

**SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERLERİNİN FLOTASYONUNDA REAKTİF
MALİYETİNİN DÜŞÜRÜLMESİ**

REAGENT COST REDUCTION IN FLOTATION OF COPPER SULPHIDE ORES

Cem SARIKAYA

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.

2021

ÖZET

SÜLFÜRLÜ BAKIR CEVHERLERİNİN FLOTASYONUNDA REAKTİF MALİYETİNİN DÜŞÜRÜLMESİ

Cem SARIKAYA

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Özlem BIÇAK

Mayıs 2021, 57 sayfa

Bu tez çalışmasında, Çayeli Bakır İşletmeleri'nde sülfürlü bakır cevherlerinde kullanılan yüksek maliyetli toplayıcıya alternatif olabilecek toplayıcıların kullanımı ile reaktif maliyetinin düşürülmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, tesiste işlenen 2 farklı kampanya kullanılmıştır, bunlar kalkopirit gibi birincil bakır minerallerinin işlendiği sarı kampanya ve ikincil bakır minerallerinin işlendiği sfalerit ağırlıklı bornitli klastik kampanya olarak sınıflandırılmıştır. Çalışma kapsamında bu iki farklı cevhere yedi farklı toplayıcı ile flotasyon testleri yapılmıştır. Bu toplayıcılar, Aero 3418A, Aero 5100, Aero 3894, Aerofloat 208, D19J, DLQ 468 ve SIPX yani sodyum izopropil ksantat'tır. Yapılan kinetik flotasyon testlerinde, ilk olarak cevher zenginleştirme tesisinin flotasyon koşulları baz koşul olarak tüm reaktifler için uygulanmıştır. Daha sonra yapılan testlerde ise verim ve tenör optimizasyonu için farklı toplayıcı dozajları ve karışımlarının etkileri incelenmiştir. Elde edilen

optimum koşul olan %75 Aerofloat 208 - %25 Aeroфин 3418A karışımı tesis ölçęğinde uygulanarak uzun süreli veri toplama çalışması başlatılmıştır. Toplanan bu veriler istatistiksel olarak incelenmiştir ve kullanımın ekonomik getirisi yaklaşık olarak yıllık 224 bin Amerikan Dolar'ı olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sülfürlü bakır mineralleri, toplayıcı, flotasyon, flotasyon kinetiği, verim, tenör, seçimlilik.

ABSTRACT

REAGENT COST REDUCTION IN FLOTATION OF COPPER SULPHIDE ORES

Cem SARIKAYA

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Özlem BİCAK

May 2021, 57 pages

In this thesis, cost reduction of collector is studied with the use of alternative collectors which can be an alternative to the high-cost copper collector used in Çayeli Bakır İşletmeleri Copper Zinc Sulphide Plant. In the study, two different campaigns processed at the mineral processing plant were used. The first one is classified as the yellow campaign in which primary copper minerals such as chalcopyrite are processed, the other is classified as a clastic campaign with bornite having sphalerite and secondary copper minerals. Within the scope of the study, flotation tests were performed by using seven different collectors. These collectors are Aerofin 3418A, Aero 5100, Aero 3894, Aerofloat 208, D19J, DLQ 468, and sodium isopropyl xanthate. In the kinetic flotation tests, the conditions of the flotation plant were applied as it is as a base condition for all alternative collectors. In later tests, the performances of different dosages and

mixtures of collectors were examined to optimise plant recovery and grade. The long-term data collection study was initiated in plant scale using 75% Aeroflot 208 - 25% Aerophine 3418A, which is found to be the optimum condition at batch scale flotation tests. These collected data were analyzed statistically and the economic return of the use is considered as as 224 K USD annually.

Keywords: Copper sulphide ores, collector, flotation, flotation kinetic, recovery, grade, selectivity.

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bilgisi ve tecrübesiyle bana yol gösteren tez danışmanım Doç. Dr. Özlem BIÇAK'a,

Lisans ve yüksek lisans süresince derslerine büyük bir ilgi ile katıldığım çok değerli hocam Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ'ye,

Desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve her zaman yanımda olan sevgili hocam Dr. E. Caner ORHAN'a

Çalışmalarımnda beni cesaretlendiren Aytekin TIRNAKÇIOĞLU'na, Serkan SARIKAYA'ya ve sağladığı imkanlardan dolayı Çayeli Bakır İşletmeleri'ne

Çalışma boyunca gönderdiğim her numuneyi hassasiyetle analiz eden Çayeli Bakır İşletmeleri kimyasal analiz laboratuvarındaki arkadaşlarıma,

Tez yazım sürecinde verdiği desteklerden dolayı Çağrı EMER'e ve değerli çalışma arkadaşlarıma,

Çocukluk arkadaşım Fırat EROL'a ve yakın arkadaşlarım Ertuna ÇAKIR'a, Cihan ELİGÜZEL'e

Hayatımın her aşamasında verdiğim kararlara saygı duyan ve bana inanan çok değerli aileme, çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. Giriş	1
2. Genel Bilgiler.....	3
2.1. Dünyada Bakır Üretimi.....	3
2.2. Türkiye’de Bakır Üretimi.....	5
2.3. Bakır Cevherlerini Zenginleştirme Yöntemleri.....	7
2.3.1. Yerçekimi Yöntemiyle Zenginleştirme.....	7
2.3.2. Hidrometalurjik Yöntemlerle Zenginleştirme	7
2.3.3. Flotasyonla Zenginleştirme.....	7
2.2.3.1. Flotasyon Reaktifleri	9
2.2.3.1.1. Düzenleyiciler	9
2.2.3.1.2. Köpürtücüler	10
2.2.3.1.3. Toplayıcılar	11
2.2.3.1.3.1. Oksidril Toplayıcılar.....	12
2.2.3.1.3.2. Sülfidril Toplayıcılar.....	13
2.2.3.1.4 Toplayıcı Karışımları ve Sinerjik Etkileri.....	16
2.2.3.1.5 Sinerjik Etkilerin İncelenmesinde Yapılan Diğer Çalışmalar.....	18
2.2.3.2. Flotasyon Kinetiği.....	19
2.4. Çayeli Bakır İşletmeleri Hakkında Genel Bilgi.....	20
2.4.1. Cevher Mineralojisi	20

2.4.2.	Üretim Verileri ve Cevher Zenginleştirme Tesisi.....	21
3.	Malzeme ve Deneysel Yöntem	24
3.1.	Sarı Kampanya Cevheri.....	24
3.1.1.	Sarı Kampanya Cevheri Boyut Dağılımı	25
3.1.2.	Sarı Kampanya Cevheri İlgili Metal İçerikleri	26
3.1.3.	Sarı Kampanya Cevheri ile Yapılan Flotasyon Testleri.....	26
3.2.	Bornitli Klastik Kampanya Cevheri.....	27
3.2.1.	Bornitli Klastik Kampanya Cevheri Boyut Dağılımı	29
3.2.2.	Bornitli Klastik Kampanya Cevheri İlgili Metal İçerikleri.....	30
3.2.3.	Bornitli Klastik Kampanya Cevheri ile Yapılan Flotasyon Testleri	30
3.3.	Tesis Ölçekli Çalışma	31
4.	Flotasyon Testlerinin Sonuçları.....	32
4.1.	Sarı Kampanya Cevheri Flotasyon Testleri.....	32
4.1.1.	Baz Koşul Testleri.....	32
4.1.1.1.	Toplayıcıların Verimleri	32
4.1.1.2.	Toplayıcıların Seçimlilikleri.....	35
4.1.2.	Aerofloat 208 Dozaj Tarama Testleri	37
4.1.2.1.	Verimlerin İncelenmesi.....	37
4.1.2.2.	Seçimliliklerin İncelenmesi	38
4.1.3.	Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A Karşılaştırma Testleri	40
4.1.3.1.	Verimlerin İncelenmesi.....	40
4.1.3.2.	Seçimliliklerin İncelenmesi	42
4.1.4.	Sarı kampanya cevherinin sonuçlarının yorumlanması	44
4.2.	Bornitli Klastik Kampanya Cevheri Flotasyon Testleri.....	45
4.2.1.	Verimlerin İncelenmesi	45
4.2.2.	Seçimliliklerin İncelenmesi.....	48
4.2.3.	Bornitli klastik kampanya cevherinin sonuçlarının yorumlanması	50

4.3.	Tesis Ölçekli Çalışma	50
4.3.1.	Toplayıcının Bakır Verimine Etkisi	50
4.3.2.	Toplayıcının Nihai Bakır Tenörüne Etkisi	53
4.4.	Ekonomik Analiz	55
5.	Sonuçlar ve Öneriler	56
6.	Kaynaklar	58
	Ekler	61
	Ek 1. Çayeli Bakır İşletmeleri Veri Kullanımı İzin Yazısı	61
	Ek 2. Cevher yarı nicel tüm kaya mineral analizi.	62
	Ek 2a. Numune Kodları	62
	Ek 2b. Sarı Cevher (11745)	63
	Ek 2c. Bornitli Klastik Cevher (11742).....	64
	Ek 3. Cevherlerin Piknometre Test Sonuçları	65
	Ek 4. Bornitli Klastik Cevherin Mineralojik Analizi	66
	Ek 5. Sarı Kampanya Cevheri Flotasyon Testleri	68
	Ek 5a. Baz Koşul Testleri	68
	Ek 5b. Flotasyon Kinetikleri.....	86
	Ek 6. Bornitli Klastik Kampanya Cevheri	91
	Ek 6a. Flotasyon Test Sonuçları	91
	Ek 6b. Flotasyon Kinetikleri.....	117
	Ek 6c. Standart Sapmalar	121
	Ek 7. Minitab programı analiz raporu	124
	Ek 7a. Verimlerin incelenmesi.....	124
	Ek 7b. Tenörlerin incelenmesi.....	127
	ÖZGEÇMİŞ	130

ŞEKİLLER

Şekil 1.1 Çayeli Bakır İşletmeleri tesisi kimyasal giderleri dağılımı.	1
Şekil 1.2 Çayeli Bakır İşletmeleri tüm tesis giderleri içinde Aerofin 3418A oranı.2	
Şekil 2.1 Yıllara göre bakır fiyatları (USD/lb).	4
Şekil 2.2 Türkiye'deki bakır yatakları.	5
Şekil 2.3 Türkiye'de yıllara göre bakır konsantre üretimi ve metal eşdeğeri.	6
Şekil 2.4 Türkiye'de yıllara göre bakır ithalat ve ihracatı.	6
Şekil 2.5 Tanecik - kabarcık etkileşimi.	8
Şekil 2.6 Flotasyon sistemi.	9
Şekil 2.7 Köpürtücünün flotasyon sistemindeki davranımı.	11
Şekil 2.8 Sodyum Oleat moleküler yapısı.	11
Şekil 2.9 Toplayıcı ile mineral yüzeyini temsil eden bir görsel.	12
Şekil 2.10 Toplayıcıların sınıflandırılması.	12
Şekil 2.11 Bazı oksidril toplayıcıların molekül yapıları.	13
Şekil 2.12 Ksantat yapısı kimyasal gösterimi.	14
Şekil 2.13 Nem varlığında ksantat bozunması.	14
Şekil 2.14 Etil ksantatın farklı pH değerlerindeki davranımı.	14
Şekil 2.15 Ditiyofosfinatlar ve ditiyofosfatlar arasındaki moleküler fark.	15
Şekil 2.16 Bornitli klastik cevherden bir görünüm.	21
Şekil 2.17 Çayeli Bakır İşletmeleri cevher zenginleştirme akım şeması.	23
Şekil 3.1 Sarı kampanya cevheri mikroskop görüntüsü.	25
Şekil 3.2 Bornitli klastik kampanya cevheri incelenen kesitteki mineral oranları.	28
Şekil 3.3 Bornitli klastik kampanya cevheri renklendirilmiş mikroskop görüntüsü.	29
Şekil 4.1 Baz koşul testleri bakır zaman-verim grafiği.	32
Şekil 4.2 Baz testleri koşul çinko zaman-verim grafiği.	33
Şekil 4.3 Baz koşul testleri pirit zaman-verim grafiği.	34
Şekil 4.4 Baz koşul testleri bakır tenör- bakır verim grafiği.	35
Şekil 4.5 Baz koşul testleri pirit tenör- bakır verim grafiği.	36
Şekil 4.6 Konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.	36

Şekil 4.7 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri bakır zaman-verim grafiği.....	37
Şekil 4.8 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri çinko zaman-verim grafiği.	38
Şekil 4.9 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri çinko zaman-verim grafiği.	38
Şekil 4.10 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri bakır tenör- bakır verim grafiği. .	39
Şekil 4.11 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri pirit tenör- bakır verim grafiği. ...	39
Şekil 4.12 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.	40
Şekil 4.13 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri bakır zaman-verim grafiği.....	41
Şekil 4.14 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri çinko zaman-verim grafiği.....	41
Şekil 4.15 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri pirit zaman-verim grafiği.	42
Şekil 4.16 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri bakır tenör- bakır verim grafiği.....	43
Şekil 4.17 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri pirit tenör- bakır verim grafiği.....	43
Şekil 4.18 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.....	44
Şekil 4.19 Bornitli klastik kampanya zamana bağlı bakır verimi grafiği.	46
Şekil 4.20 Bornitli klastik kampanya zamana bağlı çinko verimi grafiği.	47
Şekil 4.21 Bornitli klastik kampanya zamana bağlı pirit verimi grafiği.....	47
Şekil 4.22 Bornitli klastik kampanya bakır tenör– bakır verim grafiği.....	48
Şekil 4.23 Bornitli klastik kampanya pirit tenör– bakır verim grafiği.....	49
Şekil 4.24 Bornitli klastik kampanya konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.....	49
Şekil 4.25 Tukey analiz grafiği.....	51
Şekil 4.26 Hataların normal dağılımı	52
Şekil 4.27 Eş varyanslılık (homoscedasticity) grafiği.....	52
Şekil 4.28 Tukey analiz grafiği.....	53
Şekil 4.29 Hataların normal dağılımı.	54
Şekil 4.30 Eş varyanslılık (homoscedasticity) grafiği.....	55

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1 Bazı ülkelerin özel şirket ve hükümet verileri ile güncellenen bakır üretimi bilgileri (Bin ton). [2].....	4
Çizelge 2.2 Sinerjik etkilerin gözlemlendiği özet tablosu. [27]	17
Çizelge 3.1 Sarı cevher yarı nicel tüm kaya mineral analizi.	24
Çizelge 3.2 Sarı kampanya cevheri 45 dakika öğütme elek analizi.....	25
Çizelge 3.3 Sarı kampanya cevheri ilgili metal içerikleri.....	26
Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan toplayıcıların türleri.....	26
Çizelge 3.5 Sarı kampanya cevheri flotasyon test koşulları.	27
Çizelge 3.6 Bornitli klastik cevheri yarı nicel tüm kaya mineral analizi.	28
Çizelge 3.7 Bornitli klastik kampanya cevheri 60 dakika öğütme elek analizi. ..	30
Çizelge 3.8 Bornitli klastik kampanya cevheri ilgili metal içerikleri.....	30
Çizelge 3.9 Bornitli klastik kampanya flotasyon test koşulları.	31
Çizelge 4.1 Baz koşul flotasyon hız sabiti değerleri.	33
Çizelge 4.2 Bornitli klastik kampanya flotasyon hız sabitleri.	46
Çizelge 4.3 Hata analizi.	51
Çizelge 4.4 Hata analizi	53

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

%	Yüzde
g	Gram
µl	Mikrolitre
t	Ton
Cu	Bakır
Fe	Demir
Zn	Çinko
Pb	Kurşun
CuFeS ₂	Kalkopirit
FeS ₂	Pirit
CaO	Kalsiyum Oksit

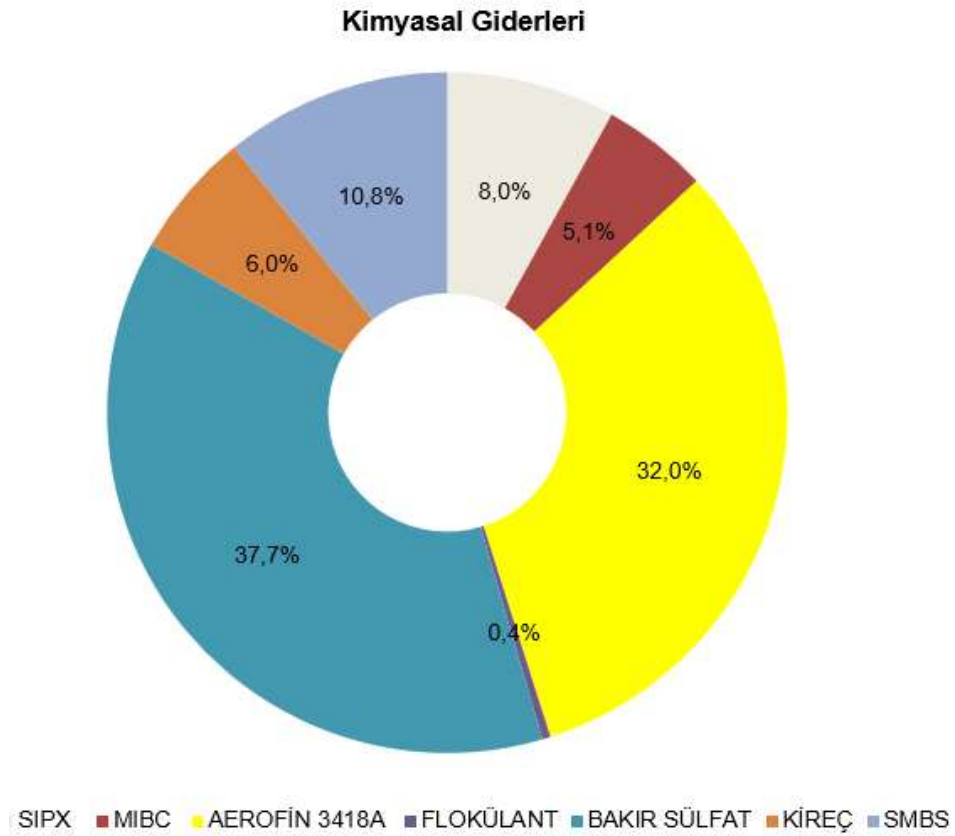
Kısaltmalar

YO	Sarı Cevher
BCO	Bornitli Klastik Cevher
MIBC	Metil İzobütil Karbinol
SIPX	Sodyum İzopropil Ksantat
SMBS	Sodyum Metabisülfid

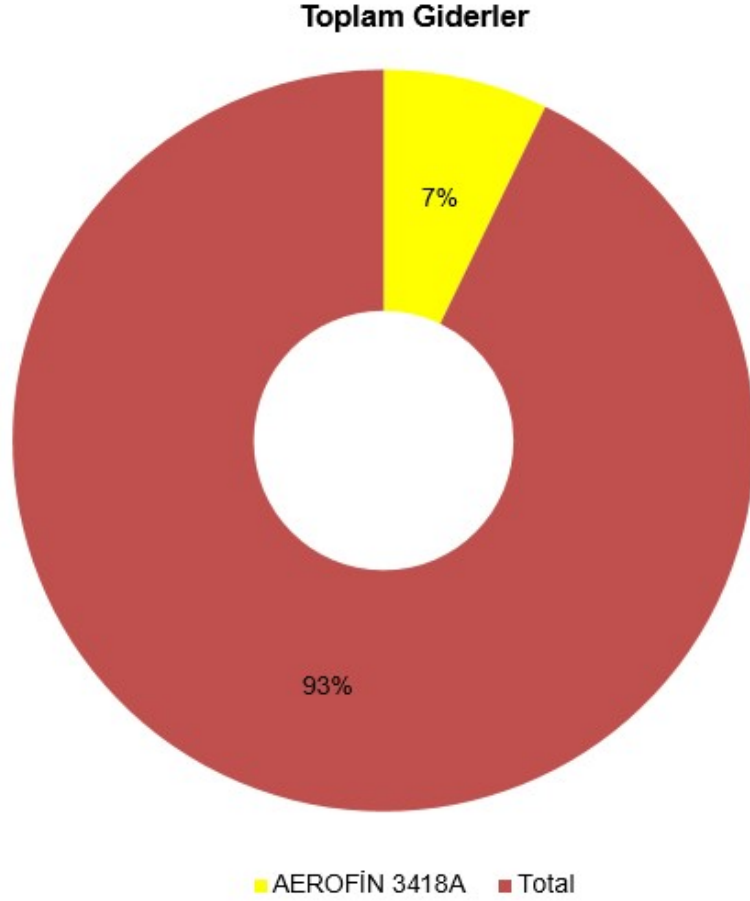
1. Giriş

Flotasyon bir fiziko-kimyasal zenginleştirme yöntemidir. Bu zenginleştirme yönteminde minerallerin farklı yüzey özellikleri kullanılarak değerli olan mineral ekonomik olarak değeri olmayan mineralden ayrıştırılır.

Flotasyon ile zenginleştirme işleminde birçok reaktif kullanılır ve bu reaktiflerden özellikle sülfürlü minerallerin flotasyonunda kullanılan toplayıcılar birim maliyet olarak en yüksek değere sahip olanlardır.



Şekil 1.1 Çayeli Bakır İşletmeleri tesisi kimyasal giderleri dağılımı.



Şekil 1.2 Çayeli Bakır İşletmeleri tüm tesis giderleri içinde Aerofin 3418A oranı.

Çayeli bakır işletmelerinde bakır flotasyonunda toplayıcı olarak kullanılan Aerofin 3418A'nın tesisin kimyasal giderleri ve tesisin tüm giderleri içindeki yüzdesel dağılımı, Şekil 1.1 ve Şekil 1.2'de verilmektedir. Şekil 1.2'de görüldüğü gibi Aerofin tüm tesis giderleri içinde %7'lik bir pay ile hiç azımsanmayacak ciddi bir maliyete sahiptir. Tez çalışmasının ana hedefi verim ve tenör değerlerinden ödün vermeden bu maliyetin azaltılması olacaktır.

Bu tez kapsamında Aerofin 3418A'ya alternatif olabilecek 7 farklı toplayıcı ile testler yapılmıştır. Çalışmalar laboratuvar ölçeğinde sarı kampanya ve bornitli klastik kampanya cevherleriyle tamamlandıktan sonra bulunan optimum koşulda tesis ölçeğine taşınmıştır. Tesis verileri istatistiksel yöntemle incelenmiş ve tesis ölçeğinde kullanılan alternatifin nihai verim, tenör üzerindeki etkileri ortaya konulmuştur. Daha sonra belirlenen koşulun ekonomik getirisi hesaplanmıştır.

2. Genel Bilgiler

2.1. Dünyada Bakır Üretimi

Bakır insanoğlu tarafından çok uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Medeniyetlerin gelişmesi ile ihtiyaç duyulan bakır metale ulaşmak için, üretim teknikleri de paralel olarak ilerlemiştir. Bakır, teknoloji ve insan hayatında her geçen gün daha önemli bir rol oynamıştır. Dünyada en çok bakır cevheri üretimine sahip ülkeler; Şili, Peru, Çin, Kongo, ABD (Amerika Birleşik Devletleri) ve Avustralya'dır.

