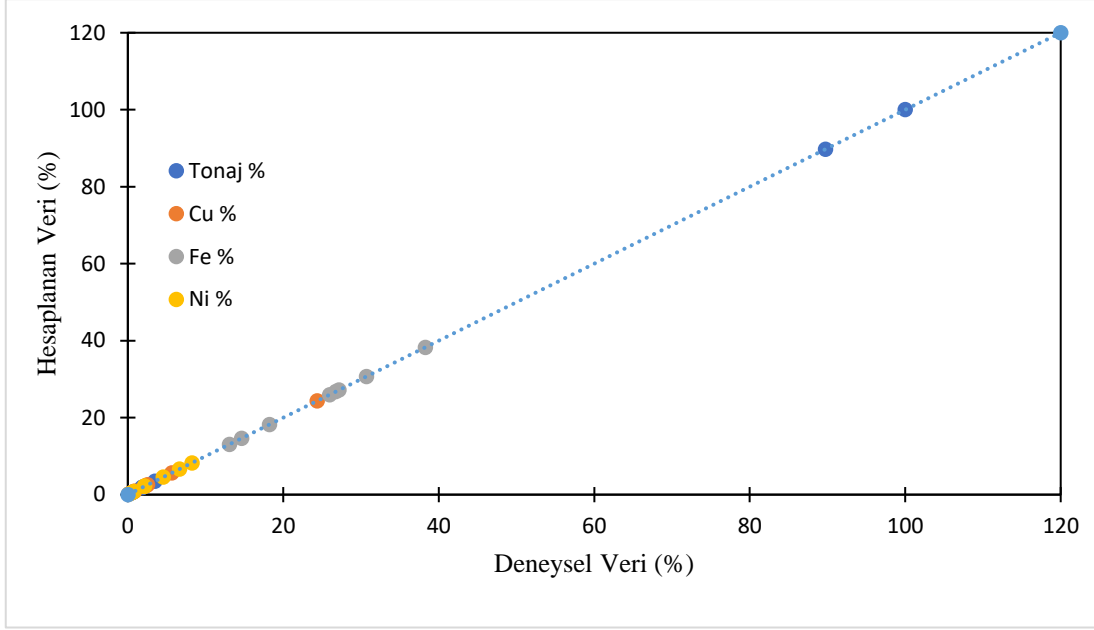
Şekil 4.31 Rheolon 30N'nin JK Sim Float 6.4'de deneysel verilerin hesaplanan verilere karşı çizilen grafiği

Rheolon 30N kullanılan temizleme devreli flotasyon deneyinin, JK Sim Float 6.4 programı kullanılarak yapılan kütle denklığı çalışmaları sonucunda hesaplanan değerler ile deneysel verilerin karşılaştırıldığı grafik Şekil 4.31'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde deneysel veriler ile program tarafından hesaplanan değerler aynı doğrultuda çakışmıştır.

Şekil 4.30'de Rheolon 30N'ye (350 g/t) ait açık devre temizlemeli flotasyon kütle denklığı akım şeması verilmektedir. Bakır temizleme 1 devresinin Cu tenörü %23,0, verimi %71,2'dir. Fe tenörü %25,7, verimi %4,1'dir. Ni tenörü %4,1, verimi %17,6'dır. Bakır temizleme 2 devresinin Cu tenörü %32,7, verimi %53,4'tür. Fe tenörü %26,5, verimi %2,3'dür. Ni tenörü %1,1, verimi %2,5'dir. Nikel temizleme 1 devresinin Ni tenörü %1,8, verimi %3,5'dir. Fe tenörü %27,5 verimi %2,0'dır. Cu tenörü %0,7, verimi %1,0'dır. Bu devrede satılabilir bir nikel konsantresi elde edilememiştir. Bakır temizleme 1 devresinin Cu tenörü %20'den fazladır ve temizleme 2 devresine besleme yapılmadan bu konsantrede satılabilir.



Şekil 4.32 Deprimin 347N için Açık Devre Temizlemeli Flotasyon Kütle Denkliği Akım Şeması



Şekil 4.33 Depramin 347N'nin JK Sim Float 6.4'de deneysel verilerin hesaplanan verilere karşı çizilen grafiği

Depramin 347N kullanılan temizleme devreli flotasyon deneyinin, JK Sim Float 6.4 programı kullanılarak yapılan madde denkliği çalışmaları sonucunda hesaplanan veri ile deneysel verilerin karşılaştırıldığı grafik Şekil 4.33'de verilmiştir. Grafik incelendiğinde deneysel veriler ile program tarafından hesaplanan veriler aynı doğrultuda çakışmıştır. Şekil 4.29, Şekil 4.31 ve Şekil 4.33'de bulunan grafiklerde bu verilerin aynı doğrultu üzerinde yer alması, verilerin sağlıklı olması açısından istenilen bir durumdur.

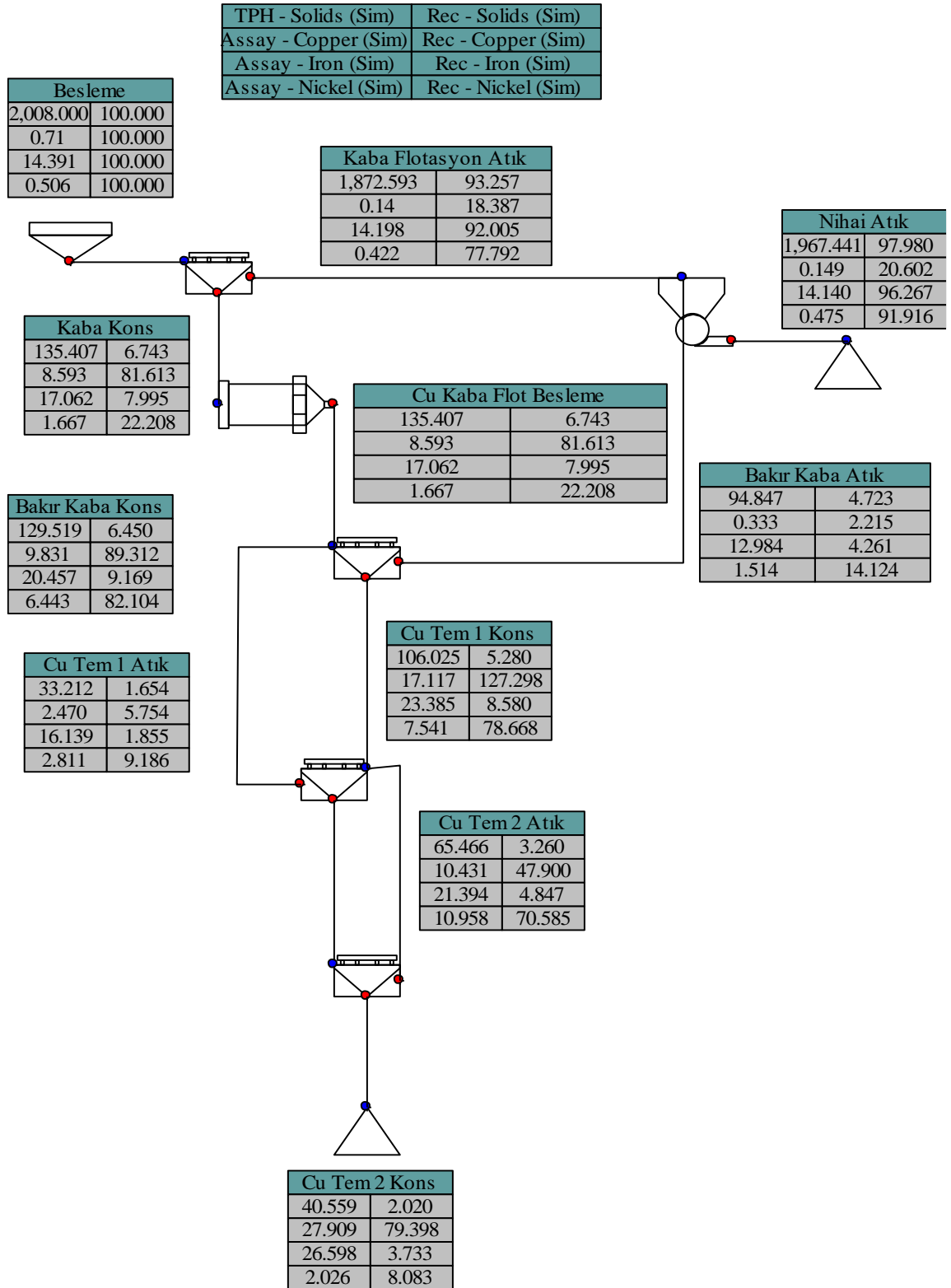
Şekil 4.32'da Depramin 347N'ye (350 g/t) ait açık devre temizlemeli flotasyon kütle denkliği akım şeması verilmektedir. Bakır temizleme 1 devresinin Cu tenörü %20,5, verimi %70,6'dır. Fe tenörü %26,1, verimi %4,5'dir. Ni tenörü %5,3, verimi %24,3'dür. Bakır temizleme 2 devresinin Cu tenörü %24,3, verimi %66,6'dır. Fe tenörü %25,9, verimi %3,6'dır. Ni tenörü %4,6, verimi %16,7'dir. Nikel temizleme 1 devresinin Ni tenörü %2,1, verimi %2,3'dir. Fe tenörü %27,2 verimi %1,1'dir. Cu tenörü %2,3, verimi %1,9'dur. Bu devrede satılabilir bir nikel konsantresi elde edilememiştir. Bakır temizleme 1 devresinin Cu tenörü %20'den fazladır ve temizleme 2 devresine besleme yapılmadan bu konsantrede satılabilir.

Yukarıda ayrıntılı incelenen açık temizleme devreli flotasyon deney sonuçlarının kütle denkliği yapılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde bastırıcı kullanılarak yapılan deneylerde kaba devrede bakır ve nikel verimlerinde artış görülmektedir. Ayrıca nihai bakır

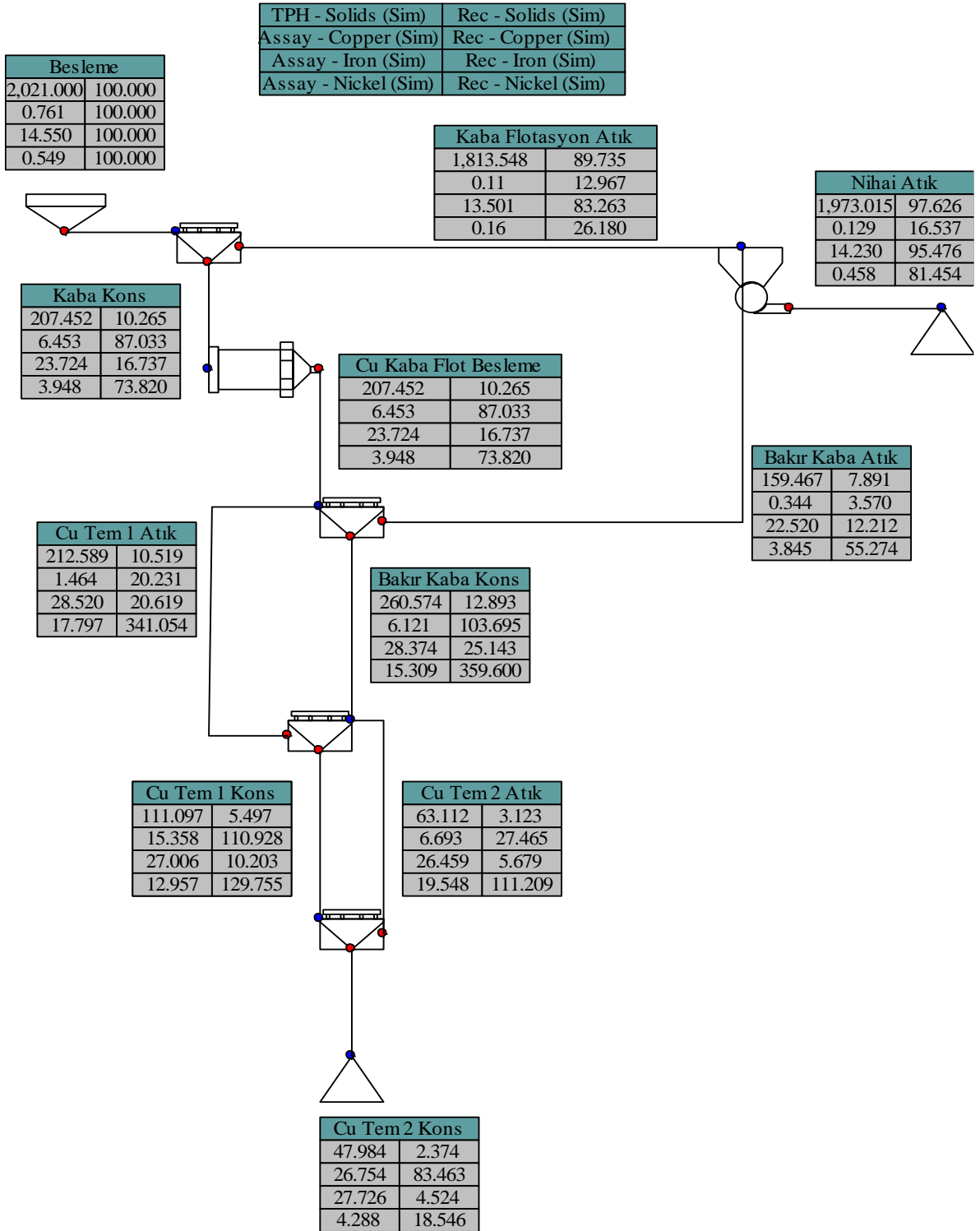
konsantresinde de bakır verim artışı görülmektedir. Bakır tenörleri ve verimleri sırasıyla %32,86 - %46,08 (baz koşul), %32,70 - %53,54 (Rheolon 30N), %24,32 - %66,66 (Depramin 347N) kütle denkliğinde görülmektedir.

Nikel davranımı incelendiğinde ise baz koşulda verim çok düşük kalmış, bastırıcı ile yapılan deneylerde bakır temizleme atık devresinde kalmıştır. Nikel devresinde konsantr elde edilememiştir. CMC kullanılan deneylerin bakır atık devrelerinde demir tenörü baz koşula göre daha yüksektir. Bu durum demir içeren safsızlıkların daha iyi bastırılıp konsantreye gelmemesini sağladığı şeklinde yorumlanabilir.