Şili 2016 yılında tek başına 5.5 milyon ton bakır metal üretimi yaparak diğer ülkelerin önünde yer almıştır. Bakır üretiminde dünyanın en büyük ikinci bölgesi olarak, son zamanlarda ekonomisinde büyük gelişme kaydeden Asya Kıtası gösterilebilir. Önümüzdeki yıllarda potansiyel olarak Filipinler'deki Tampakan bakır ve altın yatağı dikkatleri üzerine çekmektedir. 2,4 milyar ton rezerve sahip bu madenin bakır metal içeriği ise %0.6'dır. Ayrıca Afganistan'da Ainak Bakır sahası ve Rusya'nın doğu Sibirya bölgesinde yer alan Udokan Cu-Ag sahaları da bölgede önemli yer tutmaktadır. Dünya üretiminde önemli bir yer tutan Kuzey Amerika'da Bingham Kanyonu Bakır Madeni Amerika Birleşik Devletleri'nin bakır metal ihtiyacını karşılayan büyük yataklardan biridir [1]. Çizelge 2.1'de 2019 ve 2020 yıllarındaki bakır metal üretimi verilmektedir. Şekil 2.1'de ise yıllara göre değişkenlik gösteren bakır metal fiyatları verilmiştir.

2019'da 20,4 milyon olan küresel bakır üretimi 2020'de, Kovid-19'un Nisan ve Mayıs aylarını etkilemesiyle, 20 milyon tona geriledi. Küresel rafine bakır üretiminde ise 2019'da 24,5 milyon tondaki miktar 2020 yılında 25 milyon tona yükseldi. Bunun nedeni ise 2019 yılında birden fazla izabenin aynı anda bakım ve iyileştirmeler için uzun süreli duruş vermesidir.

Çizelge 2.1 Bazı ülkelerin özel şirket ve hükümet verileri ile güncellenen bakır üretimi bilgileri (Bin ton). [2]

	Maden Cu Üretimi		Rafineri Cu Üretimi		Rezerv
	2019	2020	2019	2020	
ABD	1.260	1.200	1.030	910	48.000
Avustralya	934	870	426	380	88.000
Kanada	573	570	281	290	9.000
Şili	5.790	5.700	2.270	2.400	200.000
Çin	1.680	1.700	9.870	9.800	26.000
Kongo	1.290	1.300	1.080	1.100	19.000
Almanya	-	-	632	670	2.000
Japonya	-	-	1.500	1.600	-
Kazakistan	562	580	512	540	20.000
Güney Kore	-	-	665	680	-
Meksika	715	690	477	470	53.000
Peru	2.460	2.200	308	330	92.000
Polonya	399	400	566	550	32.000
Rusya	801	850	1.050	1.060	61.000
Zambiya	797	830	262	360	21.000
Diğer	3.100	3.300	3.640	3.500	20.000
Toplam	20.400	20.000	24.500	25.000	870.000



Şekil 2.1 Yıllara göre bakır fiyatları (USD/lb). [3]

2.2. Türkiye’de Bakır Üretimi

Türkiye'nin bakır yatakları çoğunlukla magmatik kökenlidir. Bağlı oldukları magma cinslerine göre bakır yataklarını üç ana grup altında toplamak mümkündür [4]. Şekil 2.2’de Türkiye’deki Bakır yatakları harita üzerinde gösterilmektedir.

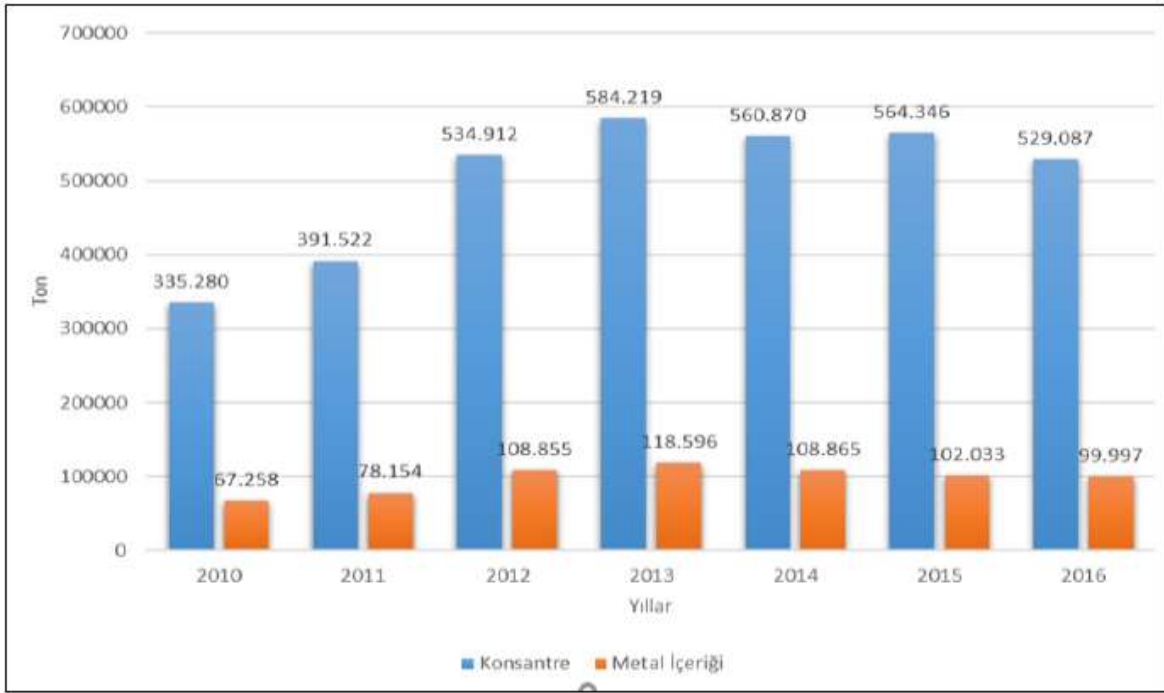
Bunlar;

1. Ofiolitik magmatizmaya bağlı,
2. Asitik plutonizmaya bağlı,
3. Andezitik - dasitik volkanizmaya bağlı yataklar.

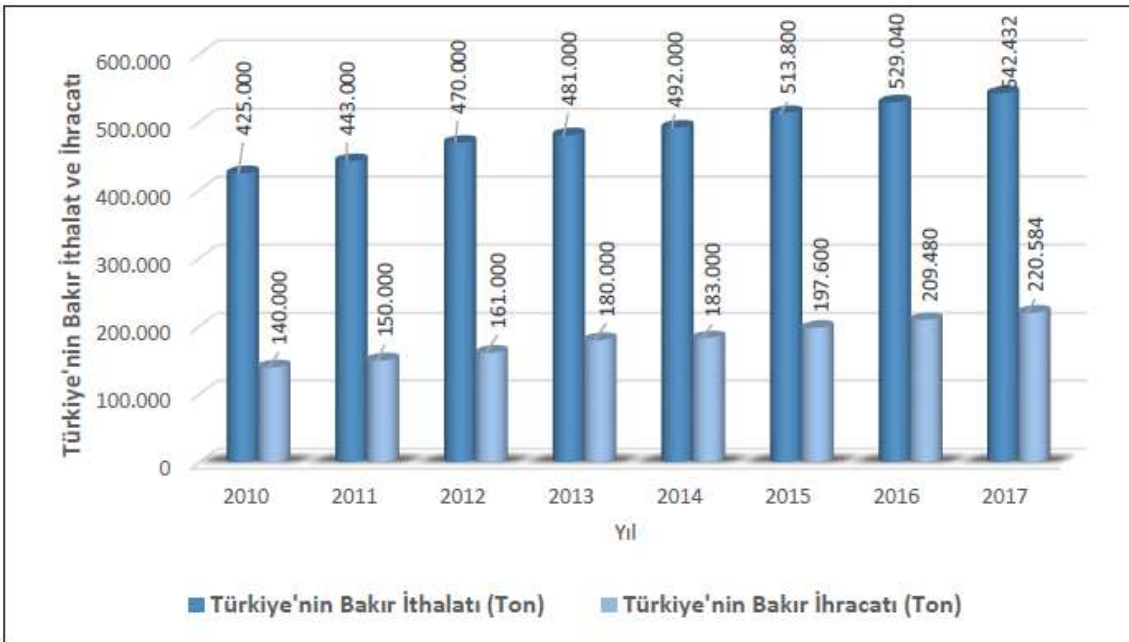


Şekil 2.2 Türkiye’deki bakır yatakları. [5]

2016 ve 2017’deki verilere göre Türkiye’nin hali hazırdaki bakır madenlerinde üretilen zenginleştirilmiş bakır konsantreleri toplamı 550.000 tondur. Bu miktarın saf bakır içeriği ise yaklaşık 110 bin ton olarak kayıt altına alınmıştır. Şekil 2.3’te 2010 yılı ile 2016 yılları arasındaki bakır konsantre üretimi ve bakır metali eş değeri verilmektedir. Söz konusu 550 bin ton konsantrenin 350.000 tonu Samsun İzabe Tesisine (70 bin ton kapasiteli) gönderilmekte geriye kalan 200 bin ton konsantre ise izabe tesisi kapasite yetersizliği nedeniyle yurt dışına ihraç edilmektedir [1]. Şekil 2.4’te 2010 ile 2017 yılları arasındaki bakır ithalat ve ihracat miktarları verilmektedir.



Şekil 2.3 Türkiye’de yıllara göre bakır konsantre üretimi ve metal eşdeğeri. [1]



Şekil 2.4 Türkiye’de yıllara göre bakır ithalat ve ihracatı. [1]

Son dönemde bulunan bakır yataklarının işletmeye alınması ile yıllık 1 milyon ton bakır konsantre değerine çıkılabilecektir. Bakır konsantresi ithal edilmesi yerine, yeni kurulacak bakır izabe tesisinde bu konsantrenin işlenmesi ile ülkemizin ihtiyacı olan bakır yerli kaynaklardan üretilabilecektir. Bu nedenle yıllık yaklaşık 550 bin ton olan bakır ithalimizin bir kısmı yerli kaynaklardan karşılanabilecektir [1].

2.3. Bakır Cevherlerini Zenginleştirme Yöntemleri

2.3.1. Yerçekimi Yöntemiyle Zenginleştirme

Yerçekimiyle zenginleştirme yöntemi ya da ağır ortamla zenginleştirme yöntemi bakır mineralleri için pek yaygın olmasa da asıl zenginleştirme yönteminden önce ön zenginleştirme için kullanılabilir [6].

Murgul bakır cevherine yapılan laboratuvar ölçekli bir çalışmada, kabaran yataklı ayırıcı ile flotasyon öncesinde kuvarsın yüksek miktar ve verim değerinde sistemden uzaklaştığı gözlemlenmiştir [7]. Diğer bir örnek ise düşük tenörlü Malanjhand cevherinin ön zenginleştirmeye bakır tenörünün artırılması verilebilir [8].

2.3.2. Hidrometalurjik Yöntemlerle Zenginleştirme

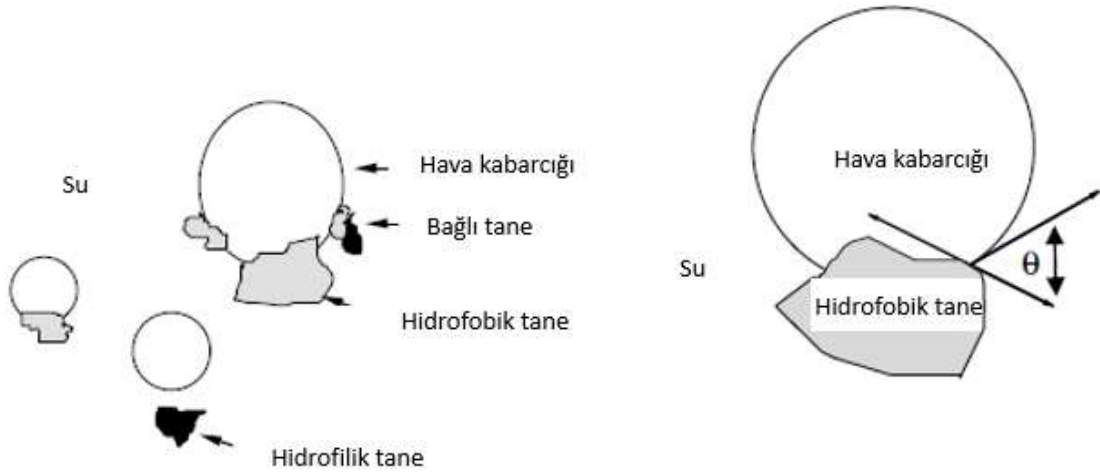
Sülfürlü, oksitli ve oksit-sülfürlü bakır cevherleri atmosferik basınçta ya da basınç altında zenginleştirilebilirler [6]. Son dönemlerde yığın liçi, bakır minerallerinin zenginleştirilmesinde önemli bir role sahiptir. Solvent ekstraksiyonu ve electro kazanım yöntemleri, bakır üretiminin yaklaşık %20'sine katkıda bulunmaktadır [9].

2.3.3. Flotasyonla Zenginleştirme

Flotasyon için geçmişten günümüze birçok tanım yapılmıştır. Bunlardan ilki; flotasyon farklı fazları birbirinden ayırtmak için kullanılan yöntemlerden biridir. Örneğin katı parçacıkların veya yağ damlalarının sudan ayrılması için kullanılabilir. Flotasyon ağırlıklı olarak farklı hidrofobiklik derecelerine sahip katı taneciklerin birbirinden ayrılması için kullanılmaktadır [10].

Başka bir tanımlama ise şu şekildedir; flotasyon, temelde fiziko-kimyasal bir ayırma işlemidir. Üç fazdan (katı, sıvı, gaz) oluşan bu sistem, farklı yüzey özelliklerini kullanarak değerli minerali, ekonomik değere sahip olmayan minerallerden ayırmayı hedefler [11].

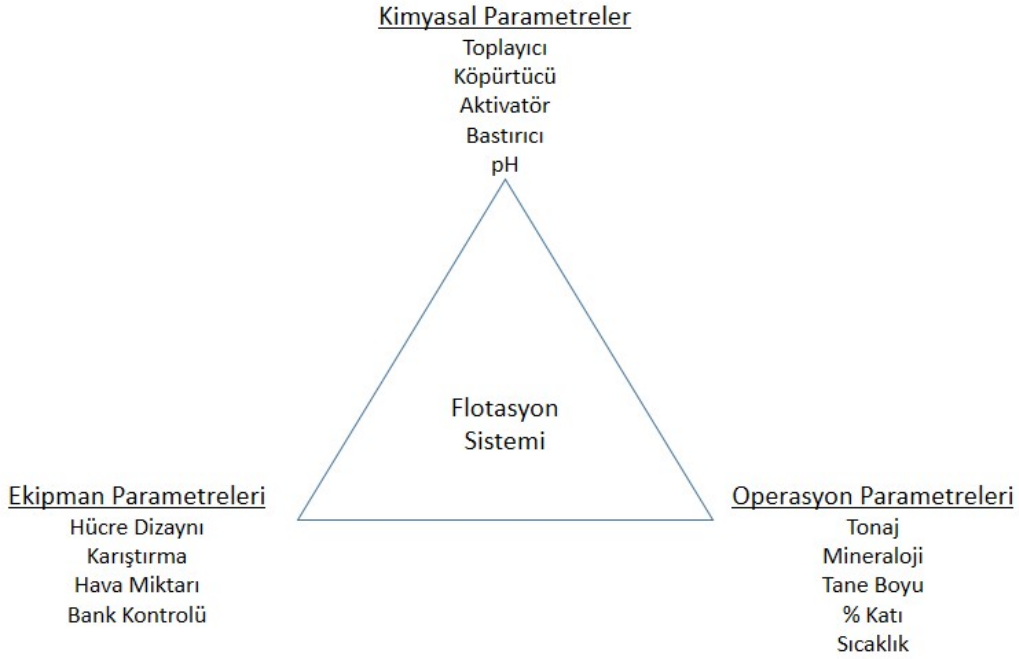
Hidrofobiklik, bir materyalin ıslanabilirlik derecesidir. Cevher hazırlamada, mineraller su sistemi içinde hızlı bir biçimde ıslanabiliyorlarsa hidrofilik olarak isimlendirilirler, eğer yüzeyde ıslanma miktarı az ise hidrofobik olarak isimlendirilirler. Hidrofobiklik sonucunda mineraller hava su sisteminde oluşturulan bir kabarcığa tutunur ve sudan daha hafif bir hale dönüşen sistem yukarı doğru hareket etmeye başlar (Şekil 2.5) [10].



Şekil 2.5 Tanecik - kabarcık etkileşimi.

Mineraller farklı hidrofobiklik derecelerinde olabilirler ve bu farklılık temas açısı ile ölçülür (Şekil 2.5). Temas açısı (θ) arttıkça yüzeyin hidrofobiklik derecesi artar [10].

Flotasyon sisteminde, kontrol edilmesi gereken birçok değişken vardır. Bu değişkenler; kimyasal, ekipman ve operasyon parametreleridir. Şekil 2.6'da bu parametreler detaylandırılmıştır.



Şekil 2.6 Flotasyon sistemi. [12]

2.2.3.1. Flotasyon Reaktifleri

Flotasyon prosesinde kompleks mineraller, çeşitli kontrol reaktiflerinin ve toplayıcı reaktiflerin yardımı ile birbirinden ayırarak zenginleştirilir. Kimyasal ve fiziksel özellikleri bakımından benzer yapıda olan diğer oksit, silikat ve tuz tipi mineralleri de uygun kontrol reaktifleri ve toplayıcılar ile gang minerallerinden ayırt edilebilir.

Flotasyonda kullanılan kimyasallar temel olarak düzenleyiciler (pH düzenleyiciler, bastırıcılar, aktifleştiriciler, dağıtıcılar), köpürtücüler ve toplayıcılardır [13].

2.2.3.1.1. Düzenleyiciler

Düzenleyiciler pH Düzenleyiciler, canlandırıcı (aktifleştiriciler), bastırıcılar ve dağıtıcılar olmak üzere sınıflandırılabilirler.

pH Düzenleyiciler:

Çoğu mineralin yüzey kimyası pH'dan etkilenir. Minerallerin yüzey yükleri genel olarak asidik ortamlarda pozitif, bazik ortamlarda ise negatif yüklere sahiptir. Her mineral için yüzey yükleri belirli pH aralıkları için değişkenlik gösterebilir.

pH dengesi flotasyonda oldukça önemli bir rol oynar. Reaktif konsantrasyonu ve pH arasındaki denge zenginleştirme işleminin kalitesine etki edecek değişkenlerdendir. Sülfürlü mineraller çoğunlukla alkali ortamlarda yüzdürülür. Ksantat dahil bir çok toplayıcı alkali ortamlarda daha duraylıdır. Sodyum karbonat, kireç, sodyum hidroksit ve sülfirik asit ya da sülfuroz asit pH'yı ayarlamak için kullanılan kimyasallardır [14].

Bastırıcılar:

Bastırıcılar, flotasyon sistemi içerisindeki seçimliliği kontrol etmek için kullanılırlar. Örneğin çinko sülfat, sodyum metabisülfid ve kireç bu bastırıcılara örnektir [15].

Aktifleştiriciler:

Aktifleştiriciler, toplayıcının mineral yüzeyine soğurulamadığı durumlarda kullanılır. Örneğin sülfürlü mineral flotasyonunda çinko minerali olan sfalerit yüzeyini canlandırmak için genellikle bakır sülfat kullanılır [16]. Yapılan son çalışmalarda bakır-amin kompleksi olan bir canlandırıcının (ZnFL kodlu) bakır sülfat yerine kullanılabileceği de ortaya konmuştur [17].

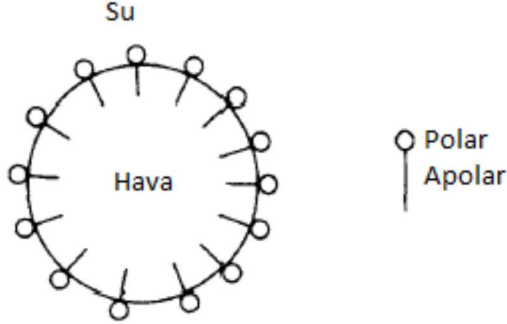
Dağıtıcılar:

Dağıtıcılar, pulp içinde iyonlar yüzünden topaklaşan mineralleri birbirinden uzaklaştırmak amacıyla kullanılmaktadırlar. Örneğin, dağıtıcı reaktiflerden biri olan Na_2SiO_3 (sodyum silikat), kalsiyumu etkisizleştirmektedir. Sodyum hekza metafosfat (Kalgon) ise, su içindeki Ca^{2+} , Mg^{2+} vb. iyonları etkisizleştirerek bu iyonların topaklanma, şlamla kaplama gibi olumsuz etkilerini gidermektedir [18].

2.2.3.1.2. Köpürtücüler

Köpürtücüler, bir polar grup ve su-hava ara yüzü içinde soğurulan bir hidrokarbon radikali içeren heteropolar yüzey aktif bileşiklerdir [19]. Köpürtücüler genel olarak alkol bazlı bileşiklerdir ve bunlardan endüstride en sık kullanılanı MIBC (Metil İzobütil Karbinol) dir. MIBC dışında farklı köpürtücülerde mevcuttur örneğin, krizoller ve çam yağları. Köpürtücülerin flotasyon sistemi içindeki şematik gösterimi Şekil 2.7'deki gibidir.

Bazı çalışmalarda köpürtücü olarak köpük stabilitesini arttıran tuzlu su (kısmi deniz suyu) kullanılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Uygulama endüstriyel olarak Rusya'da kullanılmaktadır [20], [21].

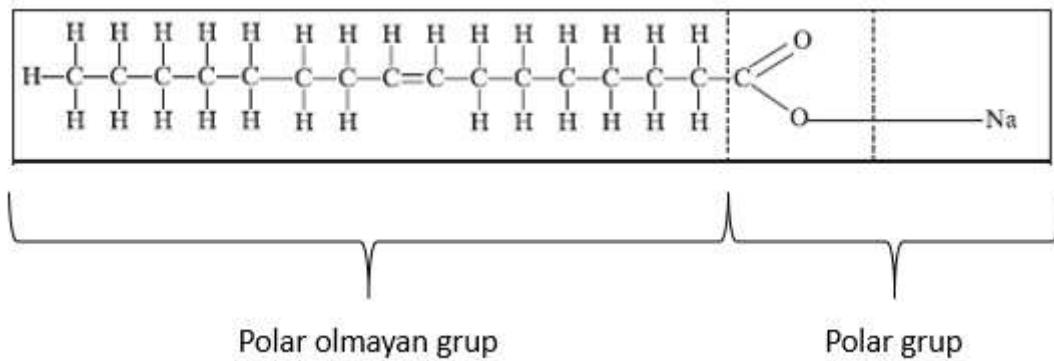


Şekil 2.7 Köpürtücünün flotasyon sistemindeki davranımı.

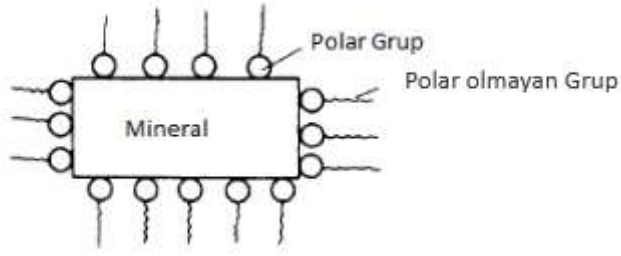
2.2.3.1.3. Toplayıcılar

Genel olarak toplayıcılar, polar ve polar olmayan iki farklı molekül yapısından oluşan kimyasal maddeler olarak tanımlanırlar.