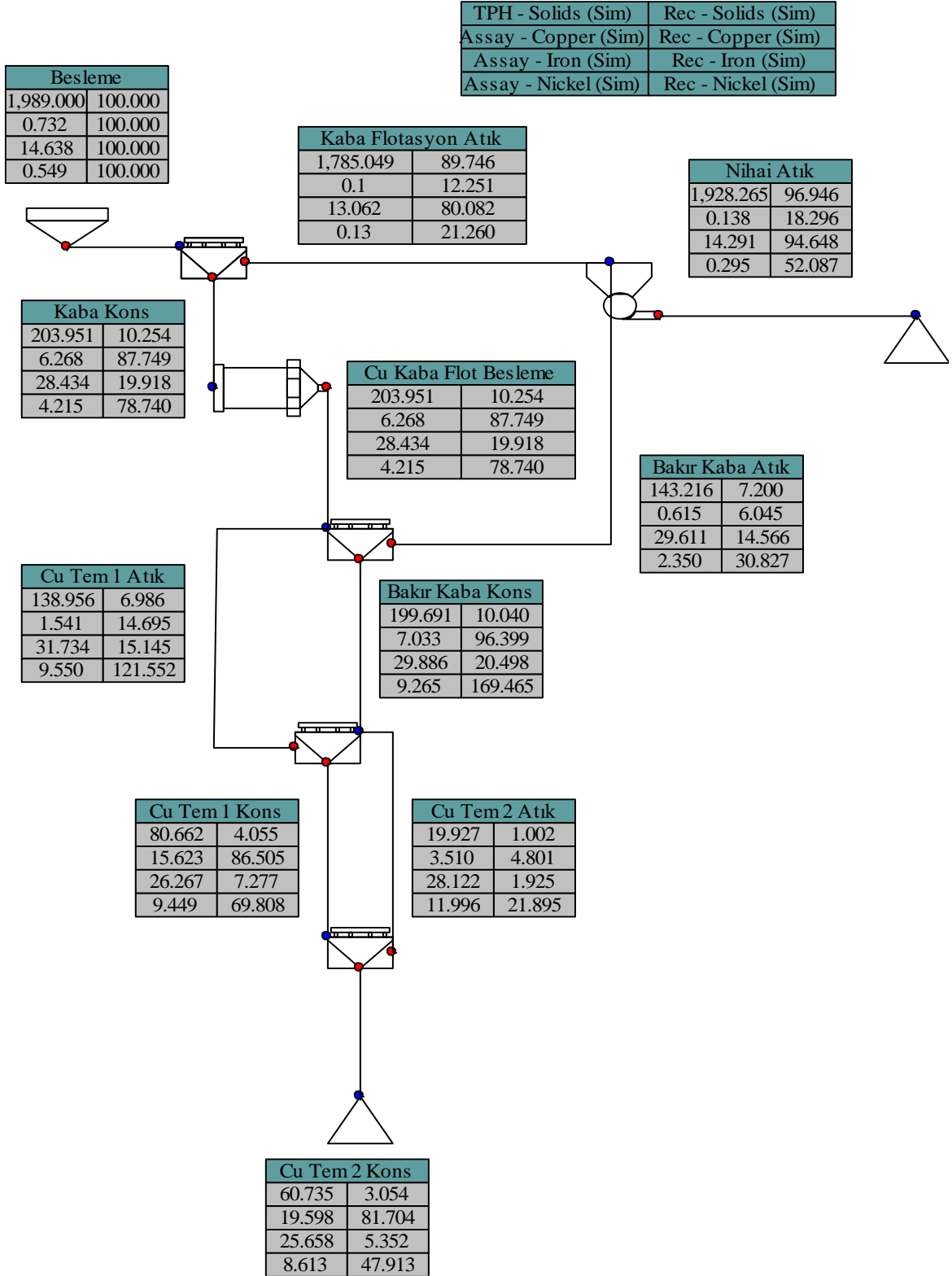
Aşağıda her bir flotasyon hücresinin kendi içindeki mineral verimleri sabit kabul edilerek temizleme atıkları geri döndürülürse üretilecek konsantreyi kestirmek üzere JK Sim Float6.4 programındaki “Defined Mineral Recovery” seçeneği kullanarak geri dönen akışların devre üzerindeki etkisine bakılmıştır. “Devrede herhangi bir kimyasal eklemesi olmadığından flotasyon hız sabitinin değişmediği varsayılmıştır”. Geri çevirmeli kapalı devre kestiriminde hesaplanan veriler Şekil 4.34, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36’da deneysel verilerin hesaplanan verilere karşı çizilen grafiklerindeki doğrusallık doğrultusunda kullanılmıştır.



Şekil 4.34 Baz Koşul için Kapalı Devre Temizlemeli Flotasyon Geri Çevirmeli Akım Şeması



Şekil 4.35 Rheolon 30N için Kapalı Devre Temizlemeli Flotasyon Geri Çevirmeli Akım Şeması



Şekil 4.36 Depramin 347N için Kapalı Devre Temizlemeli Flotasyon Geri Çevirmeli Akım Şeması

Kapalı devre temizlemeli flotasyon kestirimi sonucunda baz koşul Cu konsantresi %2,02 kütle, %27,91 tenör ve %79,40 verim ile elde edilmiştir. Bastırıcı olarak Rheolon 30N kullanılan deneyin simülasyonunda %2,37 kütle, %26,75 tenör ve %83,46 verim ile Cu konsantresi elde edilmiştir. Depramin 347N kullanılan deneyin kapalı devre temizlemeli flotasyon kestiriminde ise Cu konsantresi %3,05 kütle, %19,60 tenör ve %81,70 verim elde edilmiştir.

Bu veriler doğrultusunda aşağıda verilen Çizelge 4.4 ve Çizelge 4.5'te 100 t/sa kapasite ile çalışan bir tesis düşünülerek bakır konsantre satışından gerçekleştirilecek tahmini maliyet ve gelirler hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken bir gün 24 saat, bir yıl 365 gün ve tesisin çalışabilir performansı %85 kabul edilmiştir.

Çizelge 4.4 CMC'lerin Yıllık Maliyet Hesabı

Bastırıcı	Birim Fiyat (\$/t)	Dozaj (g/t)	1 ton Cevher için Maliyet (\$)	Kapasite (t/sa)	Tesis Verimi (%)	Kapasite (t/yıl)	Yıllık Maliyet (\$)
Rheolon 30N	2800	350	0,98	100	85	744600	729.708,00
Depramin 347N	Üretimi durduruldu.	350	-	100	85	744600	-

Çizelge 4.5 Tahmini Bakır Konsantre Satışından Elde Edilebilecek Yıllık Gelir ve CMC Maliyetinin Çıkarılması

	Konsantre Ağırlığı (t/sa)	Konsantre Tenörü (%)	Cu Kons. Ağırlığı (t/yıl)	Güvenlik Katsayısı	%27 Cu Konsantre (\$/t) 15.09.2023	Yıllık Gelir (\$)	Yıllık Fark (\$)
Baz Koşul	2,02	27,91	15041	1,05	2200	34.744.525	0
Rheolon 30N	2,37	26,75	17647	0,95	2200	38.823.444	3.349.210
Depramin 347N	3,05	19,60	22710	0,95	1600 (%20)	34.519.656	-

Bu senaryoda Akkim firmasının ürünü Rheolon 30N ticari isimli CMC'nin kullanımı, bu cevher için inorganik bastırıcılara göre çevresel etkilerinin daha az olmasına ilave yıllık 3.349.210,80 Amerikan Doları ekonomik kazanç da sağlamaktadır. Bu hesabın sonucu piyasa koşullarına, metal fiyatlarına göre değişiklik gösterebilir.

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında Kanada'nın Quebec eyaletinde bulunan Canadian Royalties Inc. şirketine ait Cu-Ni cevheri ile çalışılmıştır. Cevherden toplu Cu/Ni konsantresi elde edilebilmektedir. Cevherde bulunan doğal yüzebilir safsızlık olan talk mineralini bastırarak satılabilir konsantre üretmek hedeflenmiştir. Testler sonucunda yüksek tenörlü (satılabilir) bakır konsantresi elde edilmiştir.

Talkın seçimli bir şekilde bastırması için denenen organik reaktifler farklı molekül ağırlıkları, saflık (%), viskozite ve DS özelliklerine sahiptir. Yüksek saflığa (>%95) sahip analitik reaktifler daha etkilidir fakat birim fiyatları daha yüksektir.

Organik uzun zincirli yapılarının öğütme devresinde bozunmaması için reaktifler kondüsyonlanma aşamasında eklenmiştir. Üç farklı dozajda (50-200-350 g/t) testler yapılmıştır. Düşük konsantre kütlesi, yüksek tenör ve verim 350 g/t dozajda elde edilmiştir. Kaba ve süpürme devreli flotasyon testlerinde baz koşul (bastırıcı kullanılmadan) ve en iyi performans gösteren iki reaktif (Rheolon 30N ve Depramin 347N) seçilerek açık devre temizlemeli flotasyon testleri yapılmıştır.

Açık devre temizlemeli flotasyon testlerinde, baz koşulda %32,86 Cu tenörlü konsantre %46,08 verimle, Rheolon 30N CMC kullanılan deneyde %32,70 Cu tenörü %53,54 verimle, Depramin 347N CMC kullanılan deneyde ise %66,66 verimle %24,32 tenörlü Cu konsantresi elde edilmiştir. Aynı testlerde temizleme atıklarının geri döndürüldüğü kapalı devre tesis koşulu, JK Sim Float programı kullanılarak ve her bir ekipmanın kendi içindeki verimleri sabit tutularak yapılan tahminde, baz koşulda %79,40 verimle %27,91 tenörlü Cu konsantresi, Rheolon 30N bastırıcı ile %83,46 verimle %26,75 Cu tenörlü konsantre ve Depramin 347N ile %81,70 verimle %19,60 Cu elde edilmesi öngörülmektedir.

Çalışmalar sonucunda CMC kullanılan test sonuçlarının baz koşul sonuçlarına göre bakır daha yüksek bir verimle konsantreye gelmiştir. Çevreye etkisi az olan CMC'nin kullanımının ayrıca bu cevher için ekonomik getirisinin fazla olduğu sonucuna varılmıştır. En etkili sonuca sahip CMC, Akkim firmasına ait Rheolon 30N ticari isimli CMC olmuştur. Tezde kullanılan cevher ile kapasitesi 100 t/saat olan bir flotasyon tesisinde 350 g/t Rheolon 30N kullanılması durumunda yıllık yaklaşık 3,4 milyon

Amerikan Doları ek kazanç sağlanması ön görülmektedir. Mineraloji raporunda bulunan elemental analize göre cevherde ceza ödemesi yaptıracak As, Hg, Sb elementleri bulunmamaktadır. Ayrıca Cu konsantrisinde bulunan Ni tenörünün % 4'ten fazla olması halinde nikel miktarının % 30-35'i kadar bonus ödeme yapılmaktadır ki bu da elde edilecek kazancın artmasına sebep olabilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] M. Sato and H. M. Mooney, The electrochemical mechanism of sulfide self-potentials, *Geophysics*, vol. 25, no. 1, pp. 226-249, **1960**.
- [2] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Alıntı Tarihi: 17 09 2023]
<https://enerji.gov.tr/bilgimerkezi-tabii-kaynaklar-bakir>
- [3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, [Alıntı Tarihi: 17 09 2023]
<https://enerji.gov.tr/tabii-kaynaklar-nikel>
- [4] Anonim, Who we are, CanadianRoyalties, [Erişim Tarihi: 28 08 2023]
<https://www.canadianroyalties.com/subsections/1207/qui-sommes-nous.html>,
- [5] B.A Wills, T. Nuppier-Munn, *Mineral Processing Technology*, Elsevier Science & Technology Books, 7nd Edition, **2006**.
- [6] J.A.N. Drzymala, *Foundations of Theory and Practice of Minerallurgy*, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, **2007**.
- [7] R.R. Klimpel, *The Influence of Frother Structure on Industrial Coal Flotation*, **1995**.
- [8] S.M. Bulatovic, *Handbook of Flotation Reagents*, Elsevier Science & Technology Books, **2007**.
- [9] M. Kaya, *Flotasyon El Kitabı-1*, A.V. Müh. Mim. Fak., Maden Millh. Bölümü, Eskişehir, ss. 88-90, **1991**.
- [10] İ. Bayraktar, U.A. Ipekoglu and R. Tolun, Features and Flotation of Complex Cu-Pb-Zn Sulphides, in *Innovations in Flotation Technology*, ed. P. Mavros and K.A. Matis, NATO ASI Series, vol.208, pp.307-330, **1991**.
- [11] K. Hanumantha Rao , P. Somasundaran (Eds.), *Reagents in Mineral Technology*, CRC Press, **2016**.
- [12] A.L. Mular, R. Bhappu, *Mineral Processing: Principles and Practice*, 2nd Edition, **2002**.
- [13] B.A. Wills, J.A. Finch, *Mineral Processing Technology*, Elsevier Science & Technology Books, 8nd Edition, **2015**.
- [14] P. Somasundaran, *Reagents in Mineral Technology*, CRC Press, **1987**.
- [15] T. Renklidağ, A.G. Karaman, *Siyanür Zehirlenmesi*, cild 12, sayı 9, sayfa 350, **2003**.
- [16] A. Kayraldız, *Sodyum Metabisülfid'in Sıçan Kemik İliği Hücrelerinde İn Vivo Genotoksik Etkileri*, Doktora Tezi , Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, **2005**.

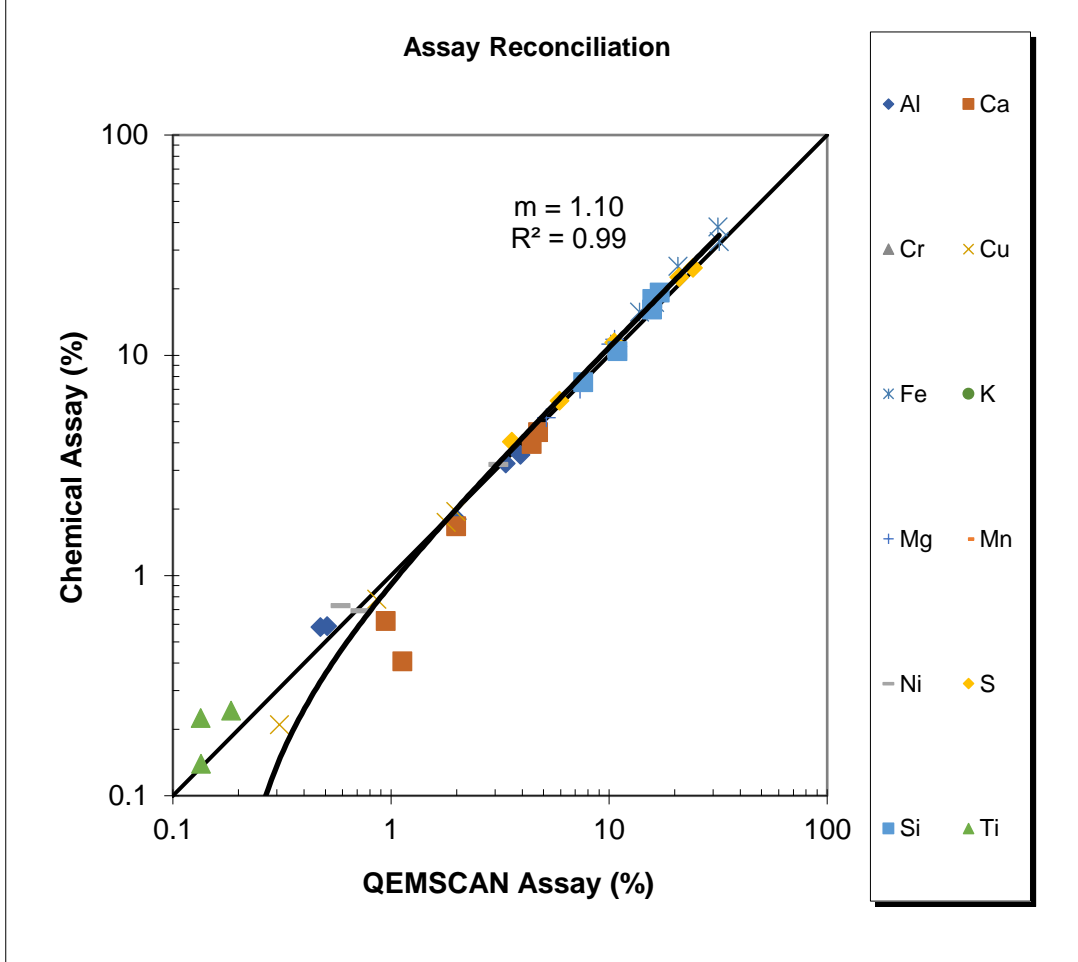
- [17] K. Akçalı, M. Oktav Bulut, B. Tunçkol, G. Buharalı, *Cotinus coggygia Scop. (Peruka Çalısı) Bitkisinden Elde Edilmiş Bitki Ekstraktı ile Boyanmış Yünlü Kumaş Numunelerinin Boyama Özelliklerinin İncelenmesi*, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, sayı 11, syf. 369-380, **2023**.
- [18] O. Bıcaık, Z. Ekmekçi, *Polisakkaritlerin Flotasyonda Bastırıcı Olarak Kullanımı ve Soğurum Mekanizmaları*, *Madencilik*, cilt 44, sayı 1, ss 19-31, **2005**.
- [19] P. Parsonage, D. McIven, A. F. Healevy and D. Watson, *Depressant Function in Flotation of Calcite, Apatite and Dolomite*, in *Reagents in The Minerals Industry*, Ed. M.J. Jones and R. Oblatts, pp 33-40, The Institution of Mining and Metallurgy, **1984**.
- [20] J.S. Laskowski, Q. Liu, *Adsorption of polysaccharides onto sulfides and their use in sulfide flotation polymers in mineral processing*, Laskowski, J.S. (Ed), *MetSoc. of CIM*, 71-89, **1999**.
- [21] L.A. Valdivieso, C.T. Cervantes, S. Song, R.A. Cabrera, J.S. Laskowski, *Dextrin as a Non-Toxic Depressant for Pyrite in Flotation with Xanthates as Collector*, *Minerals Engineering*, Volume 17, Issues 9–10, pp 1001-1006, **2004**.
- [22] Silvester, Ewen & Bruckard, Warren & Woodcock, J. *Surface and chemical properties of chlorite in relation to its flotation and depression*, *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 120. 65-70, **2011**.
- [23] J. R. Schnarr, *Bnmswick Miuing and Smelting Corporation, Millmg Practice in Canada*, Ed. DE. Pıckett, *CIMSpec. Vol 16*, 158-161, **1978**.
- [24] J. S. Laskowski, Q. Liu, Y. Zhang, “*The Adsorption of Polysaccharides onto Mineral Surfaces: Acid-Base Interaction*”, *Int. Journal of Mineral Processing*, 60, 229-245, **2000**.
- [25] M. Birinci, *Dış Manyetik Alanın Flotasyon Sistemine Entegrasyonu Ve Manyetik Flotasyonda Demir Minerallerinin Bastırılması*, *Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, **2011**.
- [26] G. Bulut, F. Göktepe, *Madencilik ve Cevher Hazırlama İşlemlerinde Kullanılan Kimyasallar*, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt : XXV, Sayı : 1, **2012**.
- [27] O. Bıcaık, Z. Ekmekçi, D. Bradshaw, & P. Harris, *Adsorption of guar gum and CMC on pyrite*, *Minerals Engineering*, pp. 996–1002, **2007**.
- [28] S. Malekghasemi, & Z. Yekta, *Effect of carboxymethyl cellulose concentration and pH on talc depression in flotation*, *Journal of Dispersion Science and Technology*, 646-652, **2016**.
- [29] B. Fletcher, W. Chimonyo, Y. Peng, *A comparison of native starch, oxidized starch and CMC as copper-activated pyrite depressants*, *Minerals Engineering*, Volume 156, **2020**.

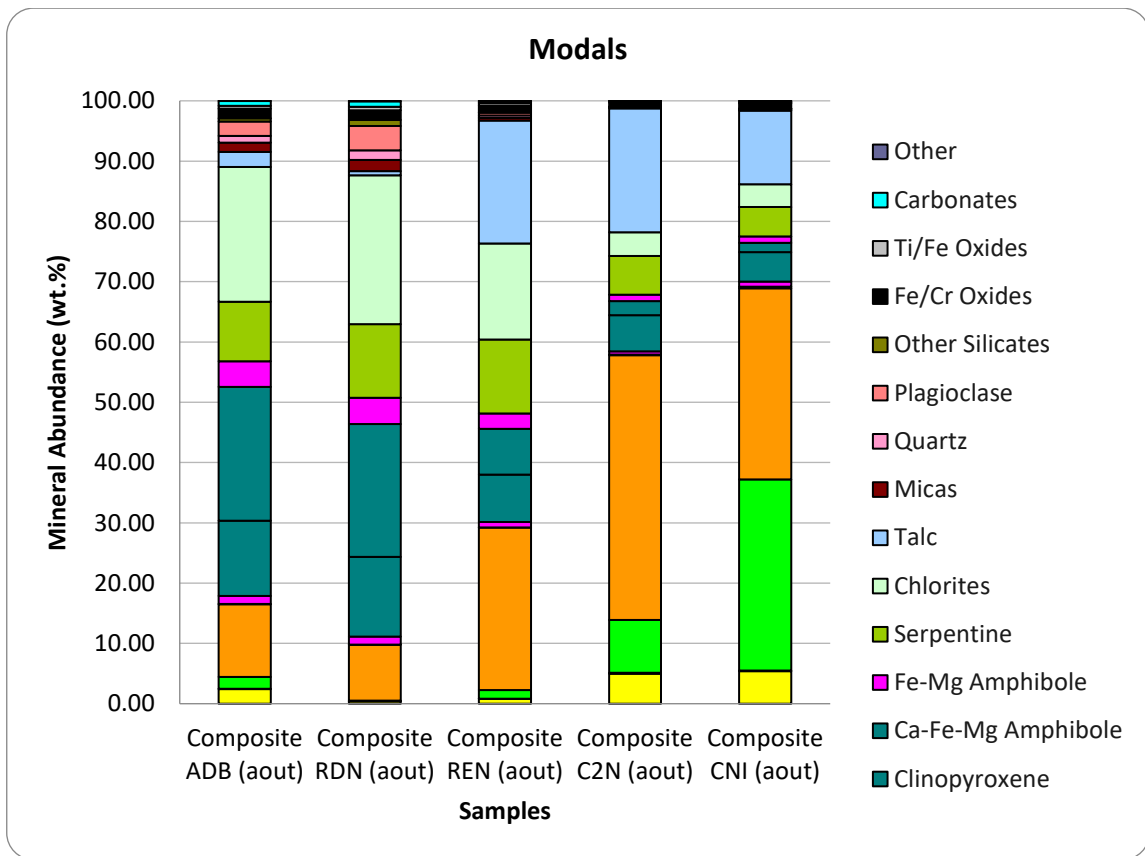
- [30] Y. Liu, X. Li, S. Zhang, G. Li, & Y. Li, Inhibition mechanism of carboxymethyl cellulose in the flotation of talc, *Minerals Engineering*, 139, **2019**.
- [31] G. Bulut, & A. Yurtsever, Flotation behavior of talc using carboxymethyl cellulose (CMC) as a depressant, *Separation Science and Technology*, 1605-1616, **2021**.
- [32] M. Khraisheh, C. Holland, C. Creany, P. Harris, L. Parolis, Effect of molecular weight and concentration on the adsorption of CMC onto talc at different ionic strengths, *International Journal of Mineral Processing*, Volume 75, Issues 3–4, pp 197-206, **2005**.
- [33] C. Zhong, B. Feng, Y. Chen, M. Guo, H. Wang, Flotation separation of molybdenite and talc using tragacanth gum as depressant and potassium butyl xanthate as collector, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, Volume 31, Issue 12, pp 3879-3890, December **2021**.
- [34] R. Deng, Y. Hu, J. Ku, W. Zuo, Z. Yang, Adsorption of Fe (III) on smithsonite surfaces and implications for flotation, *Colloids Surf.*, 308-315, **2017**.
- [35] C. Wang, R. Liu, Q. Zhai, M. Wu, N. Jing, F. Xie, Wei Sun Influence of calcium and ferric ions on the depression of chalcopyrite by CMC: Flotation performance and adsorption mechanism study, *Minerals Engineering*, Volume 184, **2022**.
- [36] L.A. Valdivieso, L. A. Lozano-Ledesma, A. Robledo-Cabrera, O. A. Orozco-Navarro, Carboxymethylcellulose (CMC) as PbS depressant in the processing of Pb-Cu bulk concentrates, *Adsorption and floatability studies*, *Minerals Engineering*, Volume 112, pp 77-83, **2017**.
- [37] C. Wang, Q. Zhai, R. Liu, Y. Luo, Z. Xie, Z. Cao, W. Sun, Surface modification with hydroxyl calcium ions strengthen CMC selectively depress arsenopyrite: Bridging adsorption mechanism and application in Cu-As separation, *Applied Surface Science*, Volume 618, **2023**.
- [38] İ.H. Ünal, S. Tuncel, M.B. Yücel, B. Yoleri, M. Arslan, Türkiye ve Dünyada Bakır, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, **2016**.
- [39] Kalkınma Bakanlığı, DPT, On birinci kalkınma planı, Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, **2018**.
- [40] USGS, Mineral Commodity Summaries 2021, [Alıntı Tarihi: 17 09 2023] <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-copper.pdf>.
- [41] G. Eroğlu, Y.Z. Akgök, Dünyada ve Türkiye’de Nikel, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, **2018**.
- [42] TS EN 1097-7 Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 7: Dolgu malzemesi tane yoğunluğunun tayini - Piknometre yöntemi, 2022.

EKLER

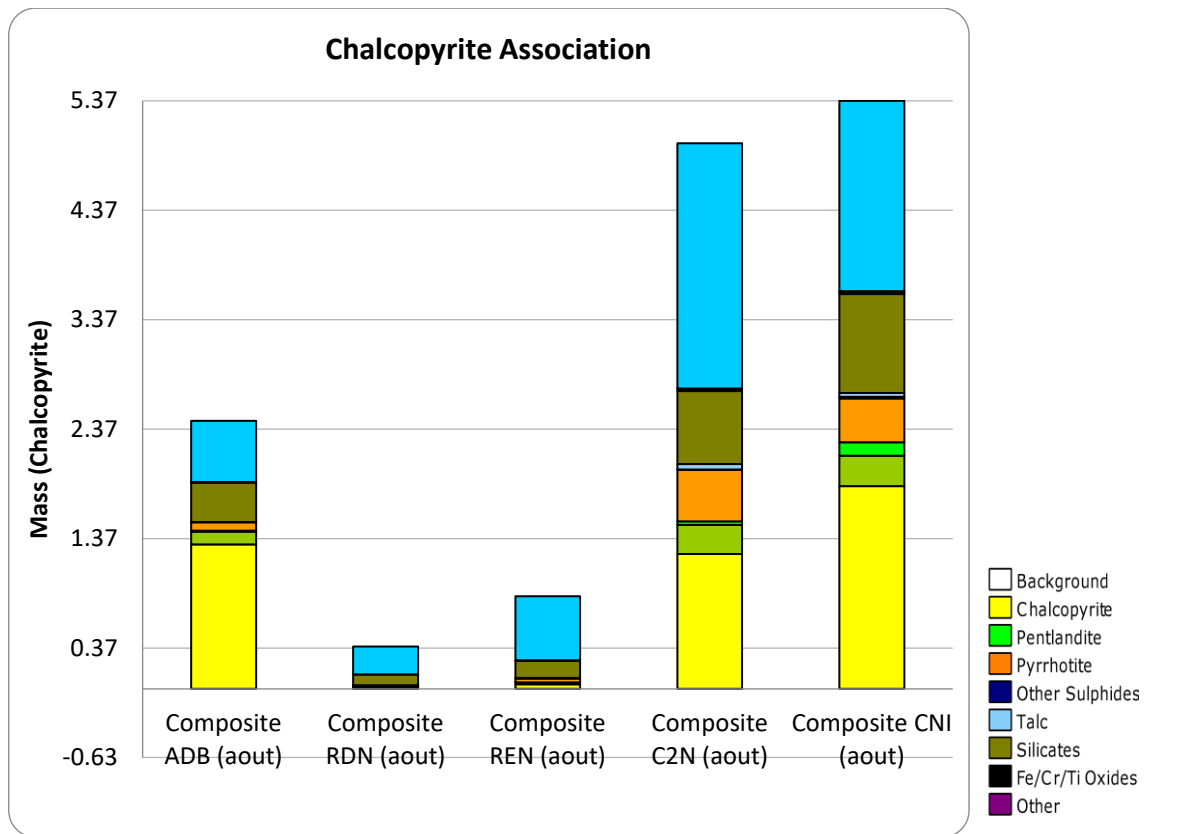
EK-1 Mineraloji Raporu

ADB=Besleme, RDN=Kaba Atık, REN=Nikel Temizleme Atık, C2N=Nikel Temizleme Konsantre, CNI=Nikel Konsantre,