Toplayıcının polar olmayan kısmı bir hidrokarbon radikalidir ve su ile reaksiyona girmez. Polar kısım ise diğer kısmın aksine su ile reaksiyona giren taraftır. Şekil 2.8'deki sodyum oleat polar ve polar olmayan kısımların gösterimi için iyi bir örnektir [19]. Şekil 2.9'da ise polar ve polar olmayan kısımların mineral yüzeyiyle etkileşimi görselleştirilmiştir.

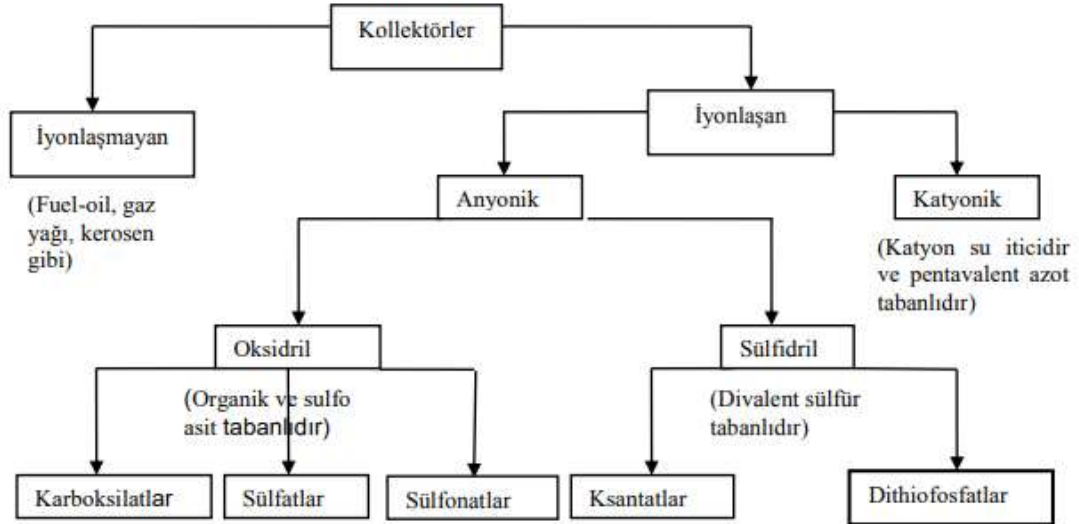


Şekil 2.8 Sodyum Oleat moleküler yapısı.[19]



Şekil 2.9 Toplayıcı ile mineral yüzeyini temsil eden bir görsel.

Toplayıcılar temelde iki ana başlıkta incelenebilir. Bunlar suda çözünen iyonik grupları olan toplayıcılar ve suda çözünemeyen yani iyonik olmayan toplayıcılardır [19]. Toplayıcıların sınıflandırılması Şekil 2.10'daki gibidir.



Şekil 2.10 Toplayıcıların sınıflandırılması. [22]

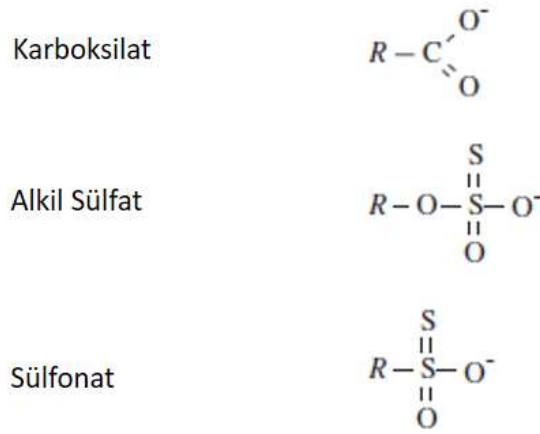
Anyonik toplayıcılar flotasyonda en yaygın kullanılan toplayıcı türleridir. Anyonik toplayıcılar oksidril ve sülfidril olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır [11].

2.2.3.1.3.1. Oksidril Toplayıcılar

Anyonik toplayıcıların bir kolu olan oksidriller çok geniş bir toplayıcı grubu olmasına rağmen endüstrideki kullanımları çok limitlidir. Bu grup içerisinde en çok çalışma yapılan toplayıcılar oleik asit ve sodyum oleatlarıdır. Oleik asit toplayıcıları en yaygın kullanılan toplayıcılardır. Bunun nedeni ise bu toplayıcılar üzerinde yapılan çalışma sayılarının fazlalığındandır.

Oksidril ve sülfidril toplayıcıları birbirleriyle kıyaslandığında, oksidrillerin seçimlilikleri sülfidrilere göre daha azdır. Bunun nedeni ise polar gruplarındaki karbon zincirinin çok daha uzun olmasıdır. Bu uzun karbon zinciri sayesinde flotasyon sistemi içinde köpürtücü etkileri de bulunmaktadır. Oksidriller çoğunlukla oksitler, silikatlar, karbonatlı mineraller ve sülfü grup içeren minerallerin flotasyonunda kullanılırlar.

Bu toplayıcılar dokuz farklı toplayıcı grubu altında toplanabilirler. Fosfonik asit esterler, alkil sülfatlar, sülfonatlar, hidroksamatlar, sülfosüksinatlar, sülfosüksimatlar, fosfonik asitler ve karboksilatlar. Şekil 2.11'de sülfat, sülfonat ve karboksilatların kimyasal yapıları gösterilmiştir [19].



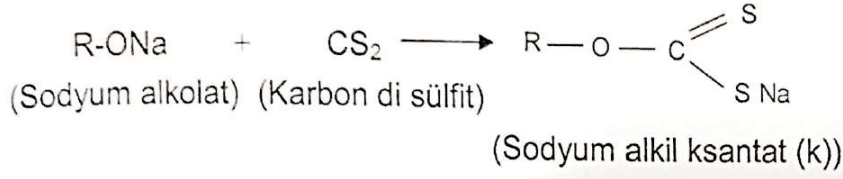
Şekil 2.11 Bazı oksidril toplayıcılarının molekül yapıları.

2.2.3.1.3.2. Sülfidril Toplayıcılar

Sülfürlü minerallerin flotasyonunda benzer yöntemlerle karşılaşmak mümkündür. Bu minerallerin flotasyonunda sülfidril toplayıcıların kullanımı önemli bir yere sahiptir [23]. Sülfidril toplayıcılar aynı zamanda tiyol olarak da isimlendirilmektedirler [19]. Sülfidril toplayıcılara genel olarak şu örnekler verilebilir; ksantatlar, ditiyofosfatlar, monotiyofofosfatlar, hidroksamatlar, merkaptanlar, tiyonokarbamatlar ve ditiyofosfinatlar.

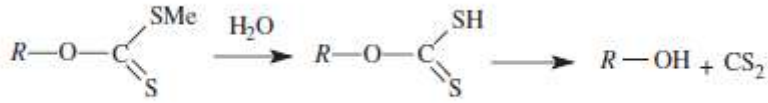
Ksantatlar ve Ksantik Asit:

Sülfürlü minerallerin flotasyonunda en yaygın olarak kullanılan toplayıcılarıdır. Ksantatlar, iki oksijen atomunun kükürt ile değiştirildiği ve bir alkil grubunun bir hidrojen atomunun yerini aldığı karbonik asit ürünüdür [19]. Şekil 2.12'de ksantat sentezi örneği verilmiştir.



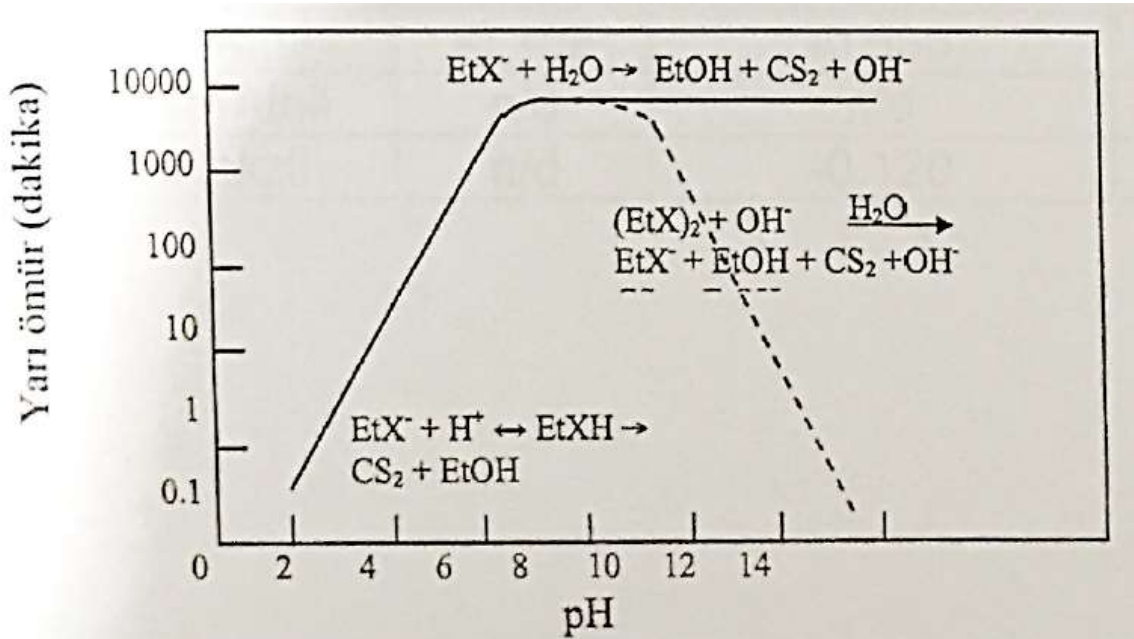
Şekil 2.12 Ksantat yapısı kimyasal gösterimi. [24]

Nemin varlığında, ksantat hidrolize olur ve kararsız ksantik asitler oluşturur, bunlar ayrıca karbon disülfid ve Şekil 2.13'deki alkole ayrışır.



Şekil 2.13 Nem varlığında ksantat bozunması.

Ksantatların karbon zincirleri iki ile beş arasında değişkenlik göstermektedir. Zincirdeki karbon sayısı arttıkça ksantatın toplayıcı gücü artarken seçimliliği azalır. Ksantatlar geniş pH aralıklarında çalışabilen toplayıcılardır fakat düşük pH'larda (pH: 2-3) ve yüksek sıcaklıkta da kararlılıklarını yitirir ve bozunurlar [11]. Örnek olarak etil ksantatın pH'ya göre değişimi Şekil 2.14'te verilmektedir.



Şekil 2.14 Etil ksantatın farklı pH değerlerindeki davranımı. [25]

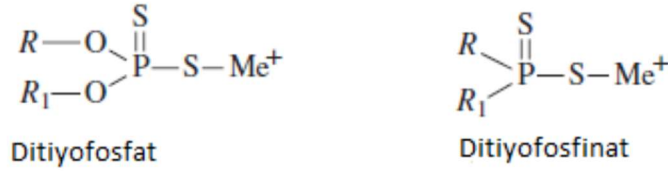
Ditiyofosfatlar:

Aerofloat olarak bilinen bu toplayıcılar alkil ve aril ditiyofosforik asitler ve bunların alkali tuzlarıdır. Genel olarak, flotasyon reaktifleri olarak kullanılan fosfor bileşikleri, az sayıda bilinen organik fosfor bileşiklerini temsil eder. Organik fosfor bileşikleri iki ana gruba ayrılabilir: (a) fosfor atomunun doğrudan bir hidrokarbon zincirine bağlandığı bileşikler ve (b) başka bir atom (yani oksijen) aracılığıyla bir bağlantının yapıldığı bileşikler.

Ditiyofosfatlar sülfürlü minerallerin flotasyonunda tek başlarına kullanılabilir ya da başka bir toplayıcının varlığında destek amaçlı kullanılabilirler [19].

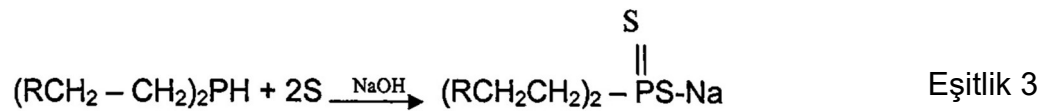
Ditiyofosfinatlar:

Sülfürlü minerallerin flotasyonunda diğer toplayıcılara göre daha yeni olan bu toplayıcının ditiyofosfattan farkı fosfor atomunun hidrokarbon grubuna doğrudan bağlanmasıdır. Şekil 2.15'te bu fark gösterilmektedir [19]. Seçimli flotasyon için tercih edilirler. Ksantatlara göre çok daha pahalıdır. Ticari olarak satılan türü Aerofin ya da 3418A olarak bilinir.



Şekil 2.15 Ditiyofosfinatlar ve ditiyofosfatlar arasındaki moleküler fark.

Aşağıdaki eşitliklerde dialkil ditiyofosfinin sentez deklemini verilmiştir. Bu aşama oldukça maliyetli olduğunda bu türdeki toplayıcıların birim fiyatları da oldukça pahalıdır.



2.2.3.1.4 Toplayıcı Karışımları ve Sinerjik Etkileri

İki veya daha toplayıcının birlikteliğinden meydana gelen karışımların flotasyon performansı üzerindeki etkileri uzun süredir araştırılmaktadır. Toplayıcı birlikteliklerinin flotasyon performansı üzerindeki etki sinerji diye tanımlanmaktadır. [26]. Toplayıcıların birlikteliklerindeki flotasyon performanslarının artışı, karışımların mineral yüzeylerine daha efektif soğurulmaları ile açıklanmaktadır.

Sinerjik etkileşimler toplayıcı-toplayıcı karışımlarının yanısıra toplayıcı-köpürtücü ve köpürtücü-köpürtücü arasında da gözlemlenmektedir [27].

Farklı türlerdeki toplayıcı karışımlarının örneklerini endüstride görmek mümkündür. Bu karışımlar anyonik-katyonik, anyonik-anyonik ve anyonik-nötr şeklinde olabilmektedir. Anyonik-anyonik karışımları genel olarak sülfürlü minerallerin flotasyonunda kullanılmaktadır. Anyonik-katyonik toplayıcı karışımlarının örneklerini ise endüstriyel ham maddelerin flotasyonlarında görmek mümkündür. Özellikle feldspat ile quartz ayırma işlemlerinde [28]. Anyonik-nötr karışımları genel olarak oksitli mineraller ve tuz tipi minerallerde kullanılırlar [29].

Çizelge 2.2'de farklı toplayıcı karışımlarının performanslarını özetleyen bir tablodur. Çizelgede, X: Ksantat, DTC: Ditiyokarbamat, DTP: Ditiyofosfat, MTP: Monotiyofosfat, SMBT: Sodyum merkaptobenzotiyazol, PPG: Polipropilen glikol 41G A – NCP tarafından üretilen ve trietoksibütan içeren köpürtücü olarak verilmiştir. [27].

Çizelge 2.2 Sinerjik etkilerin gözlemlendiği özet tablosu. [27]

Etkileşim	Kimyasallar	Mineraller	Teknik	Karışımın Yararı
Tiyol-Tiyol Toplayıcı	Etil, Bütil Ksantatlar, (2:1; 1:1; 1:2)Ksantatlar, Dietilditiyofosfatlar	Arsenopirit Galen	Lab. Ölçekli Flotasyon ve Soğurum	Düşük dozajlarda yüksek verim ve iri boyut verimin iyileştirilmesi
	n-Propil, n-hexyl, sikloheksil, dipropil ditiyokarbamat (10:90; 50:50; 90:10)	Pirit	Lab Ölçekli Flotasyon	Tüm karışımlar için tenörde ve verimde artış
	Ditiyofosfatlar, ksantatlar, merkaptobenzotiyazol	Çeşitli sülfatlar	Lab Ölçekli Flotasyon	Daha yüksek verim. Optimum oran 70:30
	DTP:SIBX (30:70; 50:50; 70:30)	Platin GrupMineraller Pirit		İyileştirilmiş verim
	İzobütil ksantat: siyano dietil, ditiyokarbamat (12:44)	Kalkopirit Pirit	Lab Ölçekli Flotasyon	12:44'lük karışımda tenörde ve verimde artış
	Ditiyo-, monotiyo-fosfatlar (75:25; 50:50; 25:75)	Bakır sülfat karışımları	Lab Ölçekli Flotasyon	Karışım özelliklerinden dolayı 75:25 oranında optimum verim
	Etil ksantat: di-etil, ditiyokarbamat (80:20; 66:33; 50:50; 33:66; 20:80)	Hezlavudit Minerali	Soğurum Yüzey Gerilimi Mikro Flotasyon	Daha az yüzey gerilimi ve verimde artış için optimum oran 33:66
	Ksantat :SMBT	Arsenopirit Altın	Lab Ölçekli Flotasyon	Daha iyi performans için karışımın daha düşük dozajları
	Ksantat: dikresil ditiyofosfat	Bakır Sülfatlar	Lab Ölçekli Flotasyon	Düşük dozajlarda kinetiğin artışı
	n-bütil ksantat; ditiyokarbamat (95:5; 90:10; 85:15; 50:50)	Pirit	Lab Ölçekli Flotasyon Köpük Yüklenmesi Termokimyasal	Minerallerin toplanmasına ve toplayıcının soğurulmasının geliştirilmesinden dolayı verimin artışı
	Bütil ksantat: Hidrolize edilmiş poliakrilamid (90:10)	Sülfür karışımları ile altın	Lab. Ölçekli Kesikli Flotasyon	Düşük dozajlarda bile %3 verim artışı (90:10)

2.2.3.1.5 Sinerjik Etkilerin İncelenmesinde Yapılan Diğer Çalışmalar.

Konu ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Bu örnekler aşağıda sıralanmıştır.

- Ksantat ve dithiocarbamat karışımı. Yapılan çalışmada mineral yüzeylerine bu iki toplayıcının beraberliğindeki soğurulum tek başlarına kullanıldıkları durumlara göre artış göstermiştir. KEX:DTC 1:2 oranı maksimum soğurulumu sağlamıştır [30].
- Pirit-altın cevheri üzerinde test edilen potasyum etik ksantat ve sodyum oleat karışımı ile cevherin hidrofobiklik derecesinin değişimi incelenmiştir. Bu toplayıcıların beraber kullanımlarında temas açısında belirgin bir artış gözlenmiştir [31].
- Altın cevheri ile yapılan bir çalışmada flotasyon toplayıcısı olarak kullanılan potasyum amil ksantat, ditiyofosfat (Aero 208) ve ditiyofosfinat (3418A) karışımı ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir [32].
- Bakır cürufuna yapılan flotasyon testlerinde farklı toplayıcı karışımları test edilmiştir ve en yüksek bakır randımanı SIPX ve dietil ditiyofosfat birlikteliği ile sağlanmıştır [33].

2.2.3.2. Flotasyon Kinetiği

Kinetik modeller flotasyon işlemine tanımlamak için kullanılan matematiksel eşitliklerdir. Kesikli flotasyon testlerinde genel olarak kaba flotasyon veriminin zamana bağlı değişimi bu modeller ile ifade edilebilir. Konsantre içindeki mineralin (yüzdürölmek istenilen) kümülatif verimi yüzdürme süresi ile orantılı olduğundan, flotasyon işlemi zamana bağlı geri kazanım süreci olarak düşünölebilir. Bu nedenle hız sabiti ve nihai verim içeren matematiksel bir flotasyon modeli, zamana bağlı verim profilini ortaya koymuş olur [34].

Birinci dereceden kinetik flotasyon modeli en yaygın kullanılan modellerden biridir ve laboratuvar ölçekli kesikli flotasyon testlerinde flotasyon hız sabitini belirlemek için kullanılır. Yaygın olarak; optimum reaktif dozajının belirlenmesi, devre tasarımı ve optimizasyonu gibi çalışmalarda kullanılır [35], [36].

$$R = R_{\infty}(1 - e^{-Kt})$$

Eşitlik 4

R: Verim

R_{∞} : Nihai verim

K: Flotasyon hız sabiti

t: zaman (dakika)

Bu konu ile ilgili ölkemizde de bazı çalışmalar yapılmıştır [37],[38].

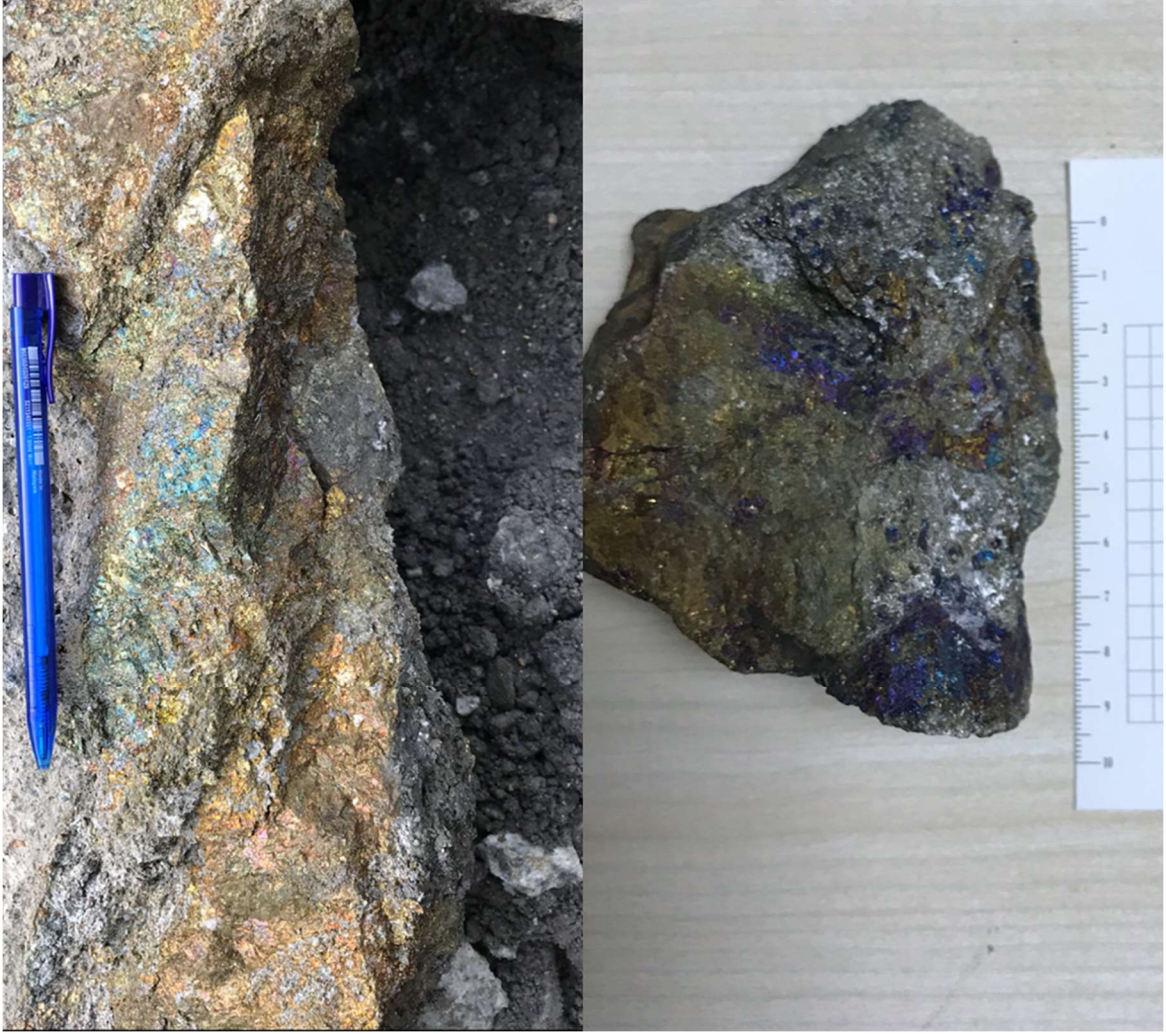
2.4. Çayeli Bakır İşletmeleri Hakkında Genel Bilgi

Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ő. 1994 yılından bu yana Rize ili, Çayeli İlçesi, Madenli beldesi sınırları içinde üretim faaliyetinde olan bir madencilik firmasıdır. İşletme, yılda yaklaşık 1,2 milyon ton üretim kapasitesi ile madencilik faaliyetlerine devam etmektedir ve konvansiyonel kırma eleme, öğütme ve flotasyon yöntemleri ile bakır (Cu), çinko (Zn) cevherlerini zenginleştirmektedir. Konsantre, kamyonlar vasıtasıyla yaklaşık 25 km uzaklıkta Rize'deki Rize Port tesislerine taşınıp buradan gemilere yüklenerek yurtdıőına ihraç edilmektedir.

2.4.1. Cevher Mineralojisi

Çayeli volkanojenik bir masif sülfid yatağıdır. Yüzde doksanı masif sülfitten oluşan bu yatak breő ve kumtaőı formasyonundadır. Bu cevher yatağında ağırlıklı olarak pirit, kalkopirit ve sfalerit eser miktarda da galen, bornit ve tetrahedrit bulunmaktadır. Atık mineraller ise barit, dolomit, kuvarz, serizit ve kaolinit içermektedir.

Cevher yatağında temelde dört farklı cevher oluőumu vardır. Bunlar; stockwork (düşük tenörlü sarı) cevher, sarı cevher, siyah cevher ve klastik cevherdir. Daha sonra yapılan araştırmalarda cevher yatağında bornitli sarı ve bornitli klastik cevherleri de bulunmuőtur ve üretime dahil edilmiştir. Düşük tenörlü sarı cevher ağırlıklı olarak pirit ve kalkopirit mineralleri içermektedir. Sarı cevher, ağırlıklı olarak pirit ve kalkopirit içermekle beraber %10'un altında sfalerit minerali içermektedir. Siyah cevher, %10'un üstünde sfalerit minerali içerirken aynı zamanda da az miktarlarda kalkopirit ve pirit içermektedir. Klastik cevher, ağırlıklı olarak kalkopirit, pirit ve sfalerit klastları içermektedir. Bu cevher metalürjik olarak işlenmesi zor olan cevher tipidir, bunun nedeni ise sfalerit minerali üzerindeki ince kalkopirit kırıntılıdır [39]. Temelde tesis beslemesi iki ana paçal yapılarak beslenmektedir. Bunlar spec besleme ve off-spec besleme olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 2.16 Bornitli klastik cevherden bir görünüm.

2.4.2. Üretim Verileri ve Cevher Zenginleştirme Tesisi

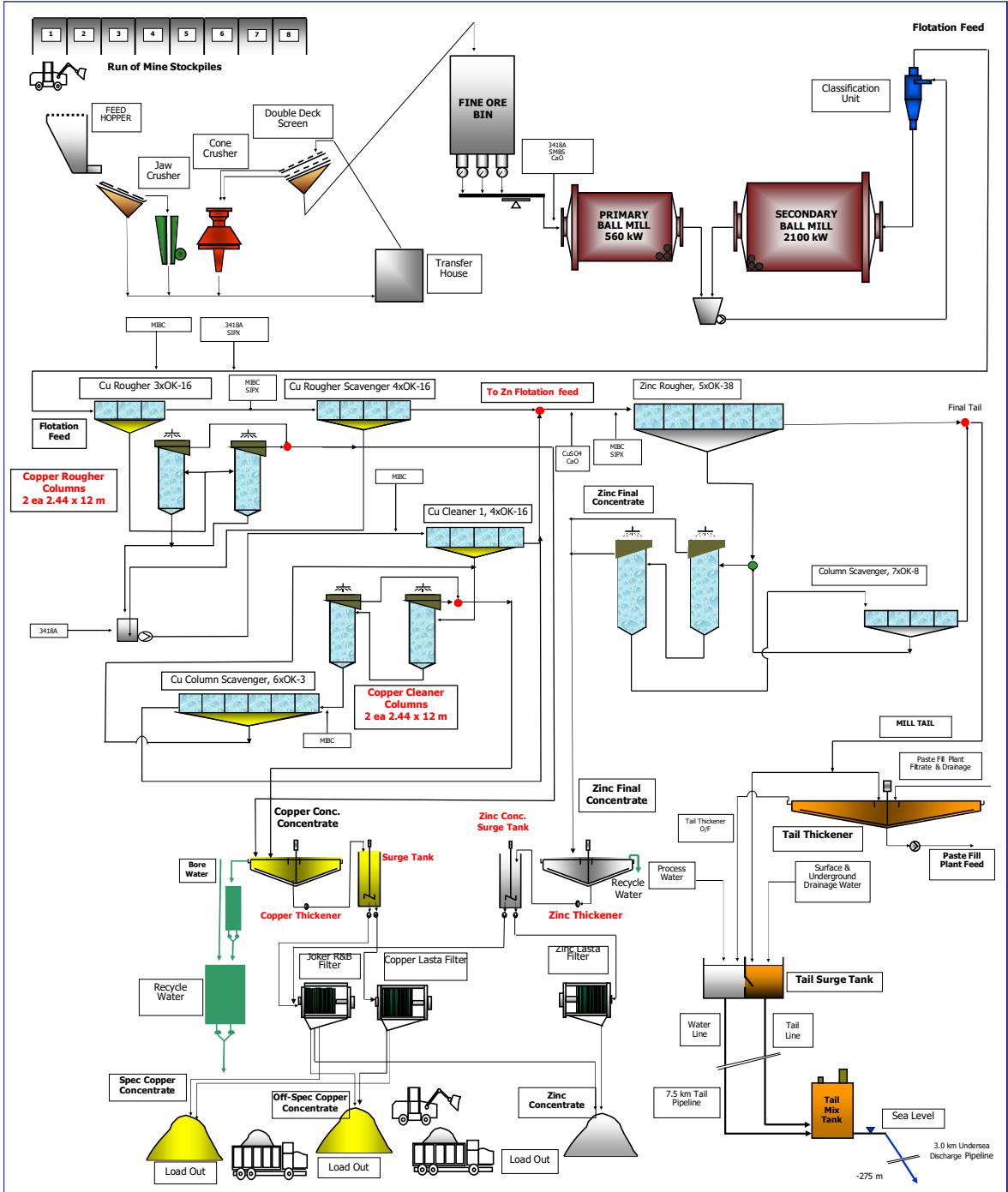
İşletme, bakır ve çinko mineralleri konsantresi üretmektedir. 2019 yılında gerçekleşen üretim verilerine göre ortalama besleme değerleri bakır %2,07 ve çinko %1,51 şeklinde gerçekleşmiştir. Bu besleme oranlarının sonucunda ortalama %19'luk bakır konsantresi %88,1 verimle ve %45,3'lük çinko konsantresi %37,9 verim ile üretilmiştir. Son beş yıllık verilere bakıldığında ise işletmenin ortalama verim değerleri %86,5 bakır ve % 39,9 çinko şeklinde gerçekleşmiştir.

Yer altında gelen tüvenan cevher önce hangarlarda cevher yapısına göre sınıflandırılır. Daha sonra üretim stratejisine göre sınıflandırılan bu cevher boyut küçültmek için kırıcı tesisine gönderilir. İki kademe kırma ve eleme işlemine maruz kalan cevher istenilen tane boyuna ulaştığında değirmenlere gönderilir. Eleme

işlemi için çift katlı elek kullanılmaktadır. Üst elek göz açıklığı 35mm ve alt elek açıklığı 18mm'dir.

Öğütme aşamasında iki farklı değirmen kullanılmaktadır. Bunlar 560 kW kurulum gücüne sahip birincil bilyalı değirmen ve 2100 kW kurulum gücüne sahip ikincil bilyalı değirmendir. Tane boyu sınıflandırılması için hidrosiklon kullanılmaktadır. Tesisin flotasyon beslemesi için tane boyu %70'i 36 µm (mikrometre) olarak hedeflenmiştir. Aynı zamanda flotasyon aşaması için kullanılan toplayıcılar, bastırıcılar ve pH düzenleyiciler opsiyonel olarak öğütme aşamasında da verilmektedir.

Şekil 2.17'de ki akım şemasından da takip edilebileceği üzere hedef tane boyuna indirgenen cevher bakır kaba flotasyon hücrelerine ve daha sonra bakır süpürme hücrelerine gönderilir. Kaba flotasyonda 16 m³'lük 3 tane, süpürme de ise 16 m³'lük dört tane hücre bulunmaktadır. Bu aşamada flotasyon pH değeri 11,8 olarak ayarlanır ve %33 katı içeriğinde çalışılır. Bakır kaba flotasyon konsantresi, bakır kaba flotasyon kolon hücrelerine gönderilir ve bu hücrelerin konsantreleri ise nihai bakır konsantre olarak adlandırılır. Süpürme devresinin atığı ise çinko kaba flotasyonuna gönderilir. Bakır kaba flotasyon kolon hücrelerinin atığı süpürme devresinin konsantresi ile birleşip bakır temizleme hücrelerine iletilir. Bu aşamada 16 m³'lük dört hücre kullanılmaktadır. Bakır temizleme hücrelerinin konsantreleri ise bakır temizleme kolon hücrelerine gönderilir ve buradan da nihai bakır konsantresi elde edilir. Bakır temizleme hücrelerinin atığı çinko devresine gönderiliken bakır temizleme kolon hücrelerinin atıkları ise 3 m³'lük altı adet süpürme hücrelerine gönderilir. Bu süpürme hücrelerinin konsantresi tekrar bakır temizleme kolon hücrelerine giderken atığı ise çinko devresine gönderilir. Bakır devresinde dört adet kolon hücresi bulunmaktadır. Kolon hücreleri 12 m yüksekliğe, 2,44 m çapa sahiptirler.



Şekil 2.17 Çayeli Bakır İşletmeleri cevher zenginleştirme akım şeması.

3. Malzeme ve Deneysel Yöntem

Deneysel çalışmalar Çayeli Bakır İşletmeleri laboratuvarlarında yapılmıştır. Deney sonuçları ise yine işletmenin akredite kimyasal analiz laboratuvarında sonuçlandırılmıştır. Flotasyon testleri, üretimde kullanılan iki farklı kampanya ile yapılmıştır. Bu kampanyalar sarı ve bornitli klastik kampanyadır. Sarı kampanya içinde kampanyanın da adını aldığı, ağırlıklı olarak kalkopirit, pirit içeren sarı cevher ve işletmede LGO olarak adlandırılan düşük bakır, çinko içeriğine sahip cevherden oluşmaktadır. Bornitli klastik kampanya ise kampanyanın adını aldığı bornit, kalkopirit, pirit ve eser miktarda ikincil bakır mineralleri içeren bornitli klastik cevheri, ağırlıklı olarak sfalerit içeren siyah cevher ve LGO olarak adlandırılan düşük bakır, çinko içeriğine sahip cevherden oluşmaktadır.

Deneyler kullanılan iki farklı kampanya için flotasyon besleme tane boyları ve test koşulları tesis çalışma koşullarının aynısıdır. Bu koşullar standart koşul olarak kabul edilmiş ve karşılaştırmalı deneyler bu koşullar sabit tutularak değerlendirilmiştir.

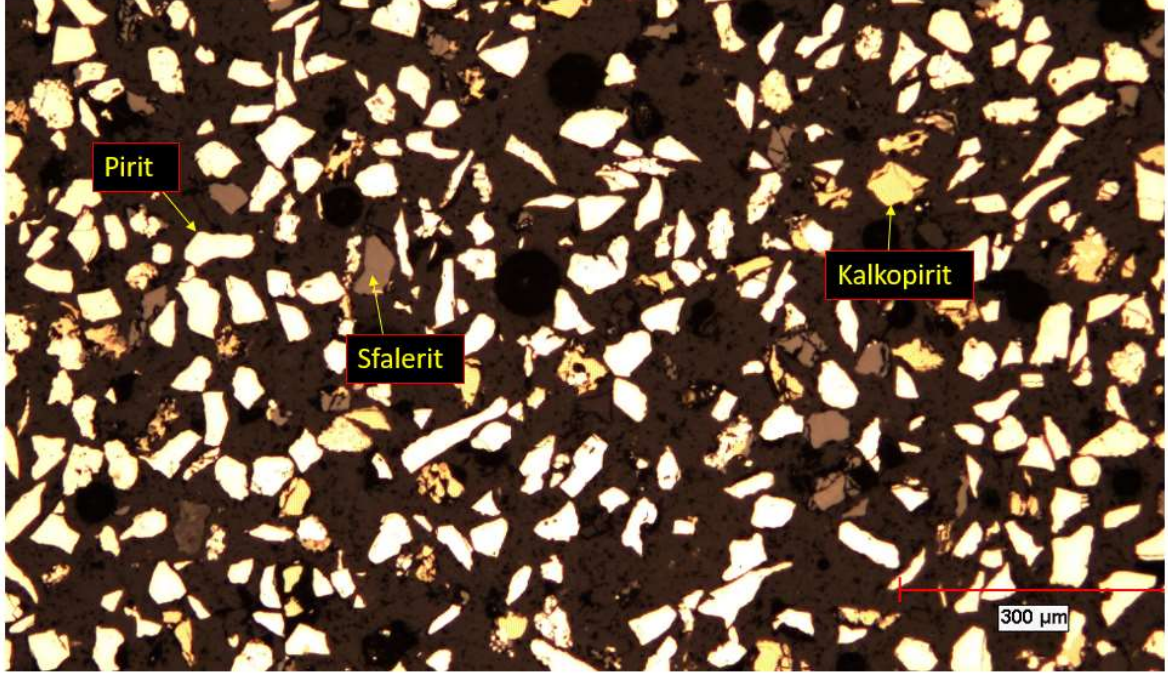
3.1. Sarı Kampanya Cevheri

İşletmede üretimin yaklaşık %25 ini oluşturan bu kampanyanın konsantre bakır değeri yaklaşık %22,5 bakır ve %4 çinkodur, verim değeri ise %90'lar civarındadır. 2017 de yapılan yarı nicel tüm kaya mineral analizi (XRD) raporuna göre cevherin genel mineral dağılımı Çizelge 3.1'deki gibidir. Bu numune direk sarı cevheri yansıtmaktadır. Tesis beslemesinde kullanılan sarı kampanya gibi düşünülmemelidir.

Çizelge 3.1 Sarı cevher yarı nicel tüm kaya mineral analizi.

Mineral Adı	Mineral Formülü	Miktar (ağ%)
Sfalerit	$Zn_{0,825}Fe_{0,175}S$	2
Pirit	FeS_2	19
Kalkopirit	$CuFeS_2$	21
Kuvars	SiO_2	34
Dolomit	$CaMg(CO_3)$	9
Siderit	$Fe(CO_3)$	5
Toplam kil ve mika	$Kal_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	11

Şekil 3.1'de ise sarı kampanyadan alınan bir numunenin mikroskop altındaki görüntüsü verilmektedir. Burada sarı renkler kalkopiriti, açık sarı renkler piriti ve gri renkler ise sfaleriti temsil etmektedir.



Şekil 3.1 Sarı kampanya cevheri mikroskop görüntüsü.

3.1.1. Sarı Kampanya Cevheri Boyut Dağılımı

24.07.2019, saat 09.00 tarihinde birincil değirmen beslemesi durdurularak, bant sıyırma yöntemi ile yaklaşık 40 kg numune alınmıştır. Numune alındıktan sonra kurutulmuş ve laboratuvar ölçekli konik kırıcıdan geçirilerek -2mm tane boyuna indirilmiştir. Piknometre yöntemi ile cevherin yoğunluğu $3,5 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiştir. Daha sonra testlerin, 2.5 lt'lik flotasyon hücresinde %30-%35 katı yoğunluğunda yapılabilmesi için 1 kg'lık temsili numuneler hazırlanmıştır. Ulaşılmak istenen % katı değeri tesisin kaba flotasyon % katı değeridir. Öğütme süresinin belirlenebilmesi için 1 kg numune %65 katı içeriğinde laboratuvar ölçekli çubuklu değirmende 45 dakika öğütülmüştür. Sürenin belirlenmesinde tesiste daha önce sarı kampanya için yapılan flotasyon testlerinden yararlanılmıştır. Öğütücü ortam testler boyunca 10 kg da sabit tutulmuştur. Öğütme sonrası tane boyu dağılımı belirlenmiş ve işletmede kullanılan flotasyon beslemesi tane boyu olan $P_{70} 36 \mu\text{m}$ değeri baz alınarak testler için öğütme süresi 45 dakika olacak şekilde yapılmıştır.

Çizelge 3.2 Sarı kampanya cevheri 45 dakika öğütme elek analizi.

Tane Boyu(μm)	Küm. % Elek Altı
125	100,00
106	99,77
75	97,22
53	79,93
36	71,09
20	38,61

3.1.2. Sarı Kampanya Cevheri İlgili Metal İçerikleri

Alınan numune temsili bir şekilde bölünerek 1 kg'lık numuneler hazırlanmıştır ve numunelerin bir tanesi kimyasal analiz için laboratuvara gönderilmiştir. Besleme kimyasal analizi Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Sarı kampanya cevheri ilgili metal içerikleri.

Metal	Cu	Zn	Pb	Fe
%	3,25	0,64	0,06	23,6

3.1.3. Sarı Kampanya Cevheri ile Yapılan Flotasyon Testleri

Çalışma kapsamında altı farklı toplayıcının aynı koşullarda sarı kampanya üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu toplayıcıların türleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan toplayıcıların türleri.

Toplayıcı İsmi	Türleri
Aerofin 3418A	Ditiyofosfinat
Aero 5100	Tiyonokarbamat
Aero 3894	Tiyonokarbamat
Aerofloat 208	Ditiyofosfat
D19J	Ditiyofosfat
DLQ 468	Ditiyofosfat

Deneyler laboratuvar ölçekli flotasyon makinasında, 2,5 litrelik hacimde ve 1250 rpm de yapılmıştır. Köpük sıyırma işlemi her testte standart olarak on beş saniyede bir olacak şekilde alınmıştır. Deneylerde toplayıcı türü hariç diğer bütün koşullar sabit tutulmuştur. Çalışmada kaba flotasyon kinetik testleri yapılmış olup, toplamda 5 konsantre alınmıştır, bu konsantreler, C1, C2, C3, C4, C5 olarak isimlendirilmiş ve birinci derece kinetik model kullanılarak sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Cevher, öğütme esnasında tesis koşullarındaki gibi kireç, toplayıcı ve bastırıcı değirmene eklendikten sonra 45 dakika öğütülmüştür ve daha sonra flotasyon hücrelerine aktarılmıştır. Değirmen çıkış pH değeri kontrol edilip gerekli yerlerde %10'luk kireç çözeltisi ile pH 11,65 – 11,70 arasında tutulmuştur. pH değeri sabitlendikten sonra hücreye köpürtücü eklenip flotasyon işlemine başlanılmıştır. Testlerde su veriminin hesaplanabilmesi için deney sırasında beş ayrı piset kullanılmış ve deney sonunda tartım işlemleri yapılmıştır. Alınan tüm konsantreler ve atık filtrenip, kurutulup tartımları alındıktan sonra kimyasal analize gönderilmiştir.

Çizelge 3.5 Sarı kampanya cevheri flotasyon test koşulları.

	Miktar	Tür
Bastırıcı	200 g/t	Sodyum Metabisülfid
pH	11,65-11,70	CaO
Hız (devir/dakika)	1250	-
Besleme Miktarı (g)	1000	Sarı Kampanya
P ₇₀ (µm)	36	-

Sarı kampanya çalışması kapsamında üç farklı test grubu mevcuttur. Bunlar; baz koşul testleri, Aerofloat 208 dozaj testleri ve Aerofin 3418A ile Aerofloat 208 karşılaştırma testleridir.

Baz koşul testlerinde altı farklı toplayıcı Çizelge 3.5'teki koşullar ve tesis kaba flotasyon aşamasında eklenen 18 g/ton/tenör toplayıcı dozajı ile test edilip birbirleri ile karşılaştırılmıştır. İkinci grupta ise Aerofloat 208, 9-18-22 g/ton/tenör toplayıcı dozajlarında ve son olarak Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A 9 g/ton/tenör koşulunda karşılaştırılmıştır.

Deneylerde toplatıcının g/ton/tenör cinsinden verilmesinin nedeni tesisteki proses kontrol sistemi ile benzerlik yakalayabilmek amaçlıdır.

3.2. Bornitli Klastik Kampanya Cevheri

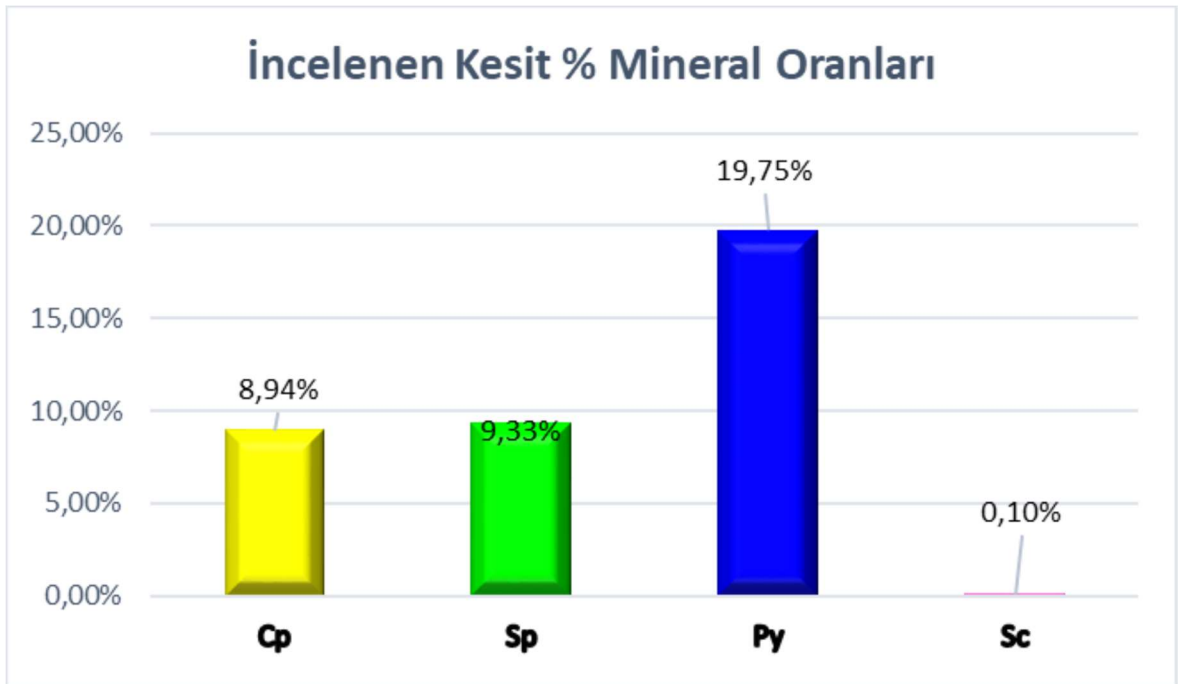
İşletmede üretimin yaklaşık %35 ini oluşturan bu kampanyanın konsantre bakır değeri yaklaşık %18,5 bakır ve %10 çinkodur, verim değeri ise %85'ler civarındadır.