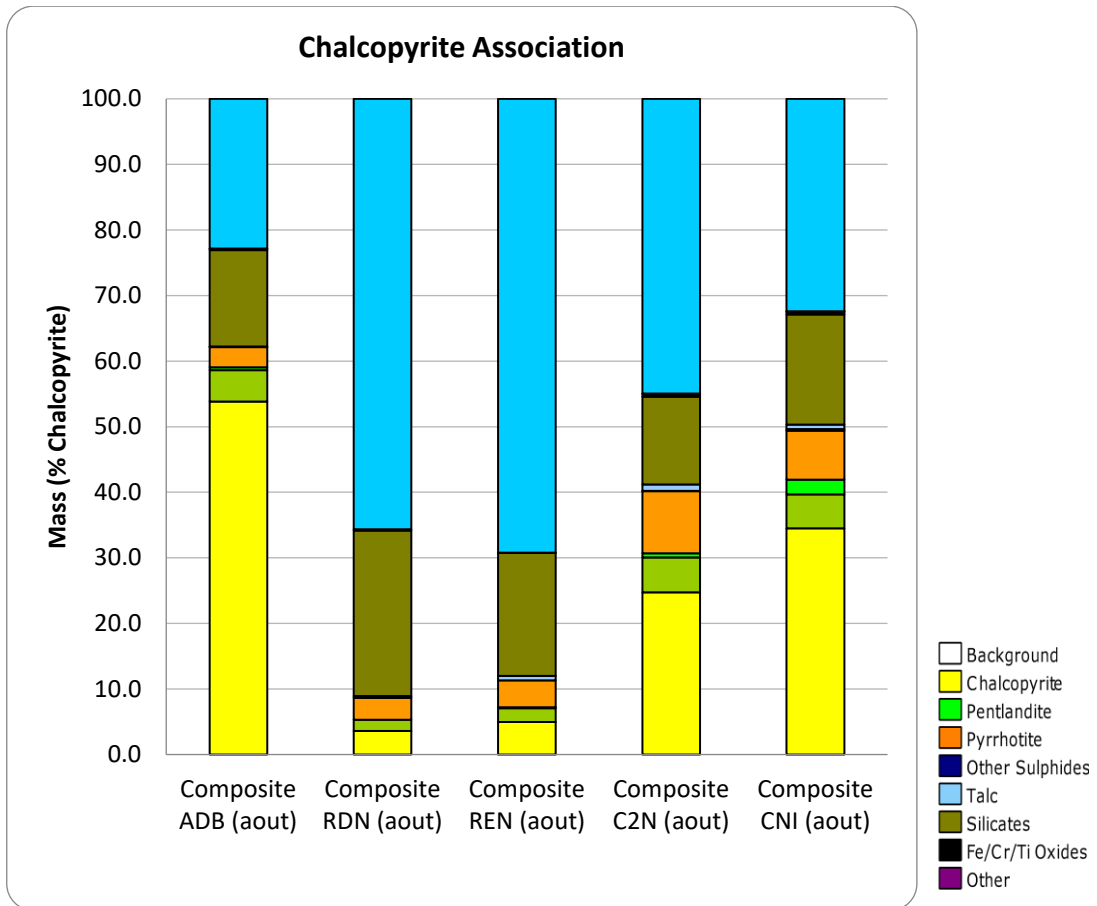




	Composite ADB (aout)	Composite RDN (aout)	Composite REN (aout)	Composite C2N (aout)	Composite CNI (aout)
Chalcopyrite	2.45	0.39	0.85	4.99	5.37
Other Cu-Sulphides	0.01	0.01	0.00	0.12	0.15
Pentlandite	1.97	0.13	1.42	8.76	31.7
Pyrrhotite	12.1	9.28	27.0	44.0	31.7
Other Sulphides	0.01	0.00	0.02	0.09	0.26
Orthopyroxene	1.35	1.34	0.91	0.55	0.83
Clinopyroxene	12.5	13.2	7.83	5.97	4.92
Ca-Fe-Mg Amphibole	22.2	22.0	7.61	2.33	1.53
Fe-Mg Amphibole	4.22	4.35	2.57	1.07	1.06
Serpentine	9.87	12.2	12.2	6.44	4.90
Chlorites	22.4	24.7	15.9	3.92	3.76
Talc	2.50	0.68	20.4	20.6	12.2
Micas	1.51	1.87	0.43	0.11	0.10
Quartz	1.11	1.59	0.41	0.08	0.14
Plagioclase	2.40	4.07	0.47	0.08	0.05
Other Silicates	0.52	0.97	0.05	0.02	0.01
Fe/Cr Oxides	1.63	1.59	1.12	0.67	0.91
Ti/Fe Oxides	0.45	0.63	0.43	0.22	0.14
Carbonates	0.79	0.87	0.32	0.09	0.24
Other	0.05	0.09	0.03	0.00	0.01
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

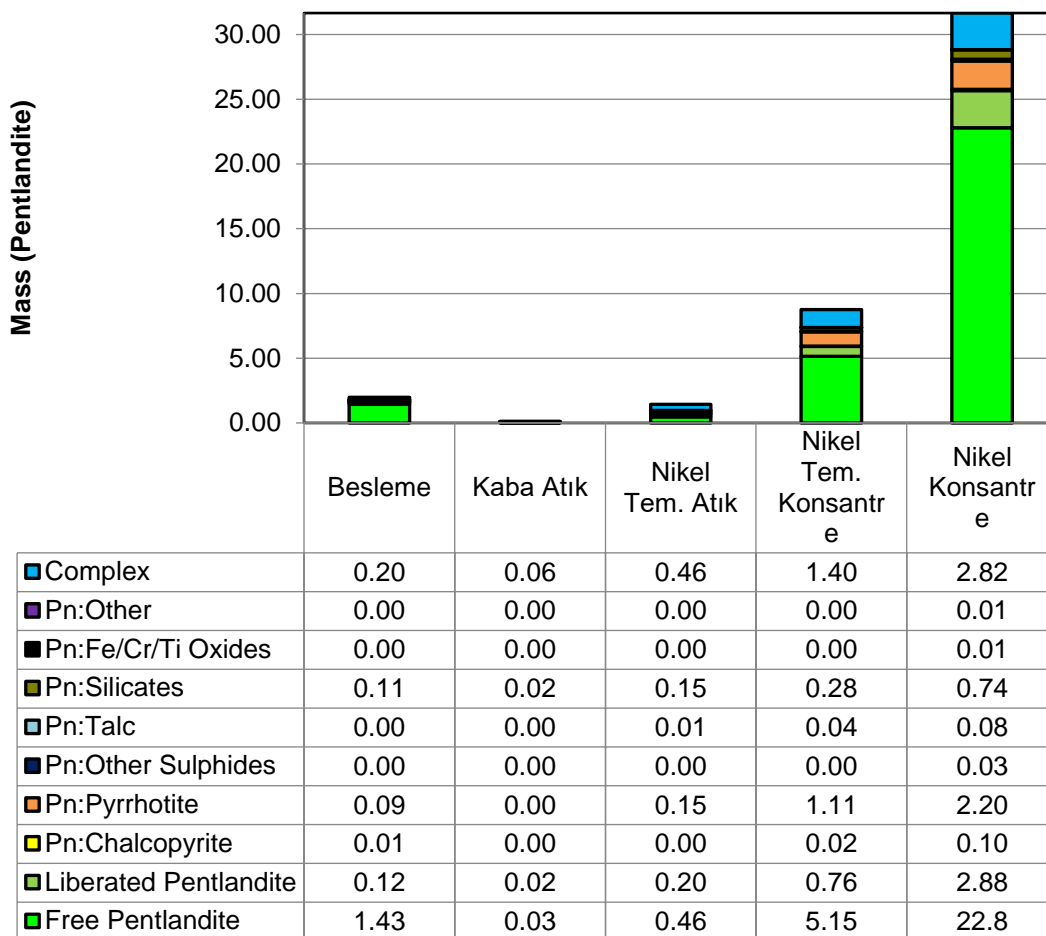


Mineral Name	Composite ADB (aout)	Composite RDN (aout)	Composite REN (aout)	Composite C2N (aout)	Composite CNI (aout)
Free Chalcopyrite	1.32	0.01	0.04	1.23	1.85
Liberated Chalcopyrite	0.12	0.01	0.02	0.27	0.28
Cpy:Pentlandite	0.01	0.00	0.00	0.03	0.12
Cpy:Pyrrhotite	0.08	0.01	0.03	0.47	0.40
Cpy:Other Sulphides	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Cpy:Talc	0.00	0.00	0.01	0.05	0.03
Cpy:Silicates	0.36	0.10	0.16	0.67	0.90
Cpy:Fe/Cr/Ti Oxides	0.01	0.00	0.00	0.02	0.02
Cpy:Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Complex	0.56	0.25	0.59	2.24	1.74
Total	2.45	0.39	0.85	4.99	5.37

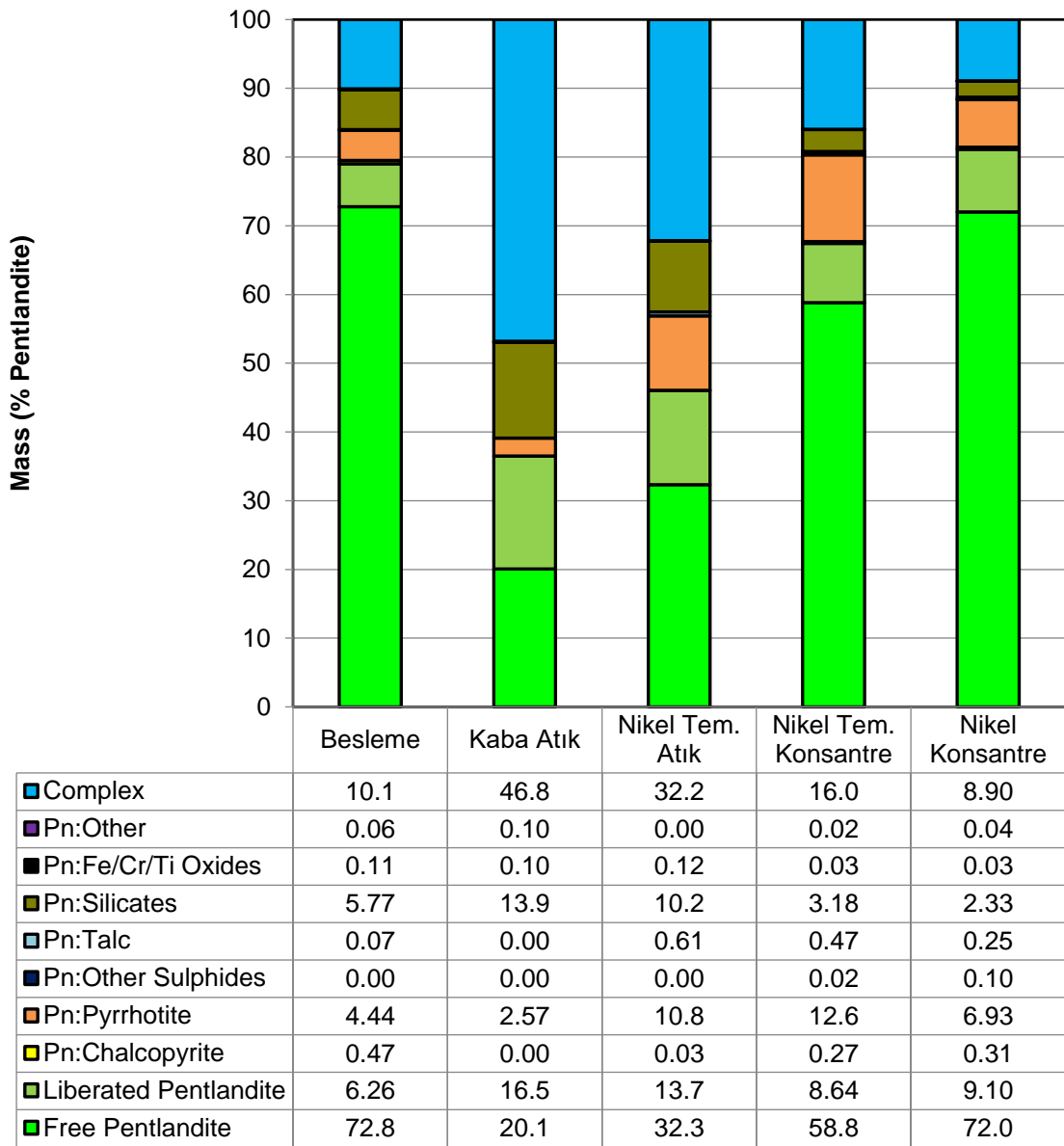


Mineral Name	Composite ADB (aout)	Composite RDN (aout)	Composite REN (aout)	Composite C2N (aout)	Composite CNI (aout)
Free Chalcopyrite	53.8	3.62	4.95	24.7	34.5
Liberated Chalcopyrite	4.78	1.71	2.09	5.33	5.20
Cpy:Pentlandite	0.44	0.00	0.18	0.64	2.26
Cpy:Pyrrhotite	3.07	3.29	4.11	9.46	7.47
Cpy:Other Sulphides	0.07	0.28	0.00	0.06	0.25
Cpy:Talc	0.03	0.00	0.65	0.99	0.65
Cpy:Silicates	14.7	25.3	18.8	13.4	16.8
Cpy:Fe/Cr/Ti Oxides	0.22	0.15	0.06	0.45	0.37
Cpy:Other	0.05	0.00	0.00	0.05	0.12
Complex	22.8	65.7	69.2	44.9	32.4
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Liberated	58.6	5.32	7.04	30.1	39.7