2017'de yapılan yarı nicel tüm kaya mineral analizi raporuna göre (XRD) cevherin genel mineral dağılımı Çizelge 3.6'daki gibidir. Bu numune direk bornitli klastik

cevherini yansıtmaktadır. Tesis beslemesinde kullanılan bornitli klastik kampanya gibi düşünülmemelidir.

Çizelge 3.6 Bornitli klastik cevheri yarı nicel tüm kaya mineral analizi.

Mineral Adı	Mineral Formülü	Miktar (ağ%)
Sfalerit	$Zn_{0,825}Fe_{0,175}S$	24
Pirit	FeS_2	53
Kalkopirit	$CuFeS_2$	7
Galena	PbS	2
Barit	$BaSO_4$	4
Dolomit	$CaMg(CO_3)$	4
Toplam kil ve mika	$Kal_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$	7



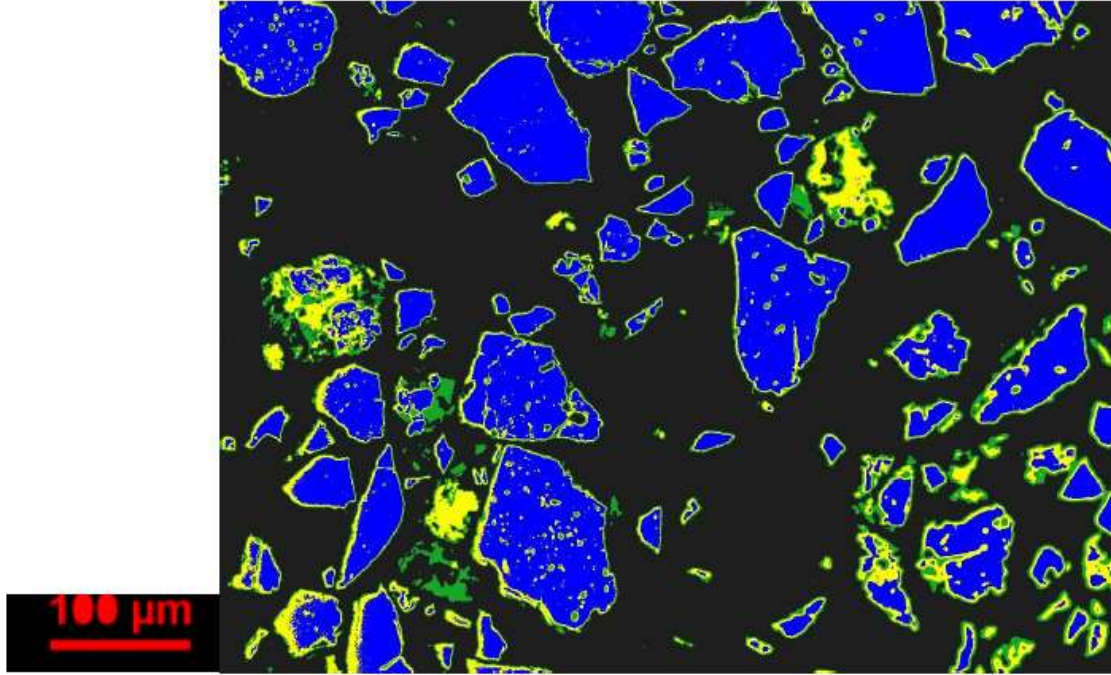
Şekil 3.2 Bornitli klastik kampanya cevheri incelenen kesitteki mineral oranları.

Şekil 3.2’de Cp: Kalkopiriti, Sp: Sfaleriti, Py: Piriti, Sc: İkincil bakır minerallerini, Bn: Bornit mineralini ifade etmektedir.

Şekil 3.3’de, Şekil 3.2’de mineral oranları verilen bornitli klastik kampanya cevherinin mikroskop altındaki görüntüsü verilmektedir. Bu görüntü ince kesitin sadece küçük bir bölümünden alınan kareye aittir. Sarı renkler kalkopiriti, yeşil

renkler sfaleriti, mavi renkleri piriti ve neredeyse gözle görülmeyecek kadar az olan pembe renkleri borniti ifade etmektedir.

- Cp: Serbest halde, hem Py hem de Sp ile bağılı halde görülmüştür.
- Sc: Hem serbest hem de bağılı tanecikler şeklinde gözlemlenmiştir.
- Bn: Bağılı tanecikler şeklinde gözlemlenmiştir.



Şekil 3.3 Bornitli klastik kampanya cevheri renklendirilmiş mikroskop görüntüsü.

3.2.1. Bornitli Klastik Kampanya Cevheri Boyut Dağılımı

27.04.2020, saat 08.30 tarihinde birincil değirmen beslemesi durdurularak, bant sıyırma yöntemi ile yaklaşık 50 kg numune alınmıştır. Numune alındıktan sonra kurutulup ve laboratuvar ölçekli konik kırıcıdan geçirilerek -2mm tane boyuna indirilmiştir. Piknometre yöntemi ile cevherin yoğunluğu 3,5 g/cm³ olarak belirlenmiştir. Daha sonra testlerin, 2.5 lt'lik flotasyon hücresinde %30-%35 katı yoğunluğunda yapılabilmesi için 1 kg'lık numuneler hazırlanmıştır. Ulaşılmak istenen % katı değeri tesisin kaba flotasyon % katı değeridir. Öğütme süresinin belirlenebilmesi için 1 kg'lık numuneler %65 katı içeriğinde laboratuvar ölçekli çubuklu değirmende 60 dakika öğütülmüştür. Sürenin belirlenmesinde tesiste daha önce bornitli klastik kampanya için yapılan flotasyon testlerinden yararlanılmıştır. Öğütücü ortam testler boyunca 10 kg da sabit tutulmuştur. Öğütme sonrası tane

boyu dağılımı belirlenmiş ve işletmede kullanılan P₇₀ 36 µm değerine göre öğütme süresi 60 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır.

Çizelge 3.7 Bornitli klastik kampanya cevheri 60 dakika öğütme elek analizi.

Tane Boyu(µm)	Küm. Elek Altı
125	100,0
106	99,5
75	97,8
53	83,1
36	70,9
20	45,2

3.2.2. Bornitli Klastik Kampanya Cevheri İlgili Metal İçerikleri

Alınan numune temsili bir şekilde bölünerek bin gramlık numuneler hazırlanmıştır ve numunelerin bir tanesi kimyasal analiz için laboratuvara gönderilmiştir. Besleme kimyasal analizi Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8 Bornitli klastik kampanya cevheri ilgili metal içerikleri.

Metal	Cu	Zn	Fe	Pb
%	2,68	2	24,13	0,17

3.2.3. Bornitli Klastik Kampanya Cevheri ile Yapılan Flotasyon Testleri

Bornitli klastik kampanyada testler üç farklı toplayıcı ile çalışılmıştır. Bu toplayıcılar Aerofin 3418A, Aerofloat 208 ve Sodyum izopropil ksantat (SIPX) tir. Toplayıcı türü ve karışım oranı haricindeki tüm parametreler testlerde sabit tutulmuştur. Bu çalışmada yapılan testler iki tekrarlı olacak şekilde yapılmıştır. Kullanılan toplayıcı ve kullanım oranları aşağıdaki gibidir;

- %100 Aerofin 3418A
- %100 Aerofloat208
- %100 SIPX
- %75 Aerofloat208 + %25 SIPX
- %50 Aerofloat208 + %50 SIPX
- %75 Aerofloat208 + %25 Aerofin 3418A
- %50 Aerofloat208 + %50 Aerofin 3418A

Deneyler laboratuvar ölçekli flotasyon makinasında, 2,5 litrelik hacimde ve 1250 rpm de yapılmıştır. Köpük sıyırma işlemi her testte standart olarak on beş saniyede bir olacak şekilde alınmıştır. Kaba flotasyon kinetik testleri ile ilerleyen çalışmada bu kampanya için C1, C2, C3, C4 konsantreleri alınıp birinci derece kinetik model kullanılarak sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Cevher, öğütme esnasında tesis koşullarındaki gibi kireç, toplayıcı ve bastırıcı eklendikten sonra 60 dakika öğütülmüştür ve daha sonra flotasyon hücresine aktarılmıştır. Değirmen çıkış pH değeri kontrol edilip gerekli yerlerde %10'luk kireç çözeltisi ile pH 11,7 – 11,75 arasında tutulmuştur. pH değeri sabitlendikten sonra hücreye köpürtücü eklenip flotasyon işlemine başlanılmıştır. Testlerde su veriminin hesaplanabilmesi için deney sırasında dört ayrı piset kullanılmış ve deney sonunda tartım işlemleri yapılmıştır. Alınan tüm konsantreler ve atık filtrenip kurutulup tartıldıktan sonra kimyasal analize gönderilmiştir.

Çizelge 3.9 Bornitli klastik kampanya flotasyon test koşulları.

	Miktar	Tür
Bastırıcı	500 g/t	Sodyum Metabisülfid
pH	11,70-11,75	CaO
Hız (devir/dakika)	1250	-
Besleme Miktarı (g)	1000	Bornitli Klastik Kampanya
P ₇₀ (µm)	36	-

Toplayıcıların kendileri ve belirli oranlardaki birliktelikleri tesis kaba flotasyon dozajı olan 18 g/ton/tenör değerinde sabit tutulup Çizelge 3.9'da verilen sabit koşullar altında test edilmiştir.

3.3. Tesis Ölçekli Çalışma

Laboratuvar testlerine ek olarak tesis ölçekli performans izleme çalışması yapılmıştır. Çalışma bornitli klastik kampanya ile yapılmıştır ve sonuçlar Minitab isimli bir istatistik programı yardımı ile değerlendirilmiştir.

4. Flotasyon Testlerinin Sonuçları

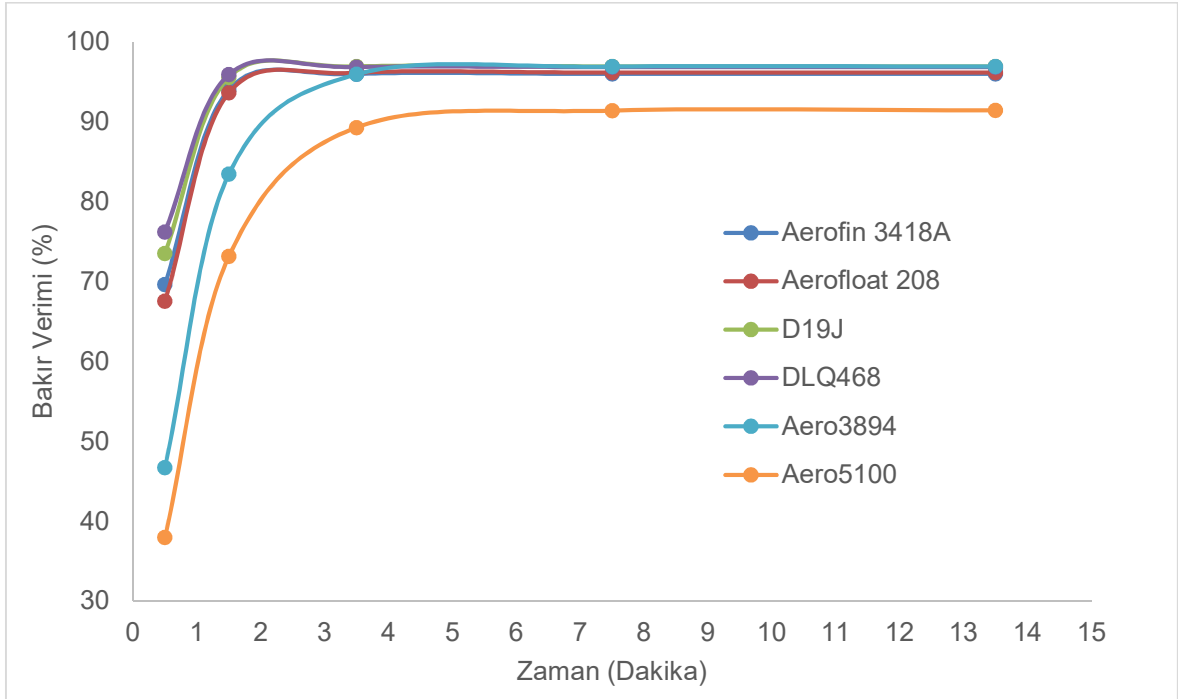
4.1. Sarı Kampanya Cevheri Flotasyon Testleri

4.1.1. Baz Koşul Testleri

Sarı kampanya kullanılarak altı farklı toplayıcı ile yapılan testlerde, tesis koşulları temel alınmıştır. 18 g/ton/tenör dozajlaması ile yapılan bu testler; zaman - verim, tenör-verim ve su verimi-konsantre ağırlığı grafikleri kullanılarak yorumlanmıştır.

4.1.1.1. Toplayıcıların Verimleri

Baz koşulda yapılan testlerin zamana göre bakır verimlerindeki değişimler Şekil 4.1'de verilmiştir. Eğrilere bakıldığında 3,5 dakikalık flotasyon süresinde Aero 5100 hariç tüm toplayıcıların birbirine yakın bir verim değerine ulaştığı görülmektedir. Toplayıcıların hız sabiti değerleri Çizelge 4.1'de verilmektedir. Bu değerler birinci dereceden kinetik flotasyon modeli ile hesaplanmıştır. Ditiyofosfat türü olan DLQ 468 ve D19J birbirleriyle benzer davranıma, ditiyofosfinat türü olan Aeroфин 3418A ve ditiyofosfat türü olan Aerofloat 208'in de birbirleriyle benzer davranıma sahip oldukları Şekil 4.1'deki eğrilerden anlaşılmaktadır.

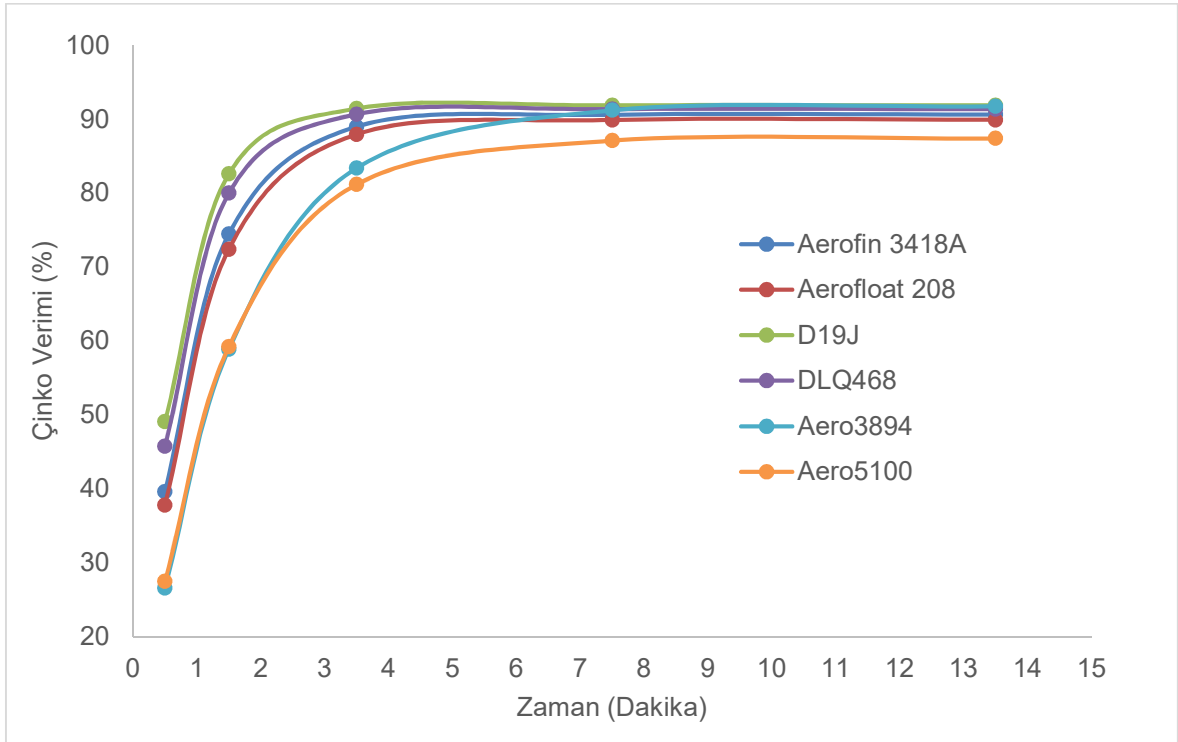


Şekil 4.1 Baz koşul testleri bakır zaman-verim grafiği.

Çizelge 4.1 Baz koşul flotasyon hız sabiti değerleri.

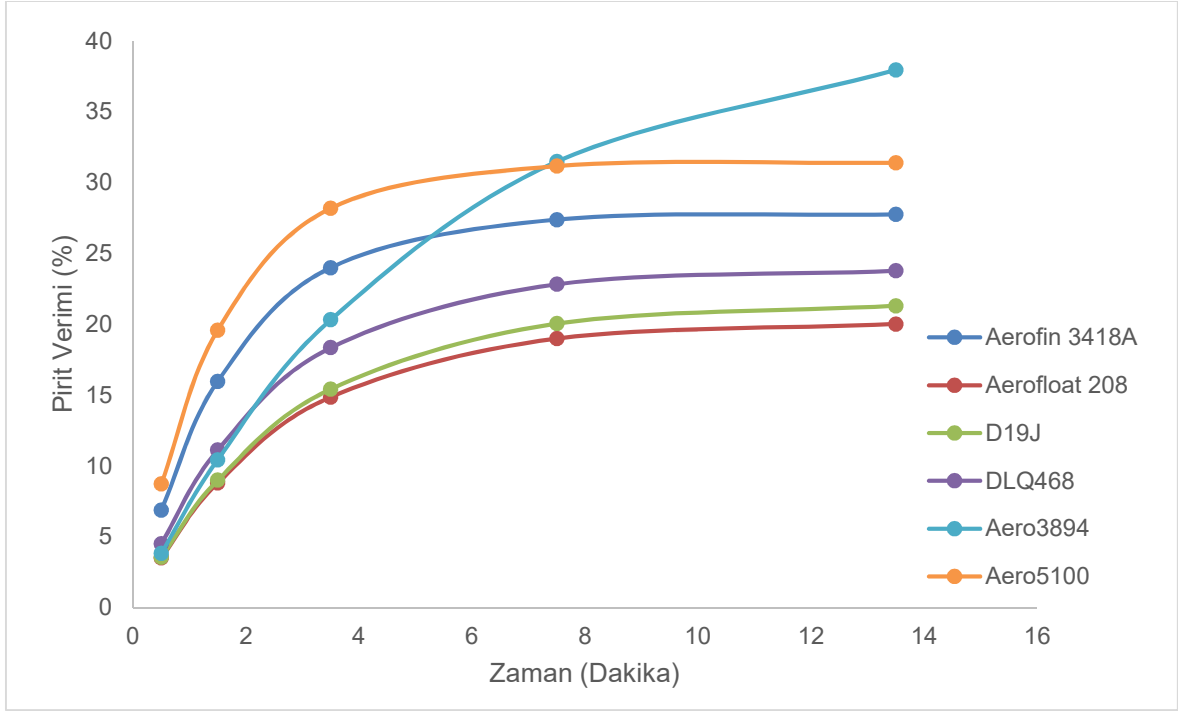
Toplayıcı	Hız Sabiti (K_{cu})
Aerofin 3418A	2,59
Aerofloat 208	2,42
Aero 3894	1,32
Aero 5100	1,07
D19J	2,84
DLQ 468	3,09

Toplayıcıların zamana bağlı olarak çinko veriminde yarattığı değişiklikler Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Bakır konsantresi içindeki çinko verimi değerlendirildiğinde tiyonokarbamat türevi olan Aero 3894 ve Aero 5100 toplayıcılarının diğer toplayıcılara göre belirgin farkı dikkat çekmektedir. Bakır hız sabitleri yüksek olan ditiyofosfat türü D19J ve DLQ 468 toplayıcılarının bakır konsantresi içindeki çinkoyu diğer toplayıcılardan daha fazla çektığı gözlenmektedir.



Şekil 4.2 Baz testleri koşul çinko zaman-verim grafiği.

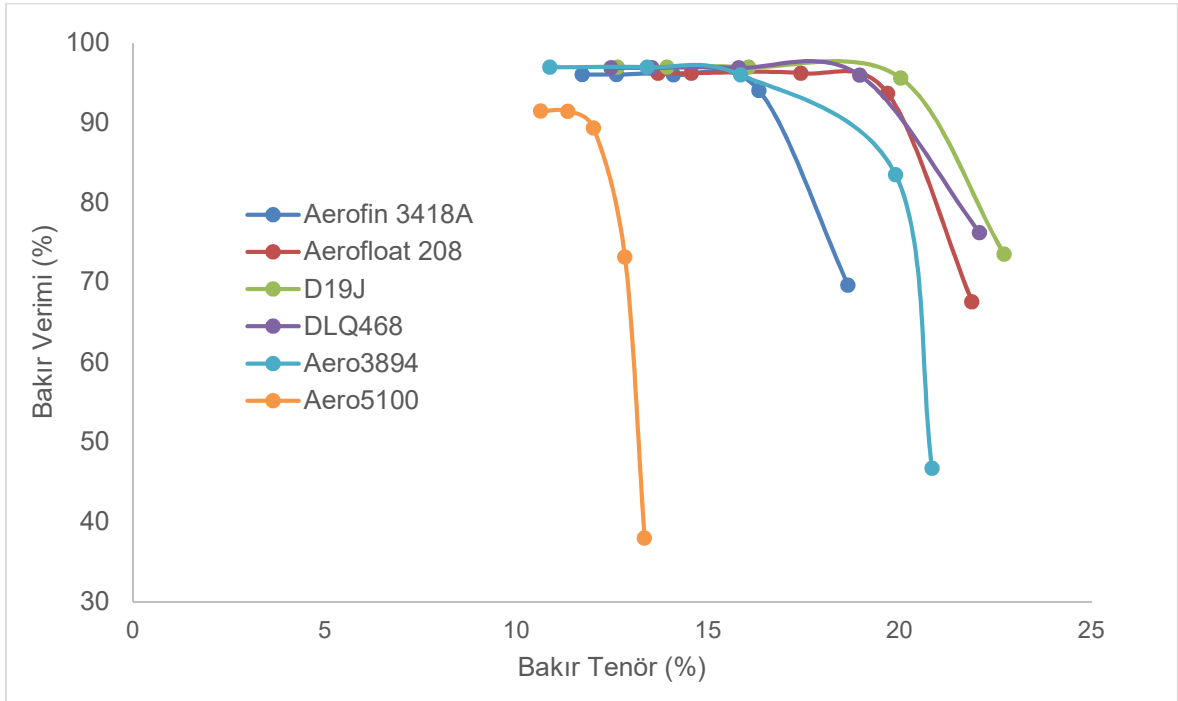
Toplayıcıların bakır konsantre içindeki pirit verimleri şekil 4.3'de verilmektedir. Tiyonokarbamat gruplarında yer alan (Aero 3894, Aero 5100) toplayıcıların pirit karşı seçimlilikleri, ditiyofosfat grubunda yer alan (Aerofloat 208, D19J ve DLQ468) toplayıcılara göre oldukça azdır. Ditiyofosfinat olan Aerofin 3418A diğer toplayıcı gruplarının ortasında yer almaktadır. Özellikle Aerofloat 208 ve D19J toplayıcılarının diğer toplayıcılara göre bakır konsantresine daha az pirit çektiği gözlemlenmiştir. Bu iki toplayıcı için piritte daha seçimli demek mümkündür.



Şekil 4.3 Baz koşul testleri pirit zaman-verim grafiği.

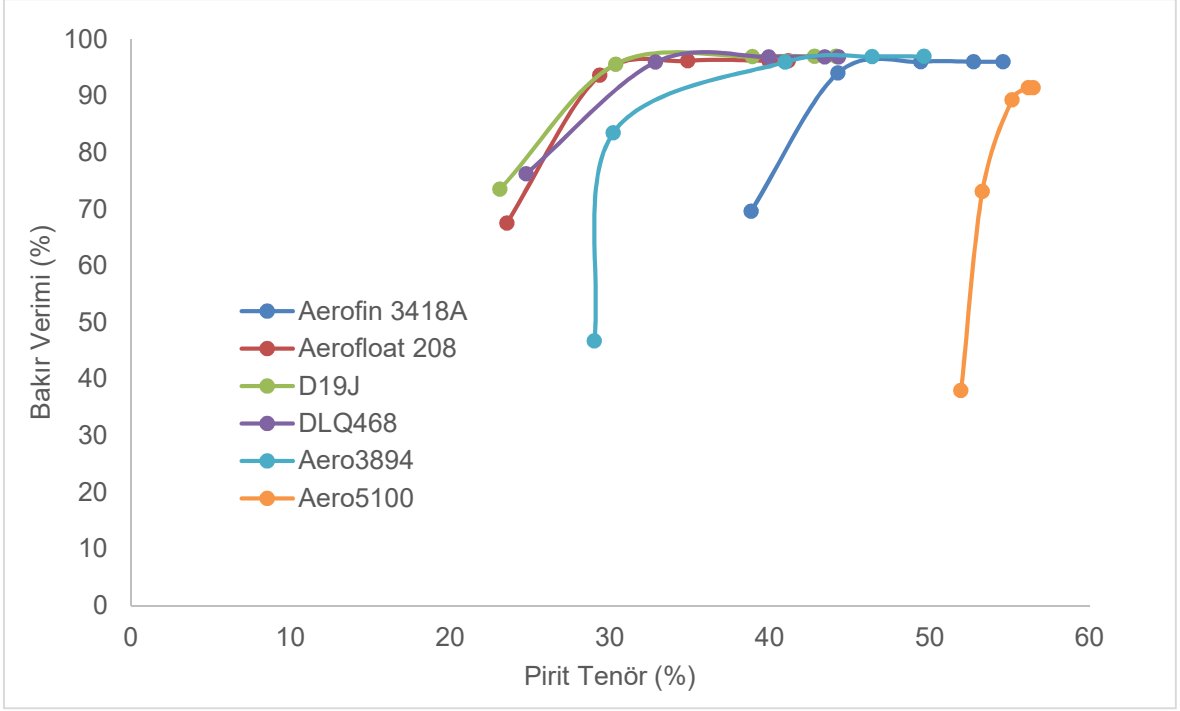
4.1.1.2. Toplayıcıların Seçimlilikleri

Şekil 4.4 toplayıcıların bakıra karşı olan seçimliliklerini ifade etmektedir.



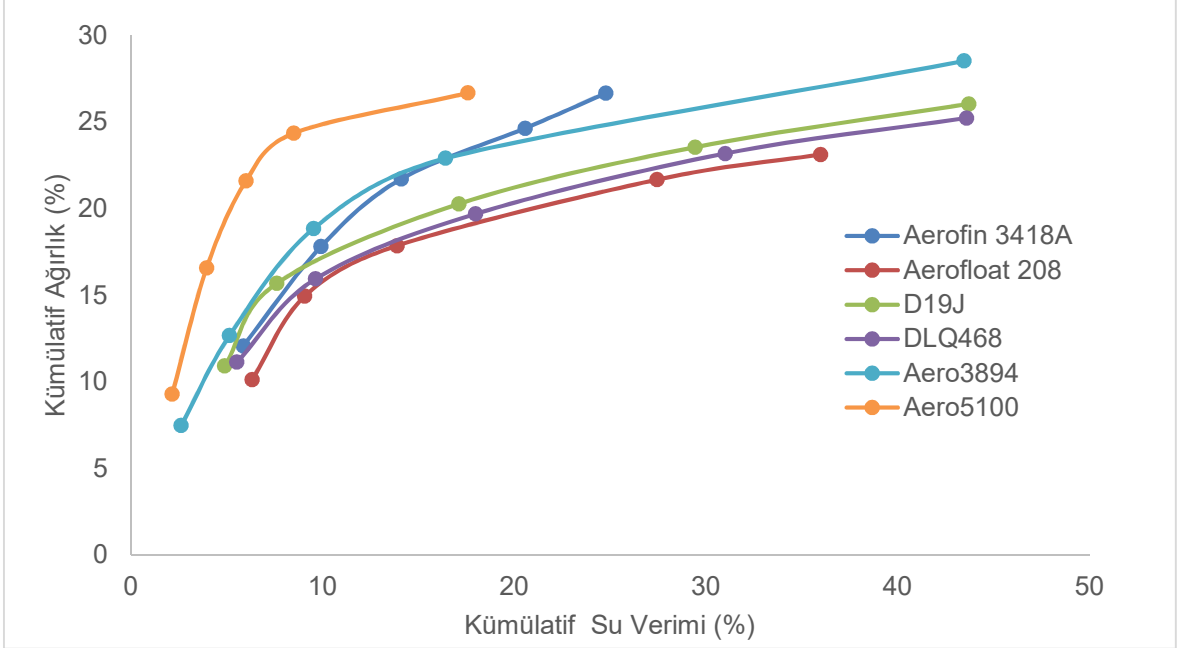
Şekil 4.4 Baz koşul testleri bakır tenör- bakır verim grafiği.

Bakıra karşı seçimlilik grafiği incelendiğinde ditiyofosfat gruplarının (Aerofloat 208, D19J ve DLQ 468) diğer toplayıcı gruplarına göre daha seçimli olduğu görülmektedir. Benzer bir ilişkiyi Şekil 4.5'e bakıp pirit mineraline seçimlilik için söylemek mümkündür. Ditiyofosfat gruplarında yer alan (Aerofloat 208, D19J ve DLQ 468) toplayıcılar pirit minerali için diğer üç toplayıcıdan daha seçimli davranmışlardır.



Şekil 4.5 Baz koşul testleri pirit tenör- bakır verim grafiği.

Konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisine bakıldığında (Şekil 4.6) ditiyofosfat gruplarının (Aerofloat 208, D19J ve DLQ468) eğrileri diğer grupların eğrilerinin altında kalmaktadır yani bu gruplarda konsantreye gelen katı miktarı su verimine göre daha az olmaktadır.



Şekil 4.6 Konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.

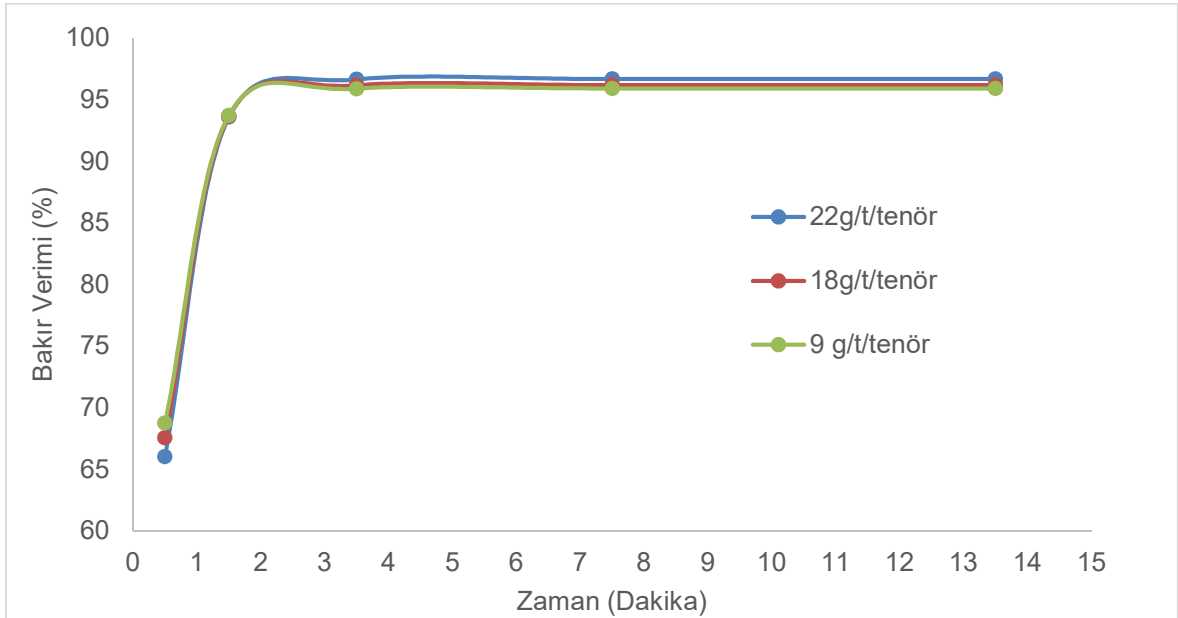
Yapılan deneyler sonucunda Aero grubunda yer alan iki toplayıcının (Aero 5100 ve Aero 3894), bakır konsantreye pirit çekme eğilimlerinin fazla olması, çalışma kapsamından çıkartılmalarına neden olmuştur. DLQ468 ve D19J toplayıcılarının iyi performans göstermesine rağmen birim fiyatlarının Aerofloat 208'den fazla olması ve distribütör firmanın Türkiye'de henüz aktif olarak ürün tedarik etmemesi çalışmanın diğer adımlarında Aerofloat 208 ile devam etme kararını aldırtmıştır.

4.1.2. Aerofloat 208 Dozaj Tarama Testleri

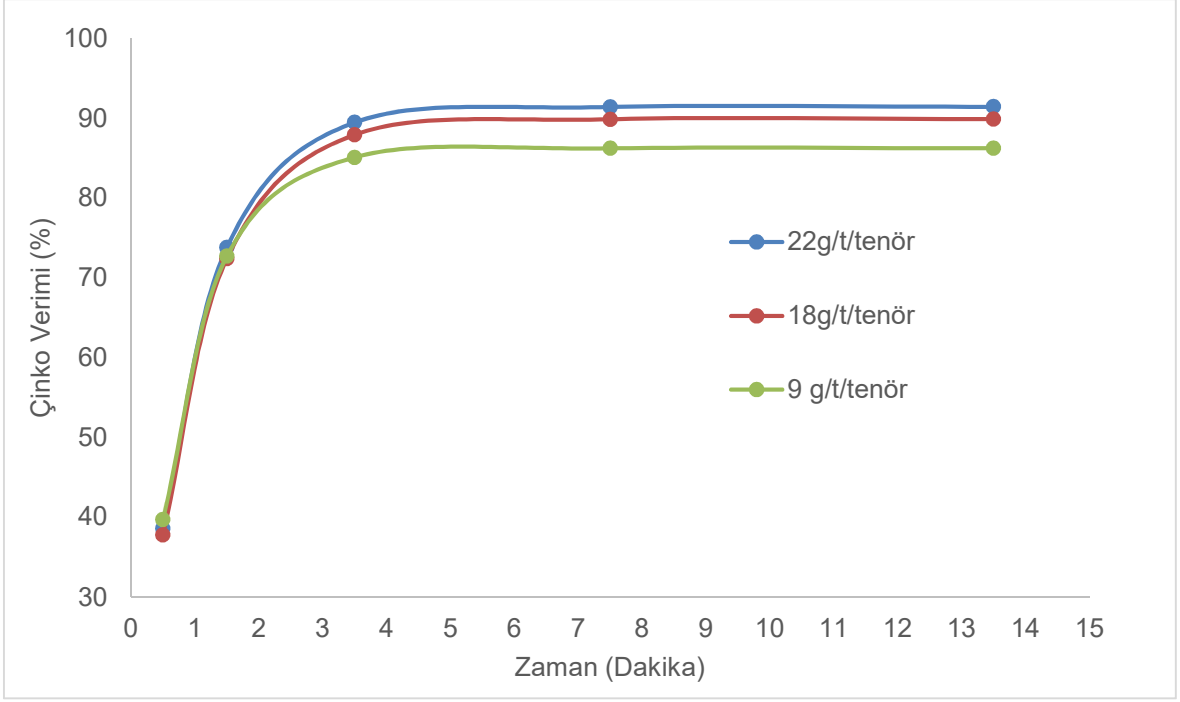
Çalışma kapsamında üç farklı dozaj ile tarama testleri yapılmıştır. Testlerde toplayıcı miktarları değişkenlik gösterirken diğer koşullar Çizelge 5.5'te verildiği gibidir.

4.1.2.1. Verimlerin İncelenmesi

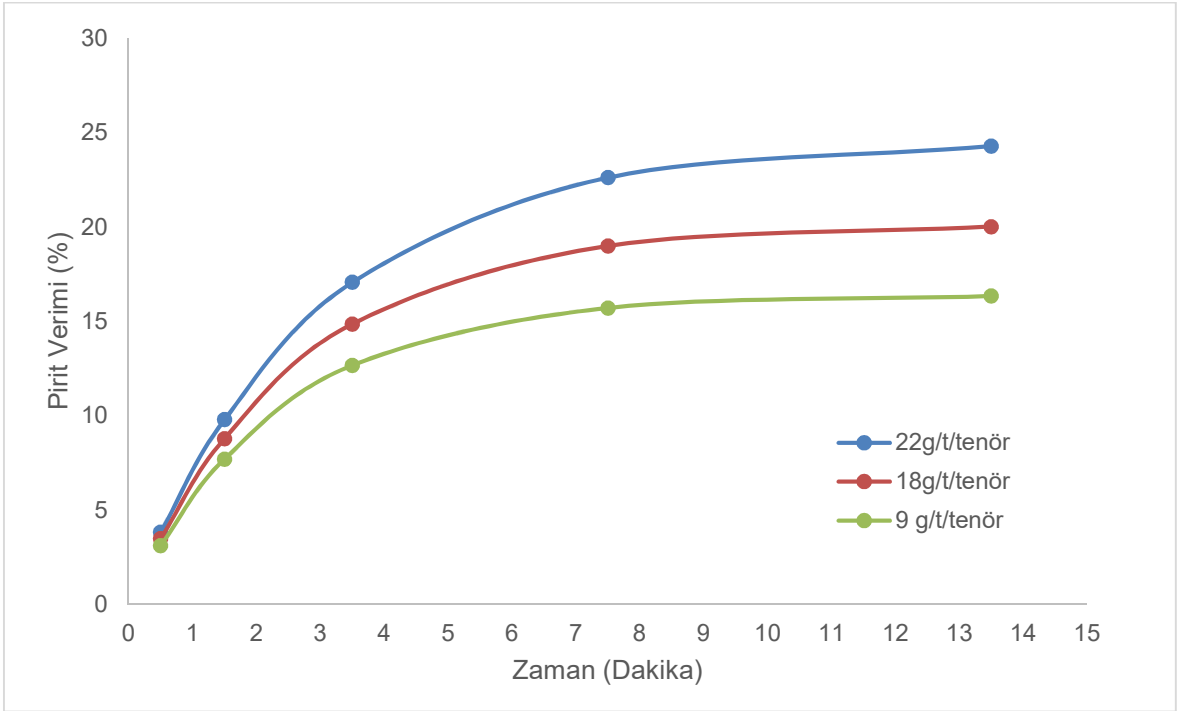
Aerofloat 208 ile yapılan testlerin zamana bağlı bakır verimi grafiği Şekil 4.7'de verilmiştir. Bakır verimlerine bakıldığında bu üç dozaj arasında belirgin bir fark görünmemektedir fakat zamana bağlı çinko verimi ve zamana bağlı pirit verimi grafiği (Şekil 4.8 ve 4.9) incelendiğinde dozaj arttıkça bakır konsantreye gelen çinko ve pirit miktarının da artacağı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.7 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri bakır zaman-verim grafiği.



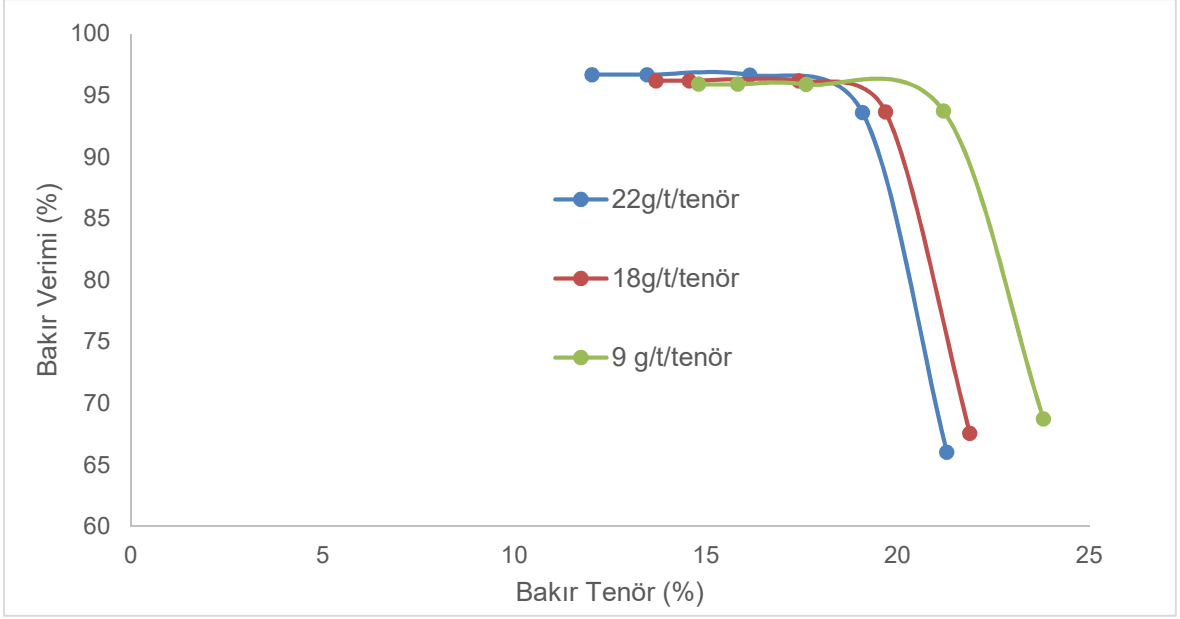
Şekil 4.8 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri çinko zaman-verim grafiği.



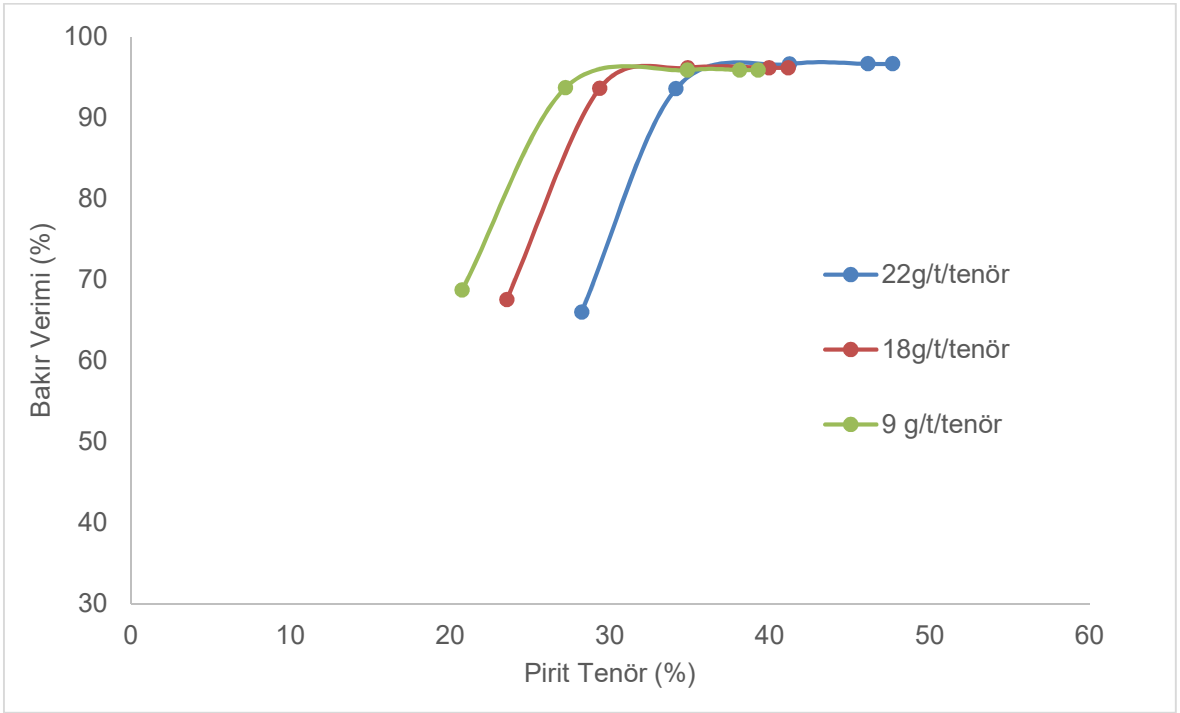
Şekil 4.9 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri çinko zaman-verim grafiği.

4.1.2.2. Seçimliliklerin İncelenmesi

Bakıra ve piritte karşı seçimlilik grafikleri incelendiğinde (Şekil 4.10 ve 4.11) dozaj arttıkça toplayıcının daha az seçimli davrandığı yani bakır tenörünün düştüğü gözlemlenmiştir.