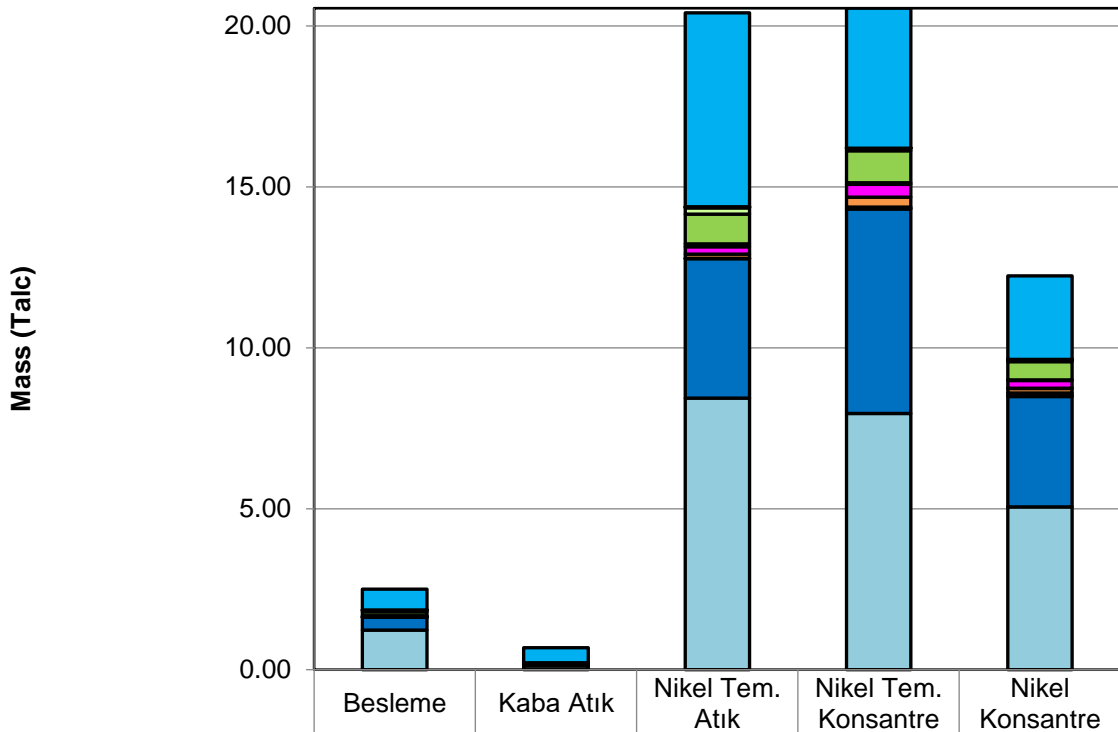
Pentlandite Association



Pentlandite Association

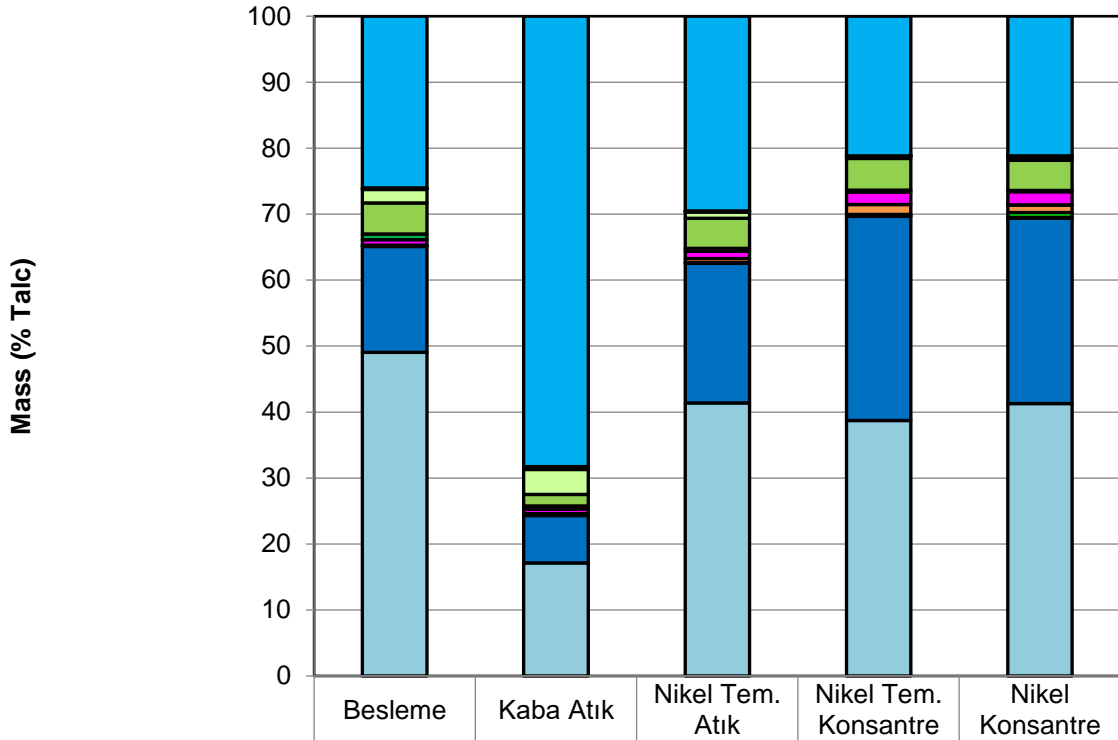


Composite of Talc

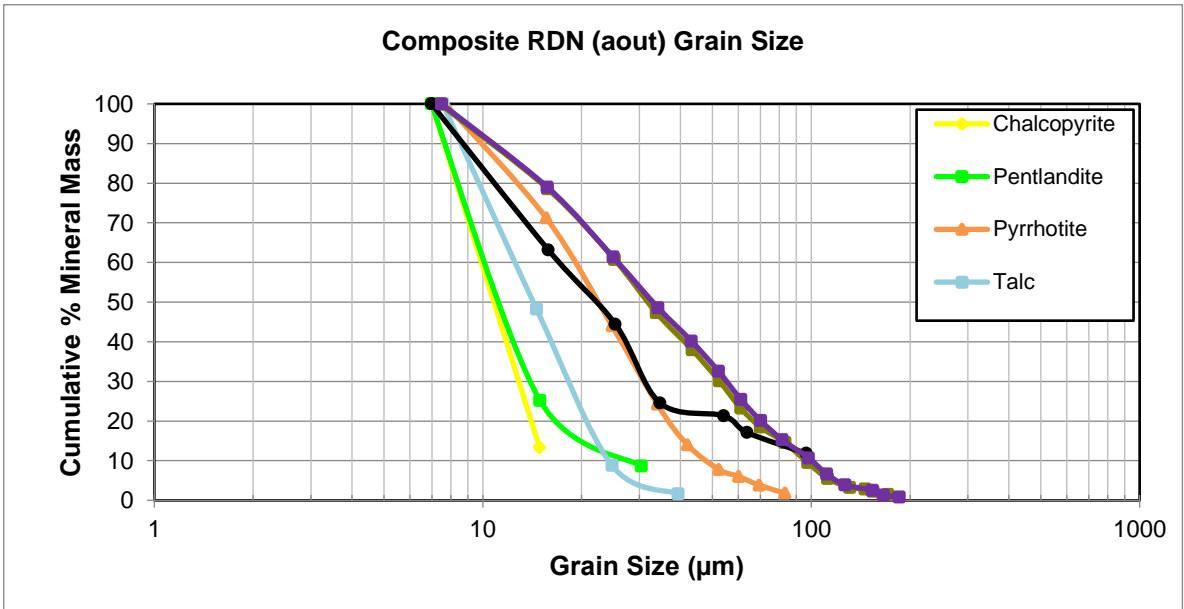
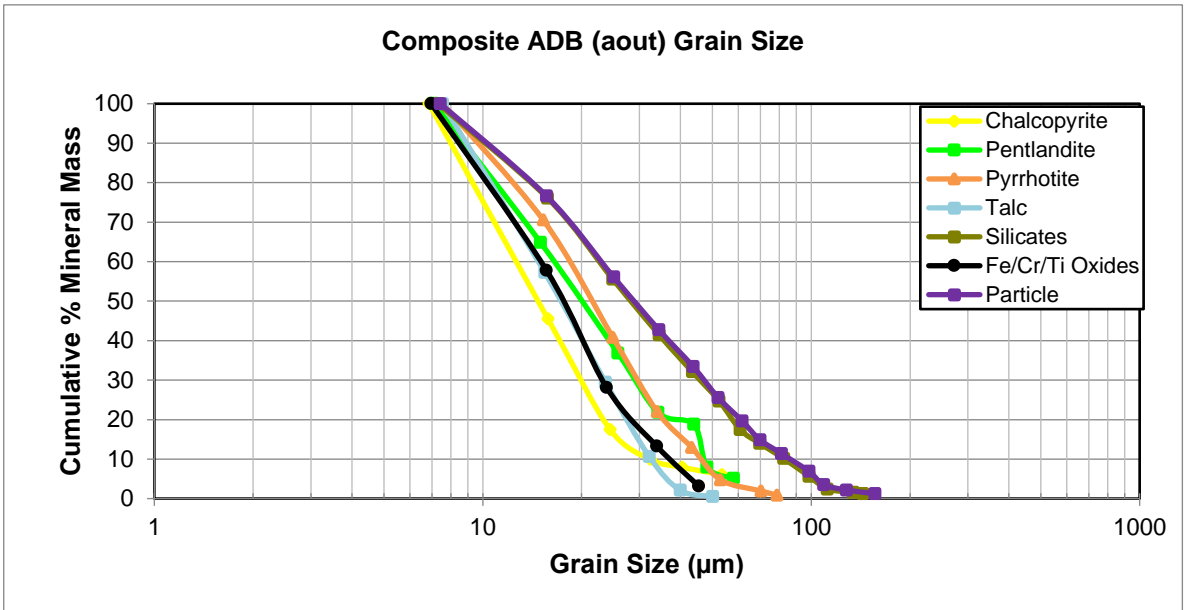


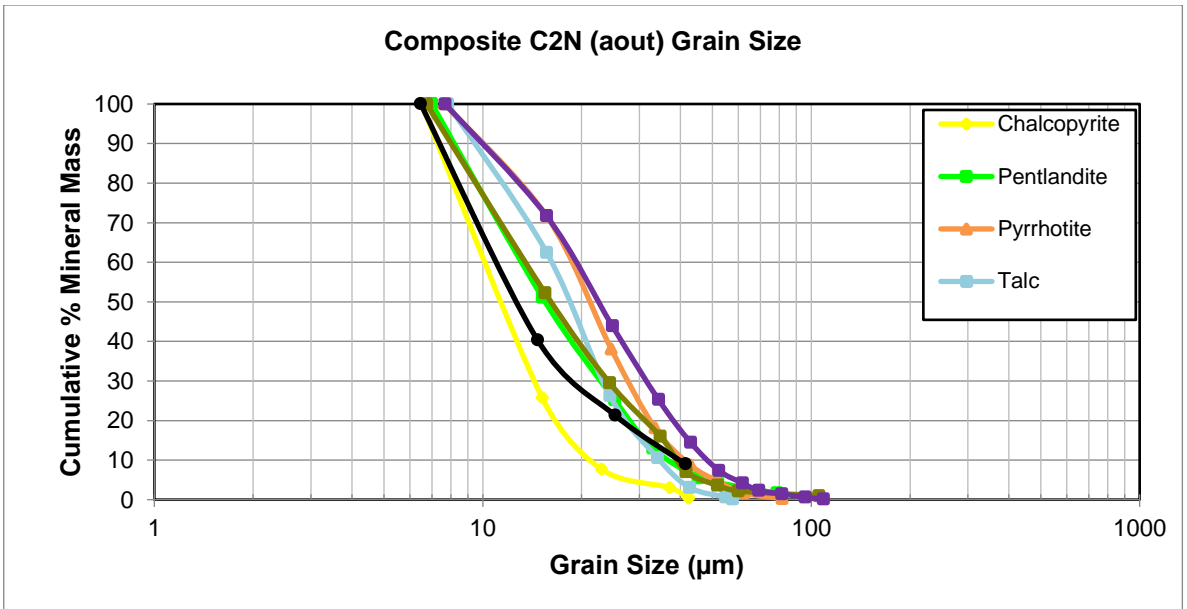
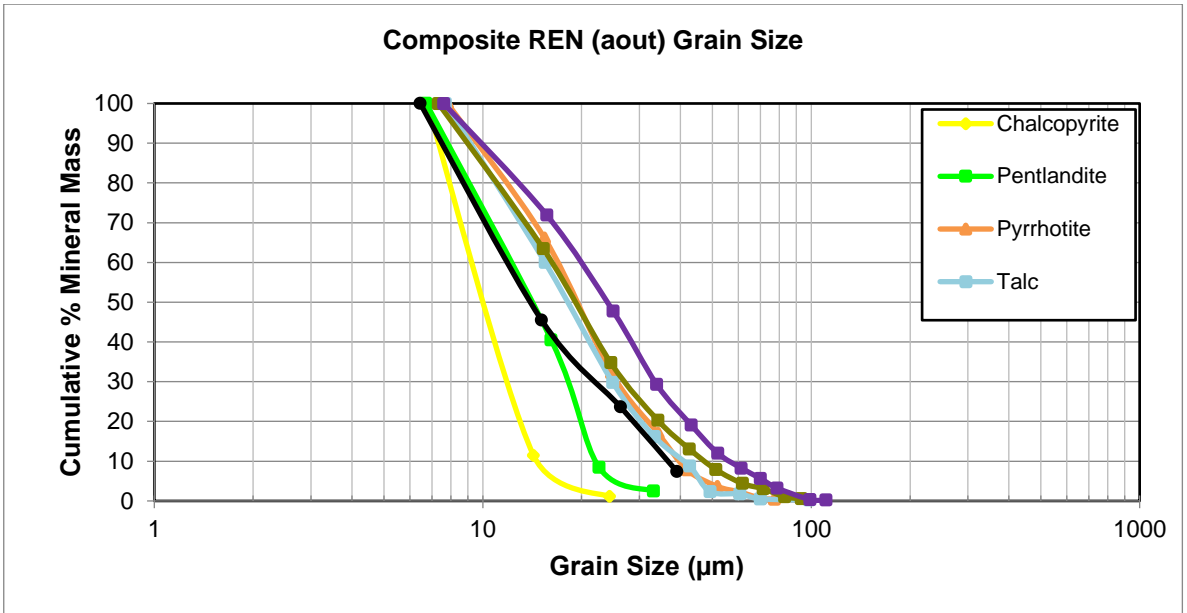
	Besleme	Kaba Atık	Nikel Tem. Atık	Nikel Tem. Konsantre	Nikel Konsantre
Complex	0.65	0.47	6.03	4.35	2.59
Talc:Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Talc:Fe/Cr/Ti Oxides	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
Talc:Other Silicates	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Talc:Quartz/Feldspars	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Talc:Micas	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Talc:Chlorites	0.05	0.03	0.19	0.08	0.06
Talc:Serpentine	0.12	0.01	0.93	0.99	0.56
Talc:Amphiboles	0.02	0.00	0.09	0.05	0.02
Talc:Pyroxenes	0.02	0.00	0.23	0.39	0.24
Talc:Other Sulphides	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Talc:Pyrrhotite	0.00	0.00	0.13	0.31	0.15
Talc:Pentlandite	0.00	0.00	0.01	0.04	0.09
Talc:Chalcopyrite	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02
Liberated Talc	0.40	0.05	4.33	6.36	3.43
Free Talc	1.23	0.12	8.44	7.96	5.05