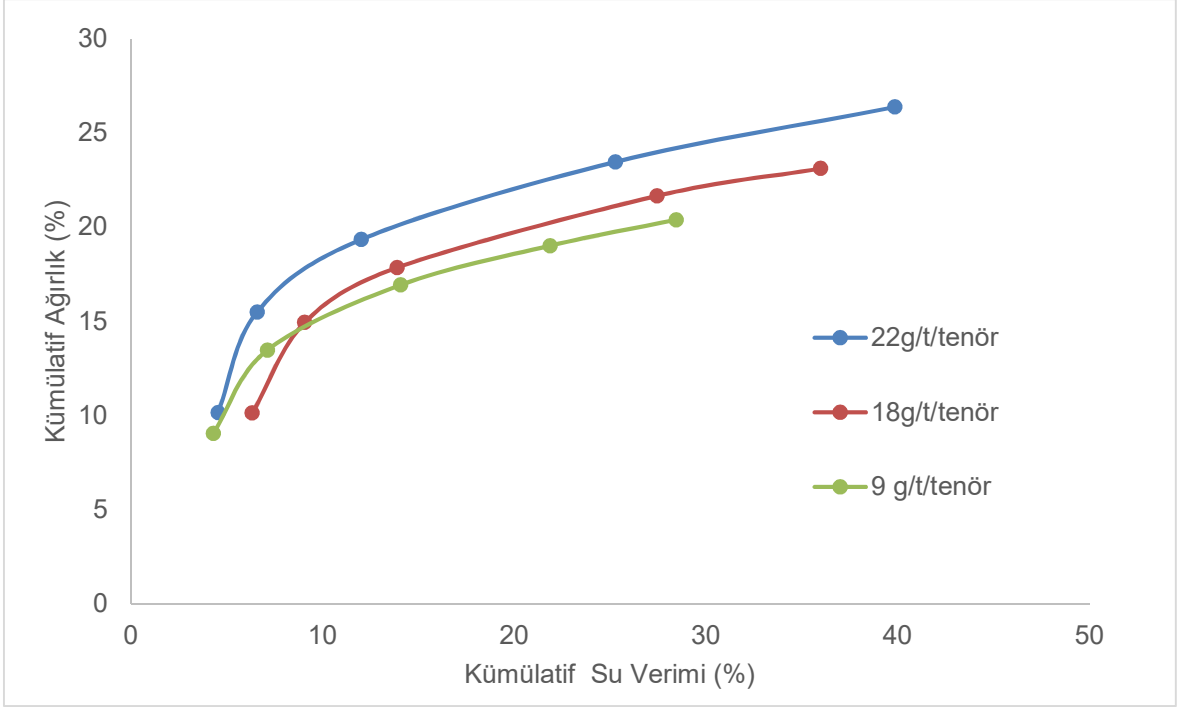


Şekil 4.10 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri bakır tenör- bakır verim grafiği.



Şekil 4.11 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri pirit tenör- bakır verim grafiği.

Konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisine bakıldığında (Şekil 4.12) dozaj arttıkça taşınan katı malzeme miktarı ile birlikte su veriminin arttığı gözlenmektedir bu da malzemenin su ile taşındığının bir göstergesi olarak düşünülebilir yani dozaj arttıkça (entrainment) su ile taşınma da artmaktadır.



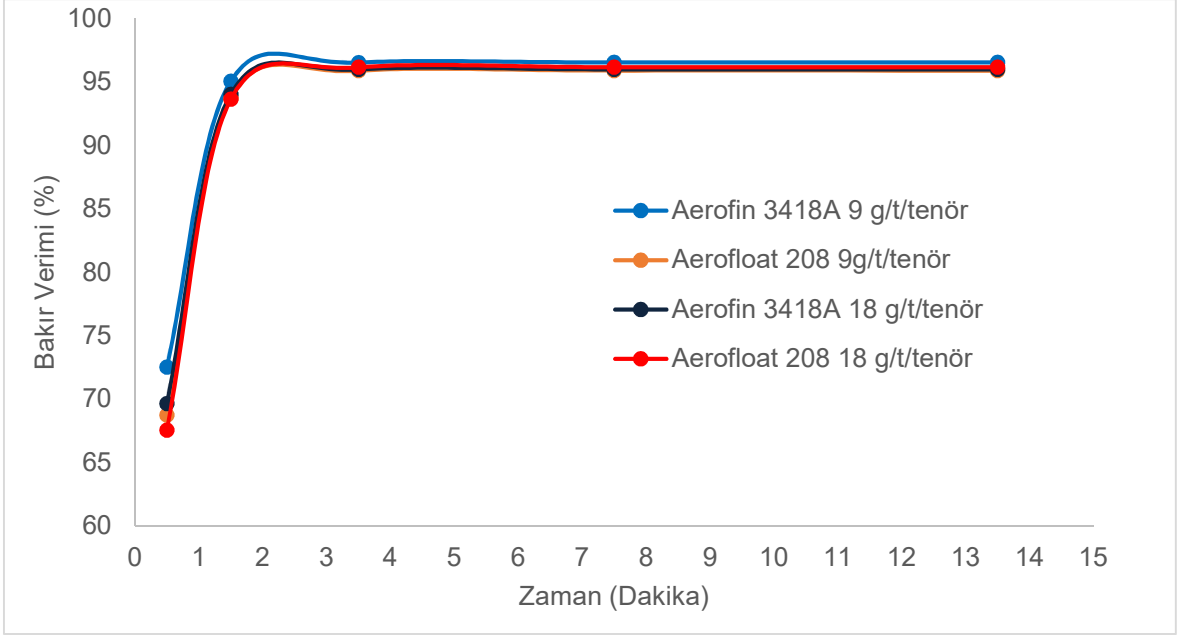
Şekil 4.12 Aerofloat 208 dozaj tarama testleri konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.

4.1.3. Aerofloat 208 ve Aeroфин 3418A Karşılaştırma Testleri

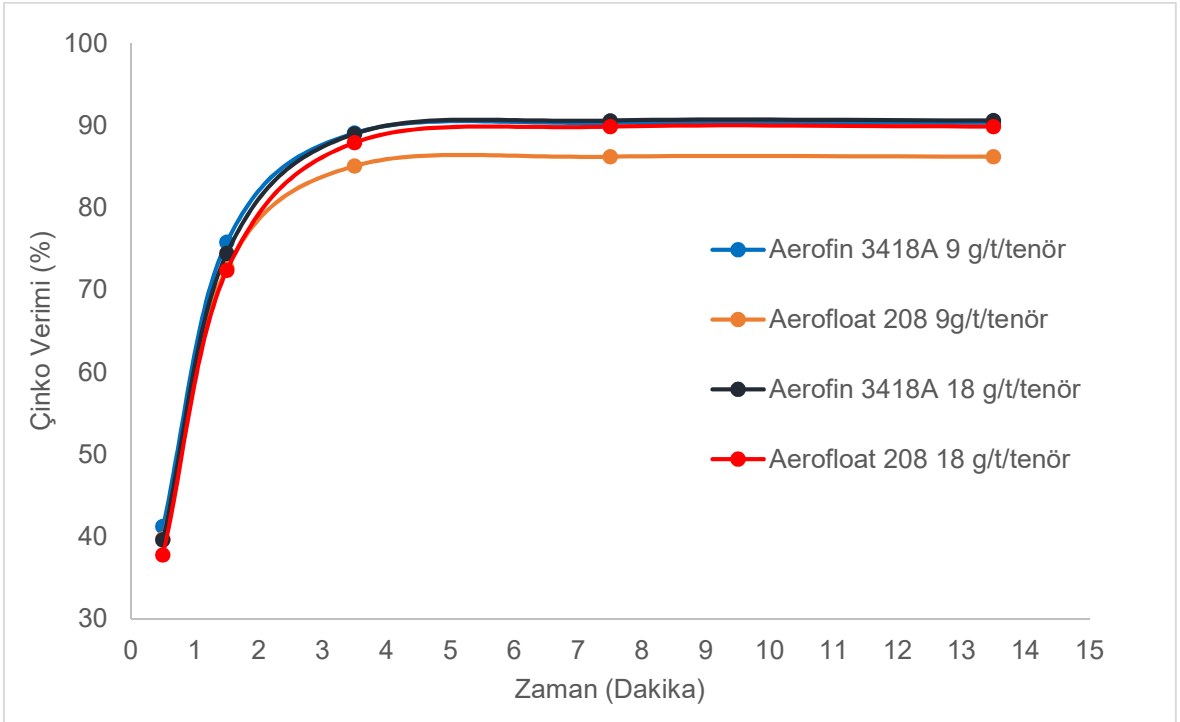
Çalışma kapsamında dört farklı test birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Bu testlerde 18 ve 9 g/ton/tenör Aeroфин 3418A ve Aerofloat 208 verim ve seçimlilik açısından incelenmiştir. Testlerde toplayıcı miktarları değişkenlik gösterirken diğer koşullar Çizelge 3.5'teki gibidir.

4.1.3.1. Verimlerin İncelenmesi

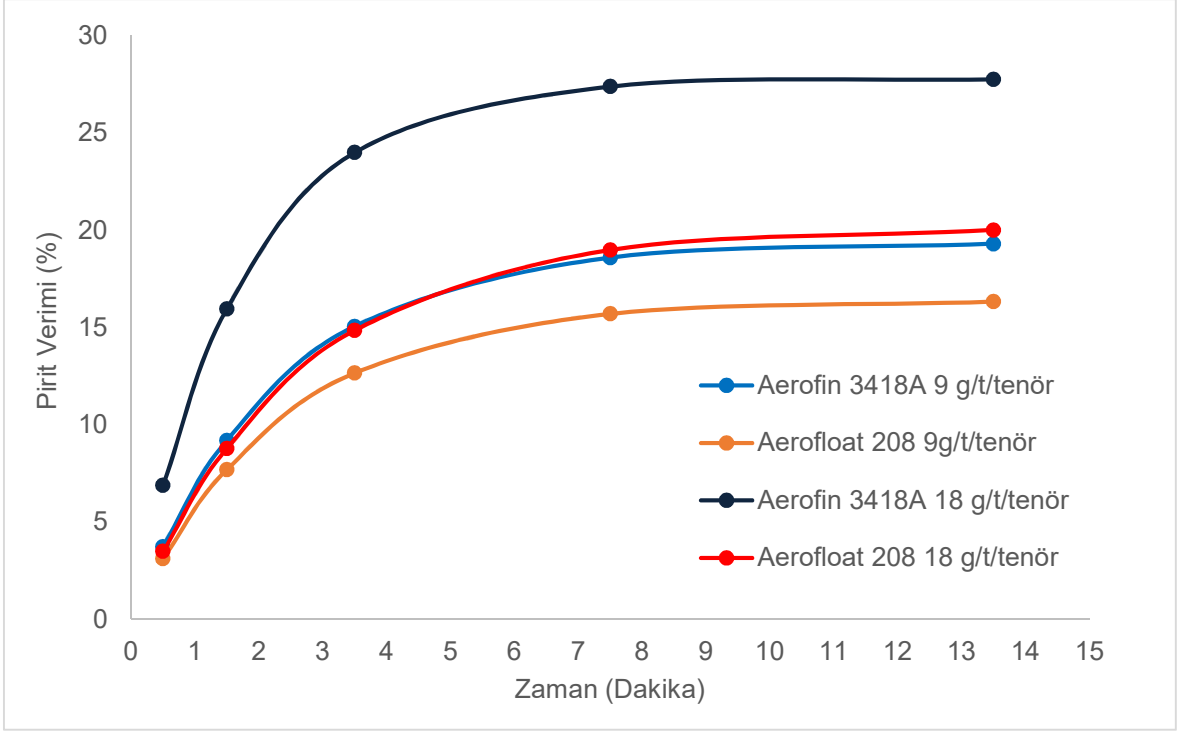
İki toplayıcının iki farklı dozajdaki bakır verimleri incelendiğinde (Şekil 4.13) aralarında belirgin bir fark görünmemektedir. Zamana bağlı çinko verimlerinde (Şekil 4.14) ise 9 g/ton/tenör Aerofloat 208 bakır konsantresine daha az çinko gelmesine sebep olmuştur. Son olarak pirit verimlerine bakıldığında (Şekil 4.15) yine 9 g/ton/tenör Aerofloat 208'in konsantreye daha az pirit çektiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri bakır zaman-verim grafiği.



Şekil 4.14 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri çinko zaman-verim grafiği.

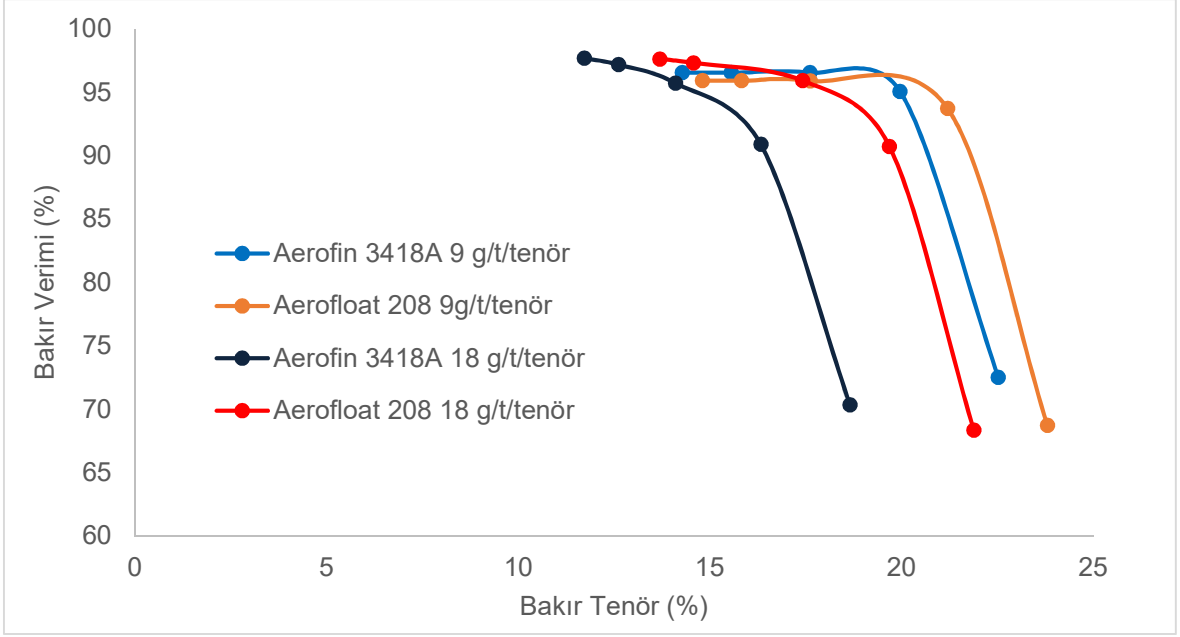


Şekil 4.15 Aerofloat 208 ve Aeroфин 3418A karşılaştırma testleri pirit zaman-verim grafiği.

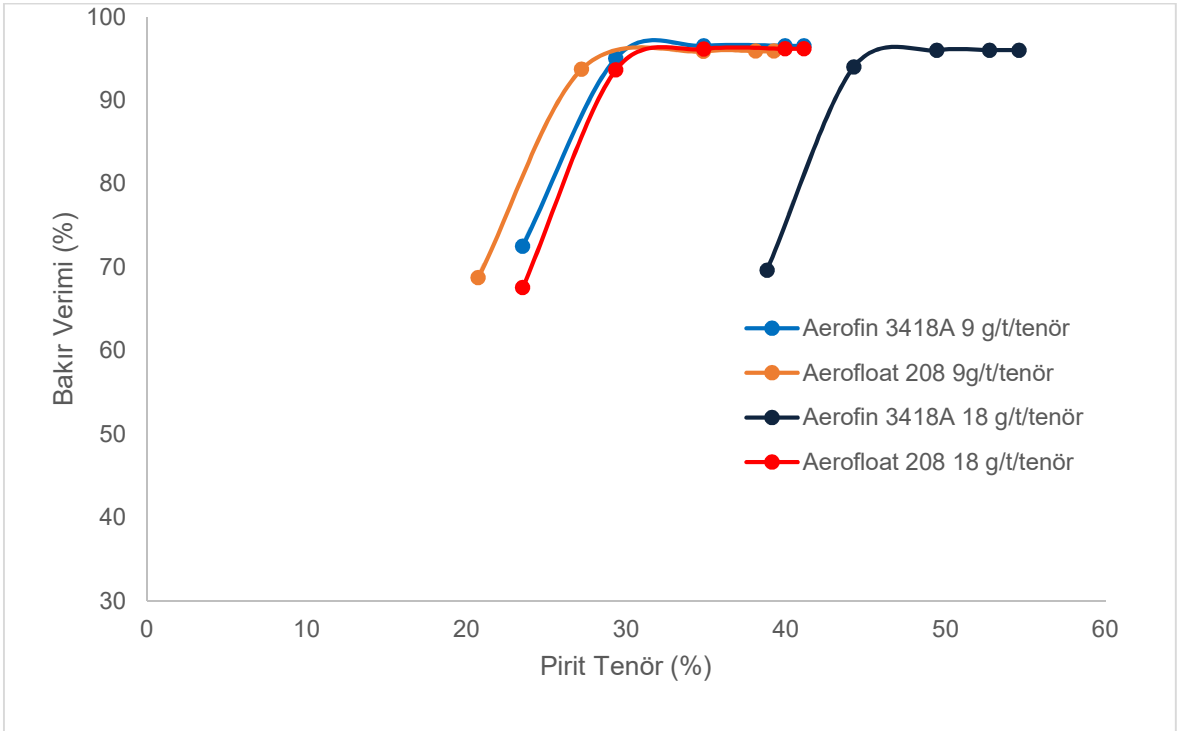
4.1.3.2. Seçimliliklerin İncelenmesi

Bakıra seçimlilik incelendiğinde (Şekil 4.16) Aerofloat 208 ve Aeroфин 3418A için dozaj arttıkça toplayıcının daha az seçimli davrandığı gözlemlenmiştir. Piritte karşı olan seçimlilik incelendiğinde (Şekil 4.17) ise özellikle Aeroфин 3418A'nın yüksek dozajda seçimliliği Aerofloat 208'e göre çok daha fazla azalmaktadır.

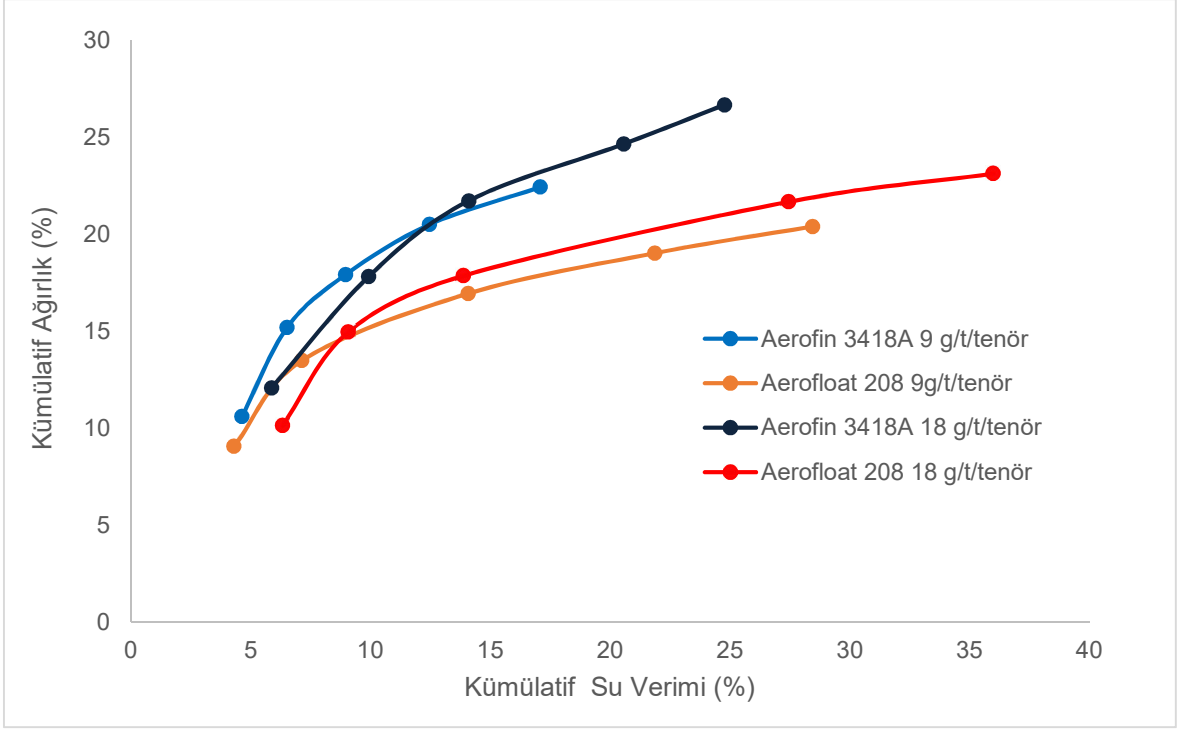
Konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisine bakıldığında (Şekil 4.18) dozaj fark etmeksizin Aerofloat 208'in aynı su verimi değerinde konsantreye daha az katı malzeme taşıyacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.16 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri bakır tenör- bakır verim grafiği.



Şekil 4.17 Aerofloat 208 ve Aerofin 3418A karşılaştırma testleri pirit tenör- bakır verim grafiği.



Şekil 4.18 Aerofloat 208 ve Aeroфин 3418A karşılaştırma testleri konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.

4.1.4. Sarı kampanya cevherinin sonuçlarının yorumlanması

Altı farklı toplayıcı ile sarı kampanya üzerinde yapılan baz koşul testlerinde bakır verimi açısından değerlendirildiğinde DLQ468, D19J, Aerofloat 208 ve Aeroфин 3418A'nın benzer verim değerlerine sahip olduğu fakat DLQ 468 ve D19J'nin kinetik açıdan daha hızlı bir flotsyona sebep olduğu belirlenmiştir. Aero 3894 3,5 dakikalık flotasyon süresinde diğer toplayıcıların verim değerine ulaşırken Aero 5100'ın nihai verimi diğer toplayıcıların altında kalmıştır.

Toplayıcıların bakır konsantre içindeki çinko verimlerine baktığımızda DLQ468 ve D19J ikilisi benzer verim değerlerine, Aerofloat 208 ve Aeroфин 3418A benzer benzer verim değerlerine sahiptir. Aero grubundan olan 3894 ve 5100 bakır konsantreye daha az çinko çekmektedir.

Toplayıcıların bakır konsantre içindeki pirit açısından değerlendirdiğimizde Aero grubunda yer alan 3894 ve 5100 göze çarpmaktadır. Bu toplayıcılar bakır konsantreye oldukça fazla pirit çekme eğilimindedir. Ditiyofosfat grubunda olan toplayıcıların konsantreye pirit çekme eğilimi Aeroфин 3418A'dan daha azdır ve en az bu eğilimde olan toplayıcı Aerofloat 208'dir.

Baz koşul testlerindeki toplayıcılar seçimlilik açısından değerlendirildiğinde Aero grubunda olan Aero 5100 bakır ve pirit açısından Aerofin 3418A'dan daha az seçimli davranırken ditiyofosfat grubunda olan toplayıcılar (DLQ468, D19J ve Aerofloat 208) Aerofin 3418A'ya göre bakır ve piritte karşı daha seçimli davranmışlardır. Aero 3894 için seçimlilik grafiklerinde bakıldığında Aerofin 3418A'ya göre daha seçimli gibi görünse de zamana bağlı pirit veriminde flotasyon süresi arttıkça konsantreye pirit çekme eğilimi de artmaktadır.

Tüm bu verilerin ışığında Aero 3894 ve Aero 5100 toplayıcılarının sarı kampanya için tesis koşullarında uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. DLQ468 ve D19J'nin birim fiyatları Aerofloat 208'in üstünde olması ve Aerofloat 208 ile Aerofin 3418A'nın aynı tedarikçiden sağlanıyor olmasından dolayı çalışmanın diğer adımlarına Aerofloat 208 ile devam edilmiştir.