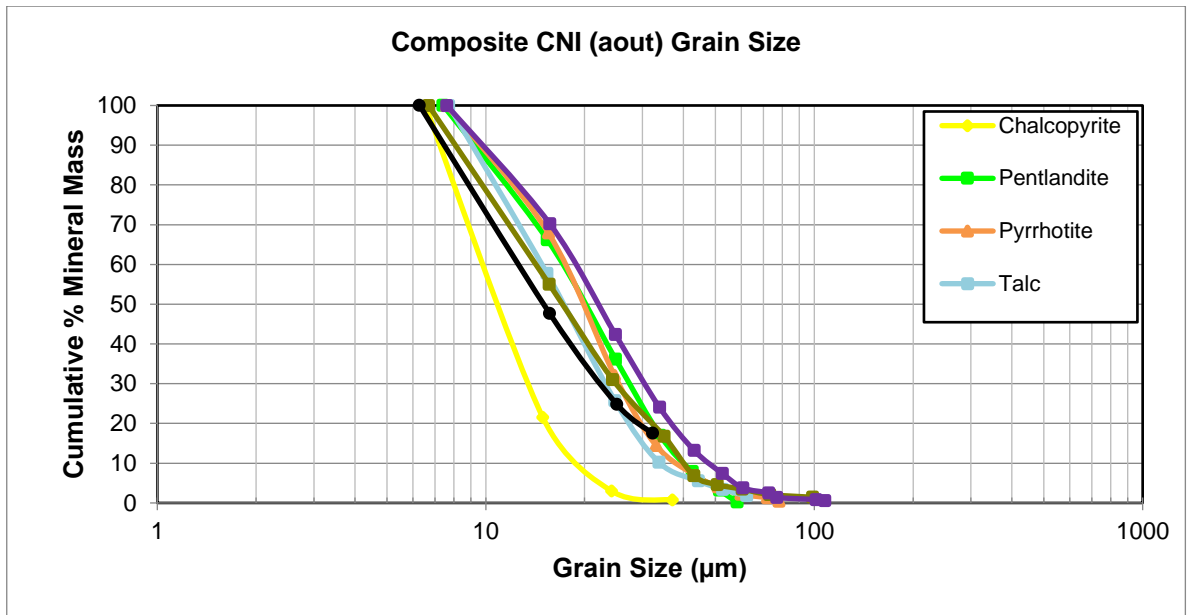
Composite of Talc



	Besleme	Kaba Atık	Nikel Tem. Atık	Nikel Tem. Konsantre	Nikel Konsantre
Complex	26.0	68.3	29.5	21.1	21.2
Talc:Other	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Talc:Fe/Cr/Ti Oxides	0.00	0.00	0.05	0.01	0.11
Talc:Other Silicates	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Talc:Quartz/Feldspars	0.18	0.26	0.06	0.00	0.02
Talc:Micas	0.01	0.16	0.03	0.01	0.01
Talc:Chlorites	2.06	3.78	0.95	0.40	0.50
Talc:Serpentine	4.70	1.72	4.54	4.82	4.57
Talc:Amphiboles	0.89	0.50	0.45	0.26	0.19
Talc:Pyroxenes	0.85	0.69	1.11	1.91	1.98
Talc:Other Sulphides	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Talc:Pyrrhotite	0.14	0.29	0.62	1.50	1.20
Talc:Pentlandite	0.02	0.00	0.04	0.20	0.71
Talc:Chalcopyrite	0.02	0.00	0.02	0.09	0.14
Liberated Talc	16.0	7.17	21.2	30.9	28.1
Free Talc	49.1	17.1	41.4	38.7	41.3







Sample	D50						
	Chalcopyrite	Pentlandite	Pyrrhotite	Talc	Silicates	Fe/Cr/Ti Oxides	PSD
Composite ADB (aout)	15	20	22	17	28	17	29
Composite RDN (aout)	11	11	23	15	32	22	33
Composite REN (aout)	10	15	19	18	19	14	24
Composite C2N (aout)	12	15	21	18	16	13	23
Composite CNI (aout)	11	20	20	17	17	15	22
Average	12	16	21	17	22	16	26
Minimum	10	11	19	15	16	13	22
Maximum	15	20	23	18	32	22	33

EK-2 Öğütme kalibrasyonu çalışmasında öğütülen cevherin elek analizleri

Elek Boyutu (µm)	Tane Boyutu (µm)	Ağırlık (g)	Dağılım (%)	Kümülatif (%)
+212	300	26.5	26.3	100.0
-212+150	212	11.8	11.7	73.7
-150+106	150	9.4	9.3	61.9
-106+75	106	7.8	7.8	52.6
-75+53	75	5.9	5.9	44.8
-53+38	53	5.2	5.2	39.0
-38	38	34	33.8	33.8
TOPLAM		100.6	100.0	
p80	233,2			

10 DK 1 KG Çubuklu Değirmen				
Elek Boyutu (µm)	Tane Boyutu (µm)	Ağırlık (g)	Dağılım (%)	Kümülatif (%)
+212	300	0.3	0.3	100.0
-212+150	212	3.7	3.7	99.7
-150+106	150	12.9	12.9	96.0
-106+75	106	16.4	16.4	83.0
-75+53	75	10.5	10.5	66.6
-53+38	53	7	7.0	56.1
-38	38	48.9	49.0	49.0
TOPLAM		99.7	100.0	
p80	100,3			

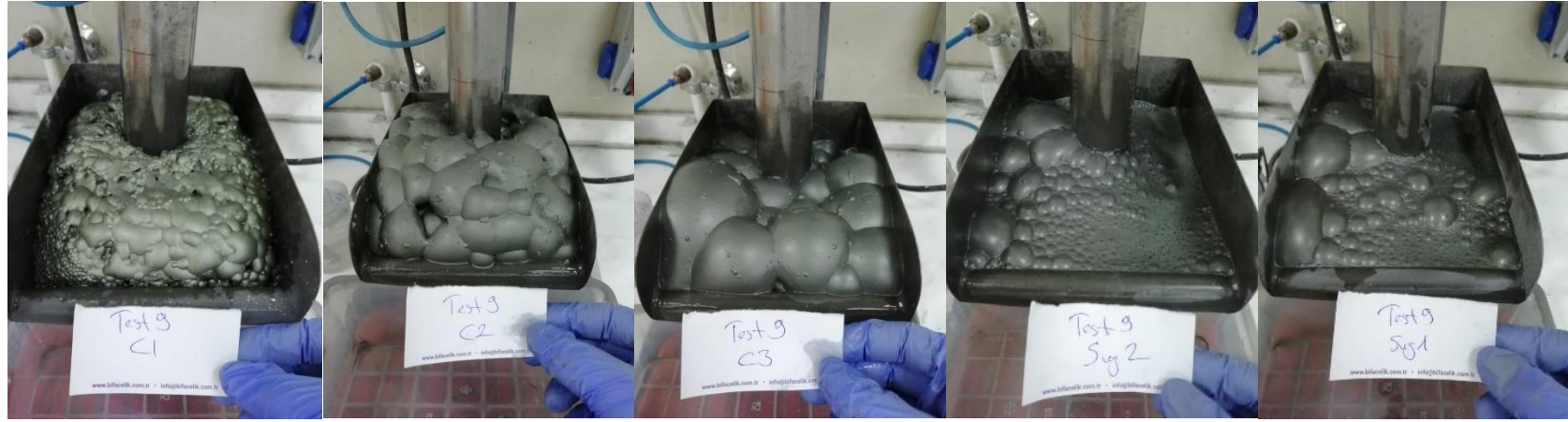
20 DK 1 KG Çubuklu Değirmen				
Elek Boyutu (µm)	Tane Boyutu (µm)	Ağırlık (g)	Dağılım (%)	Kümülatif (%)
+212	300	0	0.0	100.0
-212+150	212	0	0.0	100.0
-150+106	150	0	0.0	100.0
-106+75	106	1.9	1.9	100.0
-75+53	75	9.2	9.0	98.1
-53+38	53	13.7	13.4	89.2
-38	38	77.6	75.8	75.8
TOPLAM		102.4	100.0	
p80	42,7			

EK-3 Toplu Kaba Flotasyon ve Süpürme Flotasyon Devreli Kinetik Flotasyon Test Koşulları, XRF Sonuçları ve Köpük Görüntüleri

TEST 9	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC) kullanmadan flotasyon performansı inceleme						
	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1			DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t			0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20						7.5			3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50						5			3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	68.5	6.51	8.86	18.33	2.2	73.74	8.34	23.12
Cu/Ni Kaba 2	39.1	3.71	1.95	20.6	3.69	9.26	5.35	22.13
Cu/Ni Kaba 3	47.2	4.48	0.866	21.86	2.37	4.97	6.85	17.16
Cu/Ni Süpürme 1	35.7	3.39	0.528	33.37	2.5	2.29	7.91	13.69
Cu/Ni Süpürme 2	32.2	3.06	0.378	35.82	1.28	1.48	7.66	6.32
Atık	829.8	78.84	0.082	11.59	0.138	8.27	63.88	17.57
Besleme	1052.5	100.00	0.78	14.30	0.62	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	68.5	6.51	8.86	18.33	2.2	73.74	8.34	23.12	3.65
C1+C2	107.6	10.22	6.35	19.15	2.74	83.00	13.69	45.25	7.33
Kaba	154.8	14.71	4.68	19.98	2.63	87.96	20.54	62.42	15.24
Kaba+Süp 1	190.5	18.10	3.90	22.49	2.60	90.25	28.46	76.11	19.06
Kaba+Süp 1+2	222.7	21.16	3.39	24.42	2.41	91.73	36.12	82.43	22.39



TEST 10	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Kati: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheolon 30N) dozaaj taraması						
	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Rheolon30N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		50				7.5			5+3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50						5			3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	55	5.20	10.89	20.13	2.42	70.57	6.95	19.50
Cu/Ni Kaba 2	37.5	3.55	2.62	18.54	3.36	11.58	4.37	18.46
Cu/Ni Kaba 3	39.6	3.75	1.06	19.53	2.63	4.95	4.86	15.26
Cu/Ni Süpürme 1	44.2	4.18	0.462	29.19	2.58	2.41	8.10	16.71
Cu/Ni Süpürme 2	44.3	4.19	0.445	34.53	1.54	2.32	9.61	9.99
Atık	836.1	79.12	0.083	12.59	0.164	8.18	66.11	20.09
Besleme	1056.7	100.00	0.80	15.07	0.65	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	55	5.20	10.89	20.13	2.42	70.57	6.95	19.50	3.22
C1+C2	92.5	8.75	7.54	19.49	2.80	82.15	11.32	37.96	5.88
Kaba	132.1	12.50	5.60	19.50	2.75	87.09	16.18	53.21	10.57
Kaba+Süp 1	176.3	16.68	4.31	21.93	2.71	89.50	24.28	69.92	14.42
Kaba+Süp 1+2	220.6	20.88	3.53	24.46	2.47	91.82	33.89	79.91	17.52



TEST 11	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheolon 30N) dozaj taraması						
	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)						
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Rheolon30N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		200				30			5+3+1		8.4	2	2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50									3+1	2	8.32	1	2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100						7.5			3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	36.2	3.76	12.14	22.7	3.71	74.59	6.48	28.03
Cu/Ni Kaba 2	36	3.74	1.5	24.66	3.76	9.17	7.00	28.25
Cu/Ni Kaba 3	47.6	4.95	0.558	26.43	1.33	4.51	9.92	13.21
Cu/Ni Süpürme 1	20	2.08	0.288	32.34	0.73	0.98	5.10	3.03
Cu/Ni Süpürme 2	18	1.87	0.215	33.88	0.62	0.66	4.81	2.31
Atık	804	83.59	0.074	10.52	0.15	10.10	66.69	25.17
Besleme	961.8	100.00	0.61	13.19	0.50	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	36.2	3.76	12.14	22.7	3.71	74.59	6.48	28.03	2.89
C1+C2	72.2	7.51	6.83	23.68	3.73	83.76	13.48	56.28	7.66
Kaba	119.8	12.46	4.34	24.77	2.78	88.27	23.40	69.49	17.77
Kaba+Süp 1	139.8	14.54	3.76	25.85	2.49	89.24	28.50	72.52	21.96
Kaba+Süp 1+2	157.8	16.41	3.36	26.77	2.27	89.90	33.31	74.83	32.11



TEST 12	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheolon 30N) dozaj taraması						
	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Rheolon30N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		350				30			5+3+1		8.27	1	2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50						7.5			3+1	2	8.27	1	2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2	8.34	-2	2.5
	Ağırlık		XRF %			Verim %								
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni						
Cu/Ni Kaba 1	32.8	3.50	13.52	26.38	5.38	73.37	6.91	37.43						
Cu/Ni Kaba 2	21.6	2.30	2.48	31.62	5.21	8.86	5.46	23.87						
Cu/Ni Kaba 3	29.3	3.13	0.78	27.89	1.7	3.78	6.53	10.56						
Cu/Ni Süpürme 1	18.5	1.97	0.381	32.35	0.902	1.17	4.78	3.54						
Cu/Ni Süpürme 2	13.7	1.46	0.319	28.81	0.672	0.72	3.15	1.95						
Atık	821.5	87.64	0.089	11.15	0.13	12.10	73.17	22.65						
Besleme	937.4	100.00	0.64	13.35	0.50	100.00	100.00	100.00						
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55									

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	32.8	3.50	13.52	26.38	5.38	73.37	6.91	37.43	2.76
C1+C2	54.4	5.80	9.14	28.46	5.31	82.23	12.37	61.29	6.80
Kaba	83.7	8.93	6.21	28.26	4.05	86.01	18.90	71.86	13.97
Kaba+Süp 1	102.2	10.90	5.16	29.00	3.48	87.18	23.68	75.40	17.53
Kaba+Süp 1+2	115.9	12.36	4.58	28.98	3.15	87.90	26.83	77.35	26.30



TEST 13	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33		Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm			Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheolon 300N) dozaj taraması						
18.05.2022	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)						
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı	Köpürtücü							
	SIBX %1		Rheolon300N	DETA	SMBS	MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4	7,5 g/t							
Öğütme								20			8.58	0	
Kondüsyon	20		50			7.5			5+3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1										1	8.65	2	2.5
Cu/Ni Kaba 2										2			2.5
Cu/Ni Kaba 3										5	8.52	2	2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50					5			3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100								3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	31.3	3.12	12.98	19.50	1.40	58.49	4.23	8.03
Cu/Ni Kaba 2	27.8	2.77	3.85	15.23	1.38	15.41	2.94	7.03
Cu/Ni Kaba 3	33.6	3.35	1.50	15.74	1.81	7.26	3.67	11.14
Cu/Ni Süpürme 1	46	4.59	0.65	24.57	3.68	4.31	7.84	31.02
Cu/Ni Süpürme 2	37.3	3.72	0.49	28.31	1.83	2.64	7.32	12.51
Atık	826.2	82.44	0.10	12.92	0.20	11.89	74.01	30.28
Besleme	1002.2	100.00	0.69	14.39	0.54	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

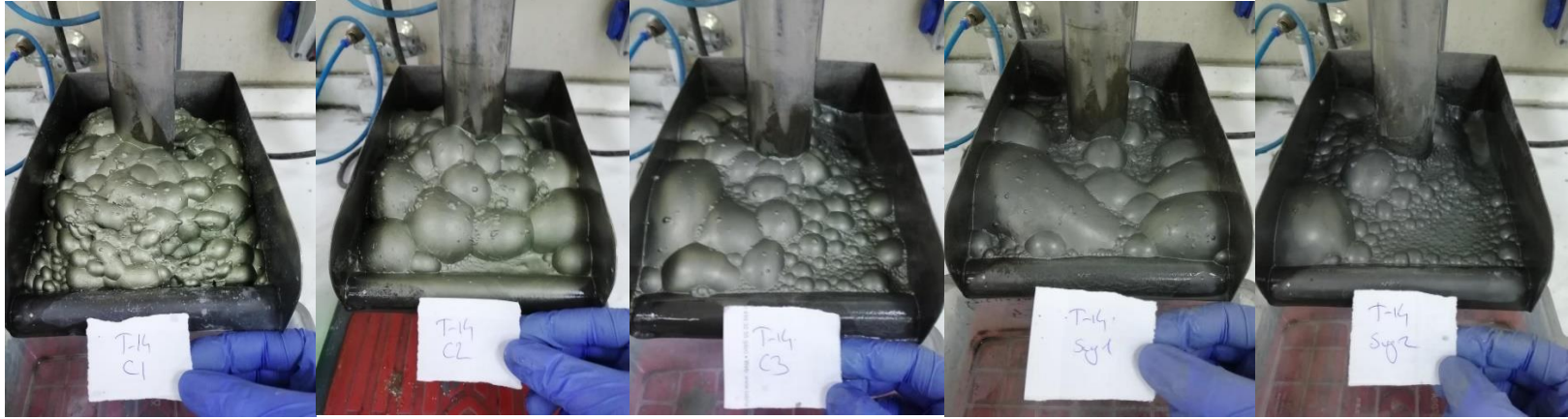
	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	31.3	3.12	12.98	19.5	1.4	58.49	4.23	8.03	1.49
C1+C2	59.1	5.90	8.69	17.49	1.39	73.90	7.17	15.06	4.27
Kaba	92.7	9.25	6.08	16.86	1.54	81.16	10.83	26.20	7.86
Kaba+Süp 1	138.7	13.84	4.28	19.41	2.25	85.47	18.67	57.22	12.19
Kaba+Süp 1+2	176	17.56	3.48	21.30	2.16	88.11	25.99	69.72	16.71



TEST 14	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheolon 300N) dozaj taraması						
18.05.2022	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Rheolon300N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		200				30			5+3+1		8.63	1	2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50									3+1	2	8.57	3	2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100						7.5			3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	36.7	3.64	11.2	19.18	1.15	55.67	4.79	7.49
Cu/Ni Kaba 2	22.2	2.20	5.48	17.81	2.28	16.48	2.69	8.98
Cu/Ni Kaba 3	70.2	6.95	1.38	22.18	3.58	13.12	10.59	44.61
Cu/Ni Süpürme 1	37.6	3.72	0.514	29.67	1.38	2.62	7.59	9.21
Cu/Ni Süpürme 2	29.8	2.95	0.329	31.4	0.979	1.33	6.37	5.18
Atık	812.9	80.53	0.098	12.29	0.17	10.79	67.97	24.53
Besleme	1009.4	100.00	0.73	14.56	0.56	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

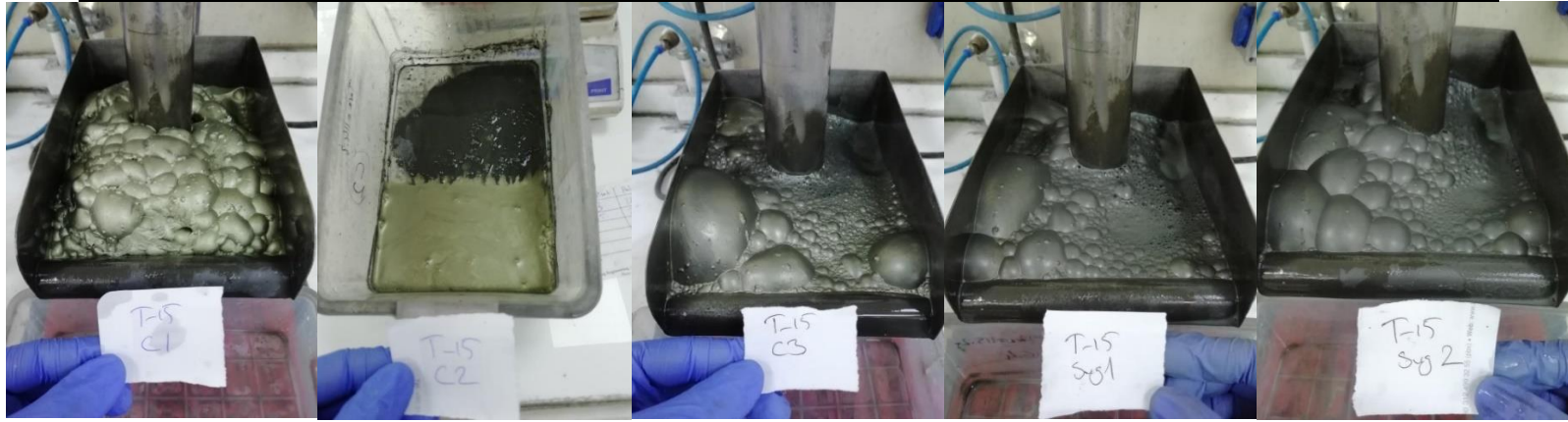
	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	36.7	3.64	11.2	19.18	1.15	55.67	4.79	7.49	2.72
C1+C2	58.9	5.84	9.04	18.66	1.58	72.15	7.48	16.48	5.04
Kaba	129.1	12.79	4.88	20.58	2.67	85.27	18.07	61.08	11.75
Kaba+Süp 1	166.7	16.51	3.89	22.63	2.38	87.88	25.66	70.29	15.44
Kaba+Süp 1+2	196.5	19.47	3.35	23.96	2.16	89.21	32.03	75.47	18.54



TEST 15	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheolon 300N) dozaj taraması						
18.05.2022	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)						
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Rheolon30N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		350				15			5+3+1		8.62	2	2.5
Cu/Ni Kaba 1												1		2.5
Cu/Ni Kaba 2												2		2.5
Cu/Ni Kaba 3												5		2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50						7.5			3+1	2	8.61	2	2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	27.4	2.71	19.1	25.33	3.85	64.25	4.87	19.09
Cu/Ni Kaba 2	26.7	2.64	4.39	24.98	5.7	14.39	4.68	27.54
Cu/Ni Kaba 3	42.3	4.19	1.14	23.71	2.64	5.92	7.03	20.21
Cu/Ni Süpürme 1	31.1	3.08	0.472	30.05	1.41	1.80	6.55	7.94
Cu/Ni Süpürme 2	28.9	2.86	0.449	32.07	0.985	1.59	6.50	5.15
Atık	853.1	84.51	0.115	11.76	0.13	12.04	70.36	20.07
Besleme	1009.5	100.00	0.81	14.12	0.55	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	27.4	2.71	19.1	25.33	3.85	64.25	4.87	19.09	1.31
C1+C2	54.1	5.36	11.84	25.16	4.76	78.64	9.55	46.63	3.87
Kaba	96.4	9.55	7.14	24.52	3.83	84.56	16.58	66.84	8.98
Kaba+Süp 1	127.5	12.63	5.52	25.87	3.24	86.36	23.13	74.78	11.96
Kaba+Süp 1+2	156.4	15.49	4.58	27.02	2.82	87.96	29.64	79.93	14.79



TEST 16	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katr: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Depramin 347N) dozaj taraması						
3.06.2022	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)						
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Depramin347N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		50				7.5			5+3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50						5			3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	37.61	3.68	13.30	20.07	2.07	66.68	5.11	13.82
Cu/Ni Kaba 2	34.58	3.38	3.00	17.53	2.91	13.83	4.10	17.86
Cu/Ni Kaba 3	84.41	8.25	0.81	21.87	2.43	9.11	12.50	36.40
Cu/Ni Süpürme 1	54.95	5.37	0.39	29.23	0.96	2.88	10.88	9.39
Cu/Ni Süpürme 2	42.79	4.18	0.25	33.22	0.81	1.45	9.63	6.16
Atık	768.77	75.14	0.06	11.1	0.12	6.05	57.78	16.37
Besleme	1023.11	100.00	0.73	14.43	0.55	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

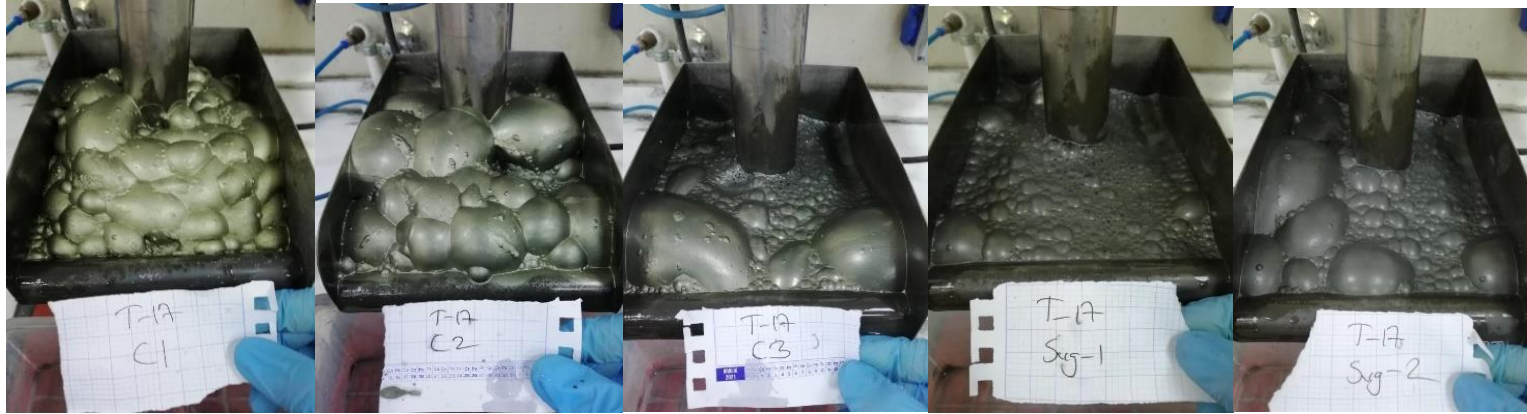
	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	37.61	3.68	13.3	20.07	2.07	66.68	5.11	13.82	2.04
C1+C2	72.19	7.06	8.37	18.85	2.47	80.51	9.22	31.68	5.76
Kaba	156.6	15.31	4.29	20.48	2.45	89.63	21.72	68.08	16.54
Kaba+Süp 1	211.55	20.68	3.28	22.75	2.06	92.50	32.59	77.47	23.94
Kaba+Süp 1+2	254.34	24.86	2.77	24.51	1.85	93.95	42.22	83.63	29.38



TEST 17	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Depramin 347N) dozaj taraması						
3.06.2022	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)						
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Depramin347N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		200				30			5+3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50									3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100						7.5			3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	53.70	5.38	11.21	23.38	4.14	77.41	9.02	40.58
Cu/Ni Kaba 2	46.54	4.66	1.73	22.62	3.28	10.35	7.57	27.86
Cu/Ni Kaba 3	52.18	5.23	0.67	21.68	1.26	4.49	8.13	12.00
Cu/Ni Süpürme 1	8.03	0.80	0.27	28.85	0.75	0.28	1.66	1.10
Cu/Ni Süpürme 2	43.95	4.40	0.22	29.90	0.68	1.25	9.44	5.42
Atık	793.72	79.52	0.06	11.25	0.09	6.23	64.17	13.04
Besleme	998.12	100.00	0.78	13.94	0.55	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

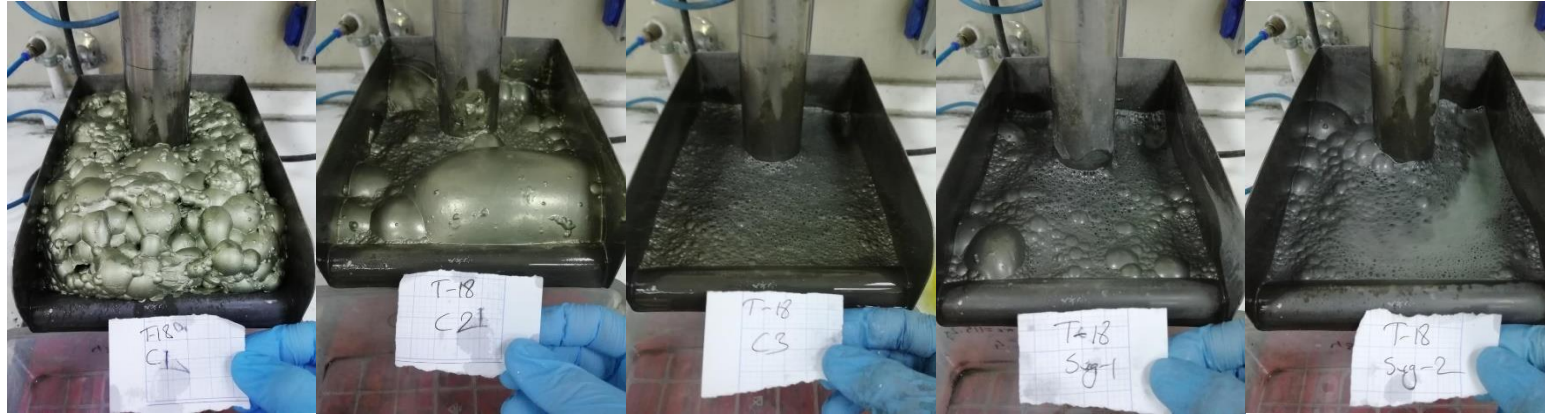
	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	53.7	5.38	11.21	23.38	4.14	77.41	9.02	40.58	3.40
C1+C2	100.24	10.04	6.81	23.03	3.74	87.76	16.59	68.44	8.92
Kaba	152.42	15.27	4.71	22.57	2.89	92.25	24.72	80.44	17.52
Kaba+Süp 1	160.45	16.08	4.48	22.88	2.78	92.53	26.38	81.54	24.16
Kaba+Süp 1+2	204.4	20.48	3.57	24.39	2.33	93.77	35.83	86.96	30.33



TEST 18	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katr: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Depramin 347N) dozaj taraması						
3.06.2022	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)						
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Depramin347N	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		350				15			5+3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50						7.5			3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5

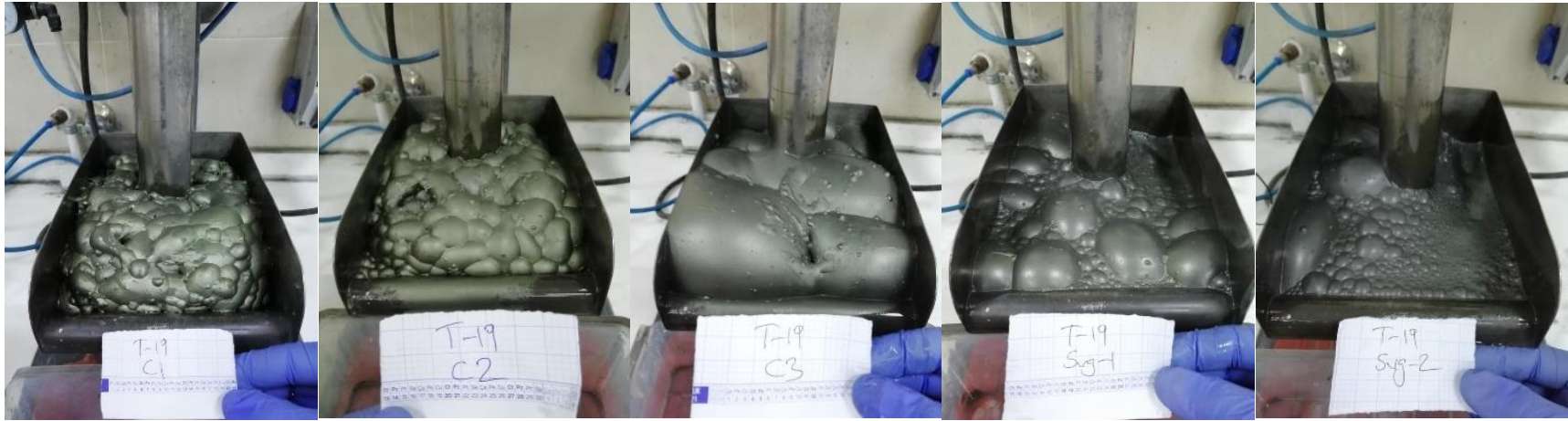
	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	49.45	4.82	13.62	25.47	4.34	79.95	8.52	38.05
Cu/Ni Kaba 2	35.65	3.47	2.13	25.56	3.62	9.01	6.16	22.88
Cu/Ni Kaba 3	39.78	3.88	0.69	24.49	1.27	3.25	6.59	8.96
Cu/Ni Süpürme 1	44.74	4.36	0.24	29.65	0.76	1.27	8.97	6.06
Cu/Ni Süpürme 2	35.10	3.42	0.25	27.75	0.59	1.05	6.59	3.66
Atık	821.53	80.05	0.06	11.37	0.14	5.46	63.17	20.39
Besleme	1026.25	100.00	0.82	14.41	0.55	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	49.45	4.82	13.62	25.47	4.34	79.95	8.52	38.05	3.21
C1+C2	85.1	8.29	8.81	25.51	4.04	88.97	14.68	60.93	7.89
Kaba	124.88	12.17	6.22	25.18	3.16	92.22	21.27	69.89	15.35
Kaba+Süp 1	169.62	16.53	4.64	26.36	2.53	93.49	30.24	75.95	20.91
Kaba+Süp 1+2	204.72	19.95	3.89	26.60	2.19	94.54	36.83	79.61	26.30



TEST 19	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk			
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheoflo TNS 90) dozaj taraması							
17.06.2022	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)								
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü								
	SIBX %1		Rheoflo TNS 90 %0,5	DETA	SMBS		MIBC							Hücre Hacmi	
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t								
Öğütme									20						
Kondüsyon	20		50				7.5			5+3+1				2.5	
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5	
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5	
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5	
Cu/Ni Süpürme 1	50						5			3+1	2			2.5	
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5	
	Ağırlık		XRF %			Verim %									
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni							
Cu/Ni Kaba 1	30.37	3.00	13.88	19.30	1.05	57.54	3.96	5.77							
Cu/Ni Kaba 2	55.14	5.44	3.29	19.56	3.55	24.76	7.29	35.42							
Cu/Ni Kaba 3	52.21	5.15	0.78	19.76	2.12	5.54	6.97	20.03							
Cu/Ni Süpürme 1	51.72	5.11	0.38	29.14	1.50	2.70	10.18	14.04							
Cu/Ni Süpürme 2	40.16	3.97	0.34	31.58	0.87	1.86	8.57	6.32							
Atık	783.21	77.33	0.07	11.91	0.13	7.59	63.03	18.42							
Besleme	1012.81	100.00	0.72	14.61	0.55	100.00	100.00	100.00							
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55										

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	30.37	3.00	13.88	19.3	1.05	57.54	3.96	5.77	2.48
C1+C2	85.51	8.44	7.05	19.47	2.66	82.30	11.25	41.19	9.58
Kaba	137.72	13.60	4.67	19.58	2.46	87.84	18.22	61.22	20.41
Kaba+Süp 1	189.44	18.70	3.50	22.19	2.20	90.55	28.40	75.25	26.84
Kaba+Süp 1+2	229.6	22.67	2.95	23.83	1.96	92.41	36.97	81.58	33.23



TEST 20	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33		Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk			
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm			Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheoflo TNS 90) dozaj taraması							
17.06.2022	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı	Köpürtücü								
	SIBX %1		Rheoflo TNS 90 %0,5	DETA	SMBS	MIBC							Hücre Hacmi	
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4	7,5 g/t				Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		200			30				5+3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50									3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100					7.5				3	2			2.5
	Ağırlık		XRF %			Verim %								
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni						
Cu/Ni Kaba 1	39.31	3.88	13.97	22.70	3.32	71.58	6.08	20.87						
Cu/Ni Kaba 2	60.82	6.01	1.77	22.53	3.59	14.03	9.34	34.92						
Cu/Ni Kaba 3	59.18	5.85	0.69	22.14	1.34	5.35	8.93	12.68						
Cu/Ni Süpürme 1	45.45	4.49	0.31	29.00	0.81	1.86	8.99	5.89						
Cu/Ni Süpürme 2	40.57	4.01	0.28	31.76	0.74	1.48	8.78	4.79						
Atık	766.93	75.76	0.06	11.07	0.17	5.70	57.88	20.85						
Besleme	1012.26	100.00	0.76	14.49	0.62	100.00	100.00	100.00						
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55									

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	39.31	3.88	13.97	22.7	3.32	71.58	6.08	20.87	3.72
C1+C2	100.13	9.89	6.56	22.60	3.48	85.61	15.42	55.79	8.42
Kaba	159.31	15.74	4.38	22.43	2.69	90.96	24.36	68.47	17.24
Kaba+Süp 1	204.76	20.23	3.48	23.89	2.27	92.82	33.34	74.36	23.71
Kaba+Süp 1+2	245.33	24.24	2.95	25.19	2.02	94.30	42.12	79.15	28.01



TEST 21	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk		
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:Rheoflo TNS 90) dozaj taraması						
17.06.2022	REAKTİFLER						ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü							
	SIBX %1		Rheoflo TNS 90 %0,5	DETA	SMBS		MIBC							
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t							
Öğütme									20					
Kondüsyon	20		350				15			5+3+1				2.5
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5
Cu/Ni Süpürme 1	50						7.5			3+1	2			2.5
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5

	Ağırlık		XRF %			Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
Cu/Ni Kaba 1	47.50	4.66	12.00	24.80	4.66	77.00	7.89	39.61
Cu/Ni Kaba 2	41.24	4.04	1.46	24.38	3.60	8.13	6.74	26.57
Cu/Ni Kaba 3	45.90	4.50	0.58	21.76	1.20	3.61	6.69	9.86
Cu/Ni Süpürme 1	39.82	3.90	0.32	28.08	0.80	1.71	7.49	5.73
Cu/Ni Süpürme 2	31.48	3.09	0.25	29.94	0.65	1.08	6.32	3.67
Atık	814.21	79.81	0.08	11.89	0.10	8.47	64.87	14.57
Besleme	1020.15	100.00	0.73	14.63	0.55	100.00	100.00	100.00
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55			

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %			% Birikimli Su
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni	
C1	47.5	4.66	12	24.8	4.66	77.00	7.89	39.61	0.77
C1+C2	88.74	8.70	7.10	24.60	4.17	85.13	14.63	66.17	6.82
Kaba	134.64	13.20	4.88	23.63	3.16	88.74	21.32	76.03	15.22
Kaba+Süp 1	174.46	17.10	3.84	24.65	2.62	90.45	28.82	81.76	22.06
Kaba+Süp 1+2	205.94	20.19	3.29	25.46	2.32	91.53	35.13	85.43	28.36



TEST 22	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk			
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:8860 GL GCA) dozaaj taraması							
17.06.2022	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü								
	SIBX %1		8860 GL GCA %0,5	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi	
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t								
Öğütme									20						
Kondüsyon	20		50				7.5			5+3+1				2.5	
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5	
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5	
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5	
Cu/Ni Süpürme 1	50						5			3+1	2			2.5	
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5	
	Ağırlık		XRF %			Verim %									
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni							
Cu/Ni Kaba 1	30.13	2.99	13.47	18.35	0.79	57.98	3.64	4.31							
Cu/Ni Kaba 2	27.44	2.73	3.50	14.63	1.14	13.72	2.64	5.67							
Cu/Ni Kaba 3	79.98	7.95	1.12	18.93	3.03	12.80	9.97	43.96							
Cu/Ni Süpürme 1	47.87	4.76	0.46	30.06	2.64	3.17	9.47	22.92							
Cu/Ni Süpürme 2	38.40	3.82	0.31	33.02	1.08	1.71	8.35	7.52							
Atık	782.40	77.76	0.10	12.80	0.11	10.62	65.93	15.61							
Besleme	1006.22	100.00	0.70	15.10	0.55	100.00	100.00	100.00							
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55										

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
C1	30.13	2.99	13.47	18.35	0.788	57.98	3.64	4.31
C1+C2	57.57	5.72	8.72	16.58	0.96	71.70	6.28	9.98
Kaba	137.55	13.67	4.30	17.95	2.16	84.50	16.25	53.94
Kaba+Süp 1	185.42	18.43	3.31	21.07	2.29	87.67	25.72	76.87
Kaba+Süp 1+2	223.82	22.24	2.80	23.12	2.08	89.38	34.07	84.39



TEST 23	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk			
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:8860 GL GCA) dozaj taraması							
17.06.2022	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü								
	SIBX %1		8860 GL GCA %0,5	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi	
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t								
Öğütme									20						
Kondüsyon	20		200				30			5+3+1				2.5	
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5	
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5	
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5	
Cu/Ni Süpürme 1	50									3+1	2			2.5	
Cu/Ni Süpürme 2	100						7.5			3	2			2.5	
	Ağırlık		XRF %			Verim %									
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni							
Cu/Ni Kaba 1	41.35	4.10	11.65	18.84	1.70	67.57	5.19	12.68							
Cu/Ni Kaba 2	36.38	3.61	2.20	16.85	2.18	11.23	4.09	14.30							
Cu/Ni Kaba 3	34.28	3.40	0.97	15.64	1.51	4.65	3.58	9.33							
Cu/Ni Süpürme 1	40.51	4.02	0.62	28.06	4.79	3.49	7.58	34.99							
Cu/Ni Süpürme 2	36.30	3.60	0.38	33.95	1.68	1.92	8.22	10.98							
Atık	818.60	81.26	0.10	13.07	0.12	11.14	71.34	17.71							
Besleme	1007.42	100.00	0.71	14.89	0.55	100.00	100.00	100.00							
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55										

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
C1	41.35	4.10	11.65	18.84	1.7	67.57	5.19	12.68
C1+C2	77.73	7.72	7.23	17.91	1.92	78.79	9.28	26.98
Kaba	112.01	11.12	5.31	17.21	1.80	83.44	12.86	36.31
Kaba+Süp 1	152.52	15.14	4.06	20.09	2.59	86.94	20.44	71.30
Kaba+Süp 1+2	188.82	18.74	3.36	22.76	2.42	88.86	28.66	82.29



TEST 24	Canadian Royalties		Besleme: 1 kg	% Katı: 33			Hücre	2.5 lt Denver	Rotor (rpm)	1550 rpm	Hava Hızı	2.5 lt/dk			
Öğütme	20	Dakika	P80: 40 µm				Amaç	Bastırıcı (CMC:8860 GL GCA) dozaj taraması							
17.06.2022	REAKTİFLER							ZAMAN (DK)							
	Toplayıcı		Bastırıcı	Bastırıcı	Bastırıcı		Köpürtücü								
	SIBX %1		8860 GL GCA %0,5	DETA	SMBS		MIBC		Öğütme	Kondüs.	Köpük	pH	Eh	Hücre Hacmi	
	100-200 g/t		200-500 g/t	0-100 g/t	DETA*4		7,5 g/t								
Öğütme									20						
Kondüsyon	20		350				15			5+3+1				2.5	
Cu/Ni Kaba 1											1			2.5	
Cu/Ni Kaba 2											2			2.5	
Cu/Ni Kaba 3											5			2.5	
Cu/Ni Süpürme 1	50						7.5			3+1	2			2.5	
Cu/Ni Süpürme 2	100									3	2			2.5	
	Ağırlık		XRF %			Verim %									
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni							
Cu/Ni Kaba 1	37.46	3.72	12.64	19.72	1.79	66.88	4.85	12.13							
Cu/Ni Kaba 2	28.85	2.86	2.70	17.29	2.62	11.00	3.28	13.68							
Cu/Ni Kaba 3	27.31	2.71	1.35	16.62	1.62	5.21	2.98	8.01							
Cu/Ni Süpürme 1	23.50	2.33	0.60	29.50	7.25	1.98	4.55	30.83							
Cu/Ni Süpürme 2	29.80	2.96	0.43	30.22	2.51	1.79	5.92	13.54							
Atık	861.20	85.43	0.11	13.86	0.14	13.14	78.42	21.82							
Besleme	1008.12	100.00	0.70	15.10	0.55	100.00	100.00	100.00							
Besleme (XRF)			0.71	14.51	0.55										

	Ağırlık		XRF %			Birikimli Verim %		
	gr	%	Cu	Fe	Ni	Cu	Fe	Ni
C1	37.46	3.72	12.64	19.72	1.79	66.88	4.85	12.13
C1+C2	66.31	6.58	8.32	18.66	2.15	77.88	8.13	25.81
Kaba	93.62	9.29	6.28	18.07	2.00	83.09	11.11	33.82
Kaba+Süp 1	117.12	11.62	5.14	20.36	3.05	85.07	15.67	64.65
Kaba+Süp 1+2	146.92	14.57	4.19	22.36	2.94	86.86	21.58	78.18



EK-4 Surface modification with hydroxyl calcium ions strengthen CMC selectively depress arsenopyrite: Bridging adsorption mechanism and application in Cu-As separation çalışması ile ilgili veriler

Table 1. Results of chalcopyrite-arsenopyrite mixed mineral flotation ($C_{(Z200)}=20\text{mg/L}$; $C_{(\text{Ca}^{2+})}=8\times 10^{-4}\text{ mol/L}$; $C_{(\text{CMC})}=100\text{mg/L}$).

C (Ca ²⁺)	Production	Yield (%)	Grade (%)		Recovery (%)		SI
			Cu	As	Cu	As	
0mol/L	Concentrate	68.43	23.41	19.03	90.82	54.10	2.89
	Tailing	31.57	5.13	35.00	9.18	45.90	
	Feed	100.00	17.64	24.07	100.00	100.00	
$8\times 10^{-4}\text{ mol/L}$	Concentrate	52.33	32.02	7.31	95.28	16.02	10.29
	Tailing	47.67	1.74	42.08	4.72	83.98	
	Feed	100.00	17.59	23.88	100.00	100.00	