Aerofloat 208'in dozaj tarama testlerinde üç farklı dozaj kullanılmıştır (22,18,9 g/ton/tenör). Bu dozajlar bakır verimi üzerinde birbirlerine göre çok fazla farklılık göstermese de bakır konsantre içindeki çinko ve pirit verimine bakıldığında 9 g/ton/tenör olan koşul diğer koşullara göre seçimli davranmıştır.

Aerofloat 208'in ve Aerofin 3418A'nın karşılaştırılma deneylerinde bakır veriminde belirgin bir belirgin bir fark görünmemektedir. Bakır konsantre içindeki çinko ve pirit veriminde en düşük değeri 9 g/ton/tenör Aerofloat 208 testi vermiştir. Seçimlilik açısından da en iyi koşul yine 9 g/ton/tenör Aerofloat 208 koşuludur.

4.2. Bornitli Klastik Kampanya Cevheri Flotasyon Testleri

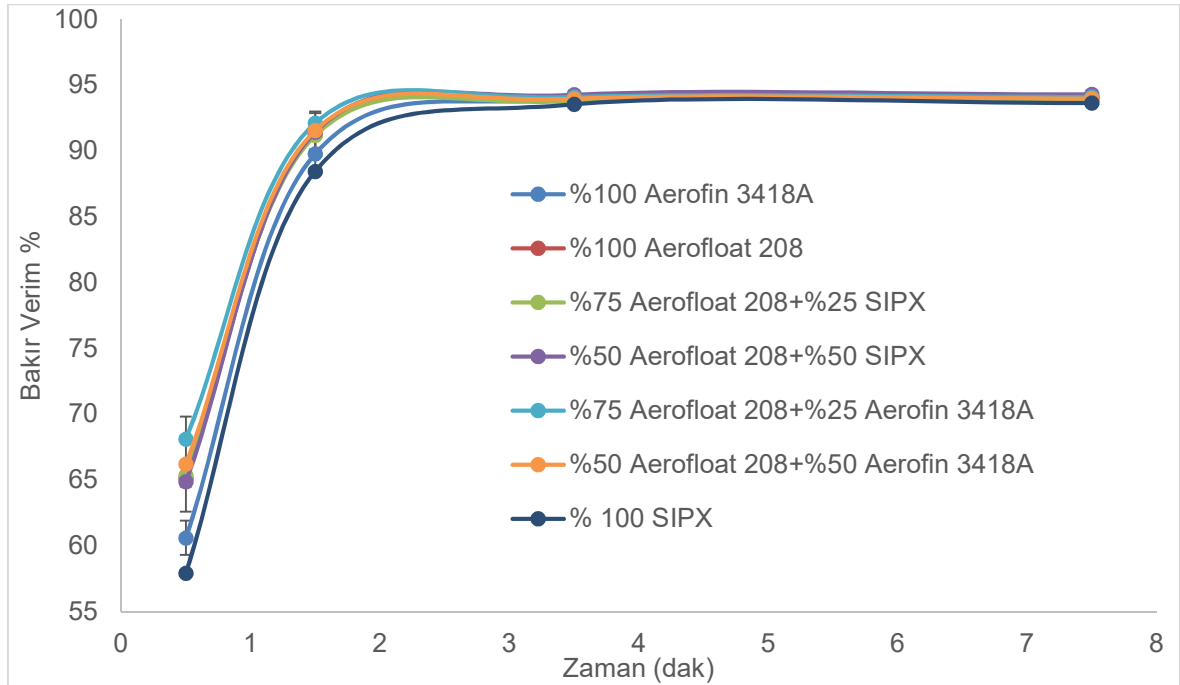
Testlerde tüm koşullarda toplam toplayıcı miktarı 18 g/ton/tenör olarak sabit tutulmuştur ve oranlar bu dozaj üzerinden yüzdesel olarak değiştirilmiştir.

4.2.1. Verimlerin İncelenmesi

Bornitli klastik kampanya ile yapılan bu çalışmada zamana karşı bakır verimlerine bakıldığında (Şekil 4.19) 3,5 dakikalık flotasyon süresinde verimlerin arasındaki anlamlı fark yok olmakta ve çok yakın verim değerleri görünmektedir. Testlerin flotasyon hız sabitleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Bu değerler birinci dereceden kinetik flotasyon modeli ile hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2 Bornitli klastik kampanya flotasyon hız sabitleri.

Toplayıcı	Hız Sabiti (K_{cu})
%100 Aerofin 3418A	2,06
%100 Aerofloat 208	2,35
%SIPX	1,92
%75 Aerofloat 208+%25 SIPX	2,38
%50 Aerofloat 208+%50 SIPX	2,32
%75 Aerofloat 208+%25 Aerofin 3418A	2,57
%50 Aerofloat 208+%50 Aerofin 3418A	2,43

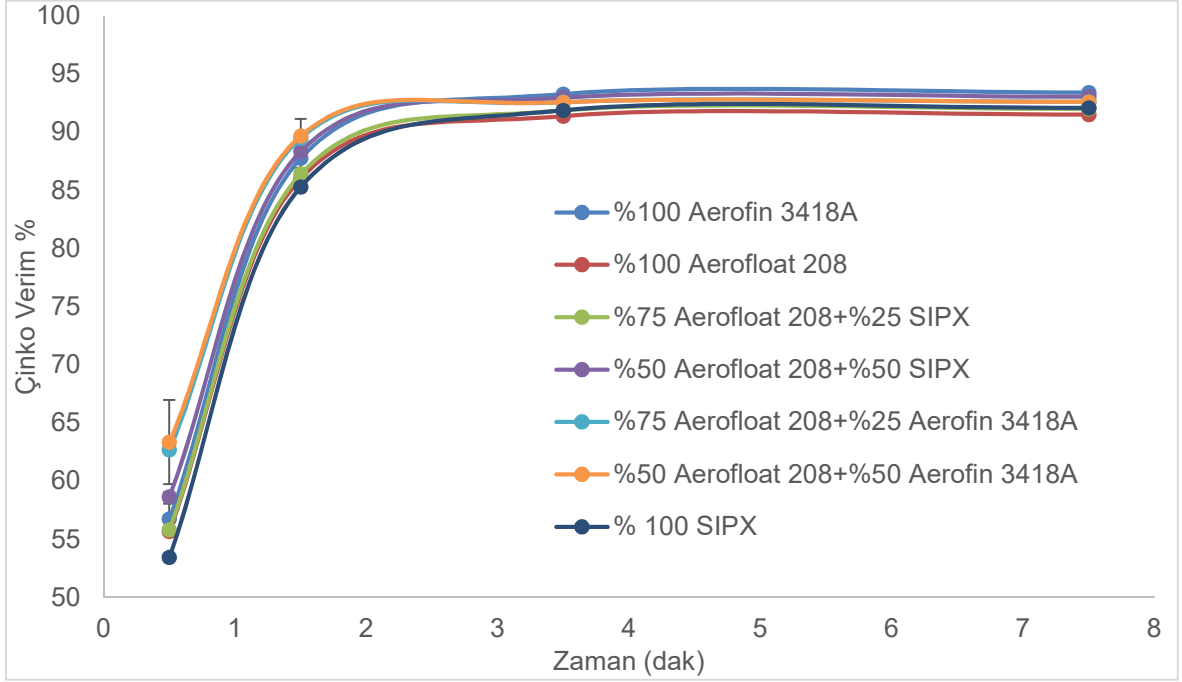


Şekil 4.19 Bornitli klastik kampanya zamana bağlı bakır verimi grafiği.

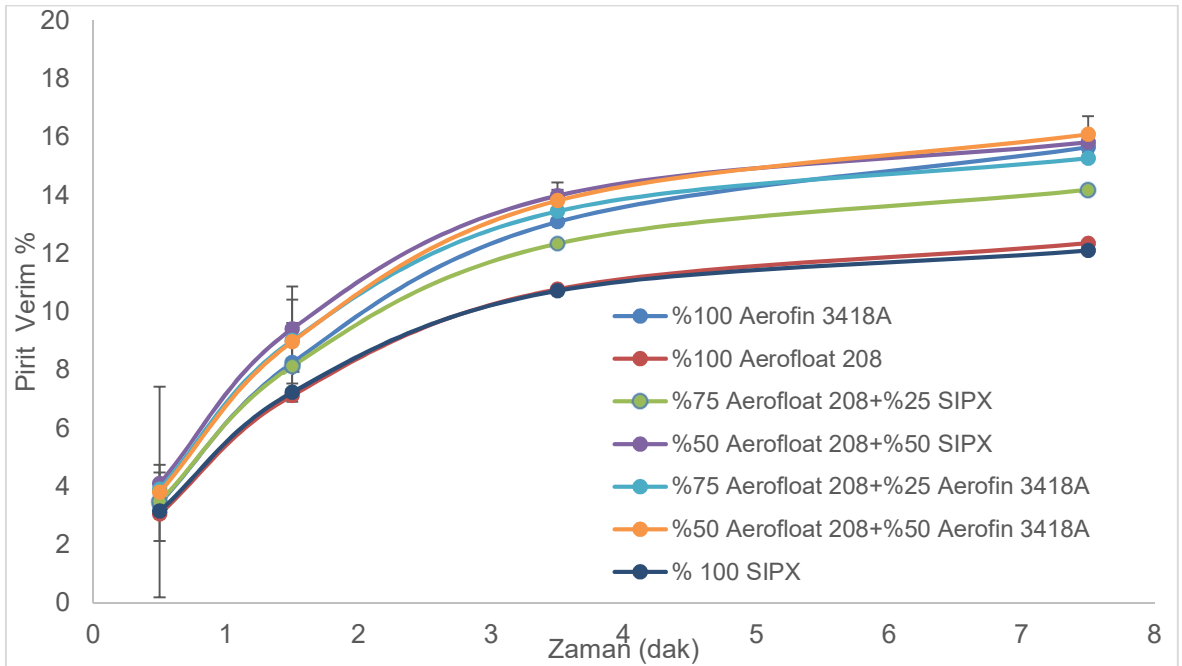
Bakır konsantre içindeki çinko verimine bakıldığında (Şekil 4.20) 3,5 dakikalık flotasyondan itibaren eğriler neredeyse üst üste çakışmakta ve anlamlı bir fark oluşturmamaktadır. Bu kampanya için mineralojik veri de göz önünde bulundurulursa (Şekil 3.2) kampanyanın içindeki ikincil bakır minerallerinin çinkoyu aktiveştirerek bakır konsatresine taşıdığı söylenebilir.

Bakır konsantre içindeki pirit verimine bakıldığında (Şekil 4.21) %100 Aerofloat 208 ve SIPX koşullarının diğer koşullardan daha az pirit çektiği gözlenmiştir. Diğer

toplayıcıların Aerofloat 208 ile birlikteliklerinde bakır konsantreye gelen pirit %100 Aerofloat 208 koşulunun üstüne çıkmıştır.



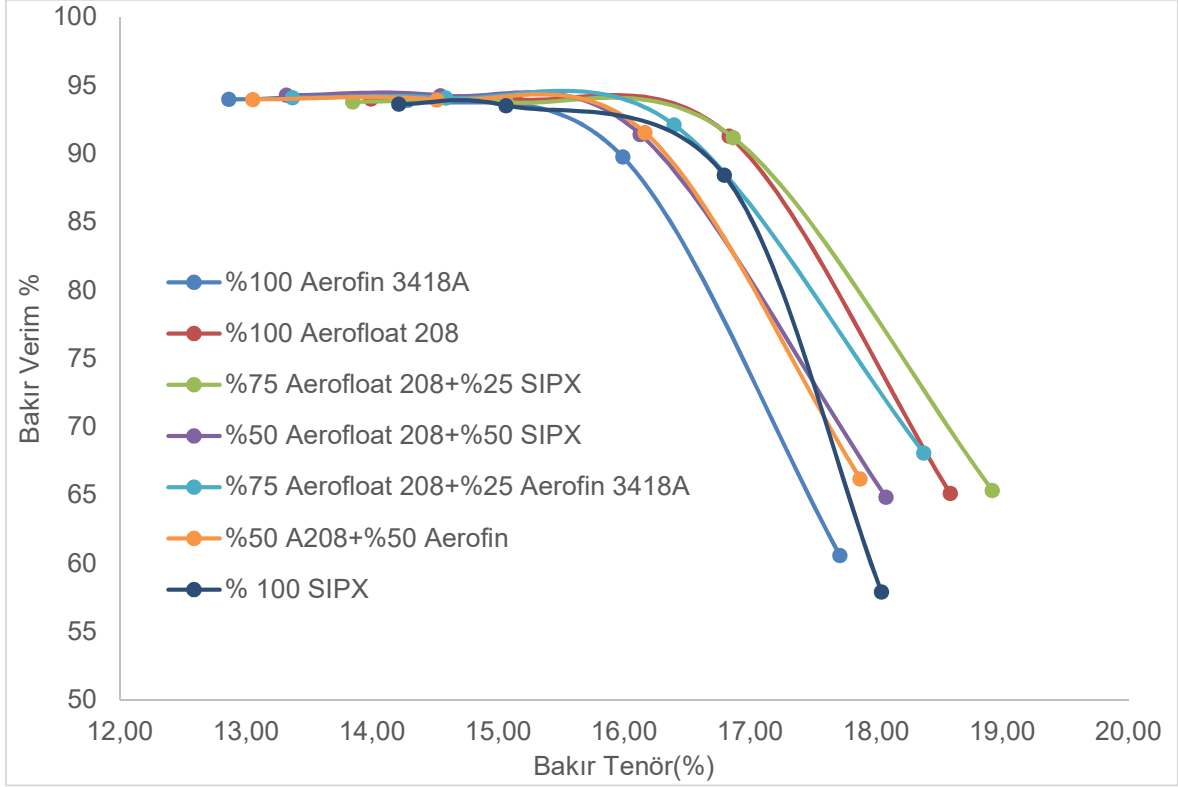
Şekil 4.20 Bornitli klastik kampanya zamana bağlı çinko verimi grafiği.



Şekil 4.21 Bornitli klastik kampanya zamana bağlı pirit verimi grafiği.

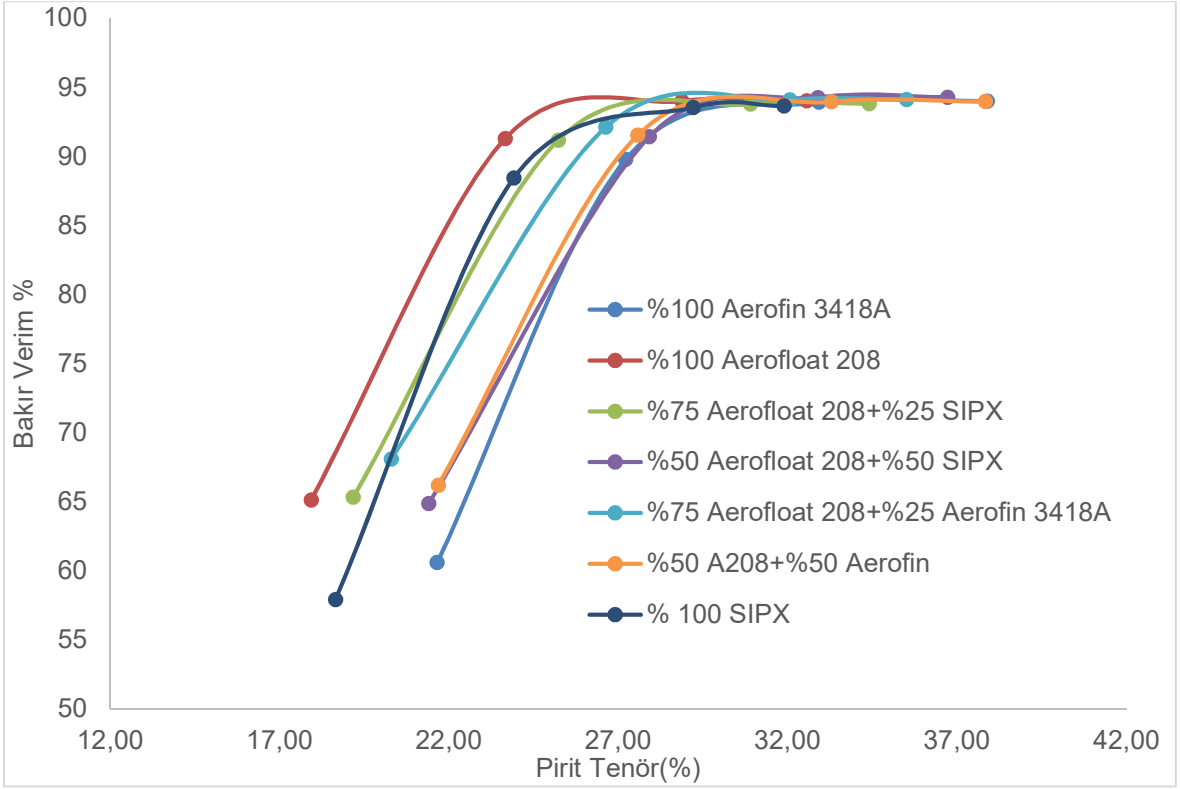
4.2.2. Seçimliliklerin İncelenmesi

Bakıra ve piritte karşı seçimliliklerde (Şekil 4.22 ve 4.23) %100 Aerofin 3418A koşulunun diğer koşullara göre başarısız kaldığı ve sisteme Aerofloat 208 girdiğinde seçimliliğin arttığı gözlemlenmiştir. Karışımlarda Aerofloat 208 miktarı arttıkça seçimlilikte paralel olarak artmıştır.

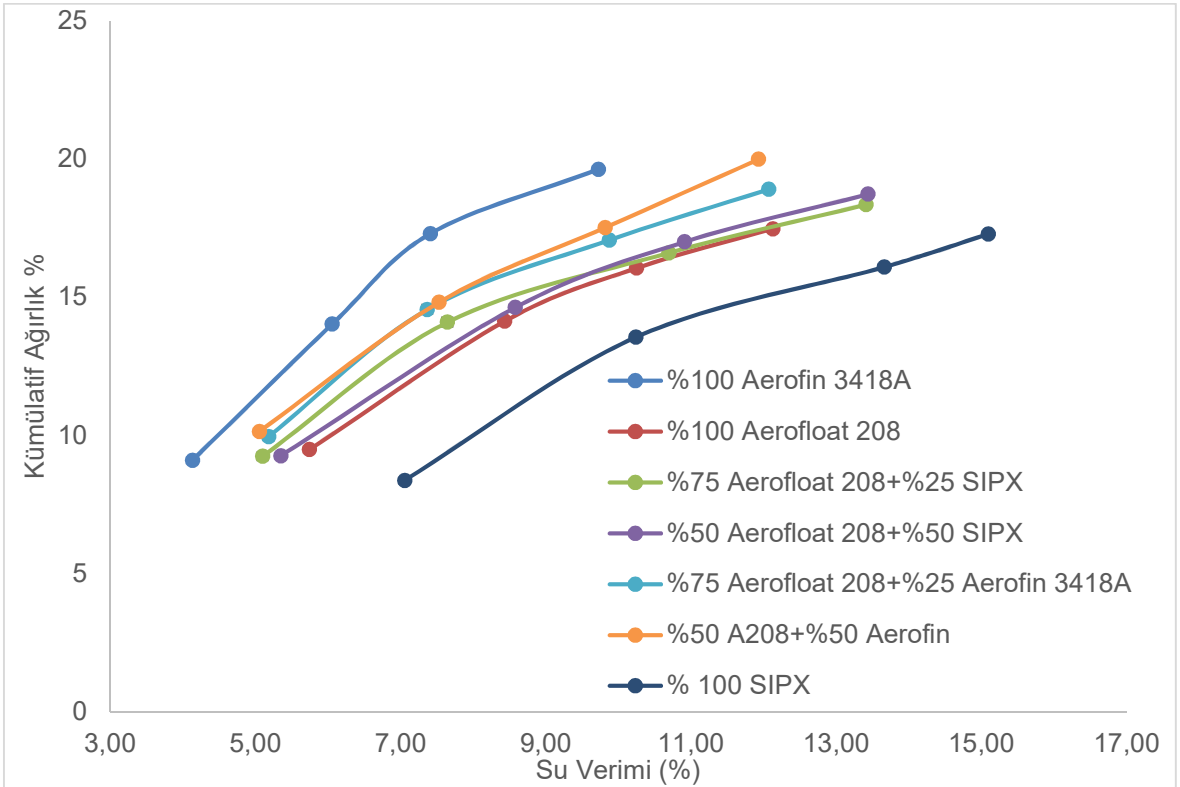


Şekil 4.22 Bornitli klastik kampanya bakır tenör– bakır verim grafiği.

Su verimi ve konsantreye taşınan kümülatif ağırlık grafiği (Şekil 4.24), diğer tüm koşulların aynı su veriminde konsantreye taşınan kütle miktarlarının, %100 Aerofin 3418A koşulundan daha az olduğunu görmektedir.



Şekil 4.23 Bornitli klastik kampanya pirit tenör– bakır verim grafiği.



Şekil 4.24 Bornitli klastik kampanya konsantreye taşınan kütle ile su veriminin ilişkisi.

4.2.3. Bornitli klastik kampanya cevherinin sonuçlarının yorumlanması

Aerofloat 208, %100 koşul testleri arasındaki en yüksek hız sabiti değerine sahip olan toplayıcıdır. Buna ek olarak Aerofloat 208 ile birlikte kullanımlarda hız sabitleri Aerofloat 208'in de üstüne çıkmıştır. Özellikle %75 Aerofloat 208+%25 Aerofin 3418A koşulu en yüksek flotasyon hız sabiti değerine sahiptir.

Tüm bu veriler ışığında optimum tesis koşulu %75 Aerofloat 208+%25 Aerofin 3418A olarak belirlenmiştir. Bunun nedeni ise bu koşulun en hızlı kinetiğe sahip olmasıdır. Tesiste bornitli kampanya özelinde uygulanan strateji, cevheri en kısa yoldan konsantreye ulaştırmaya çalışma şeklinde ilerler. Bunun nedeni ise akım şemasından da görüldüğü gibi cevher süpürme devresinde yüzdürülürse flotasyonda kalma süresi artar ve çinko minerallerinin daha fazla aktivasyona uğrama olasılığı artar.

4.3. Tesis Ölçekli Çalışma

Laboratuvar testleri tamamlandıktan sonra Aerofloat 208'in tesis performansını izlemek için toplayıcı siparişi verilmiştir ve uzun süreli kullanımı planlanmıştır. Tesis verileri bornitli klastik kampanyadan toplanmıştır. Bu süre zarfında toplayıcının bakır devresindeki verimi ve nihai bakır konsantre tenörü takip edilmiştir. Takip esnasında tesis proses kontrol sistemine entegre olan ve anlık kimyasal analiz yapan Outotec Courier 5 cihazının raporlama sisteminden yararlanılmıştır.

Tesis ölçeğinde %100 Aerofin 3418A ve %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A koşulu karşılaştırılmıştır. Yaklaşık bin iki yüz saatlik veri kullanılarak çoklu regresyon analizi yardımıyla sonuçlar incelenmiştir. Bu işlem Minitab isimli bir istatistik programı yardımıyla tamamlanmıştır.

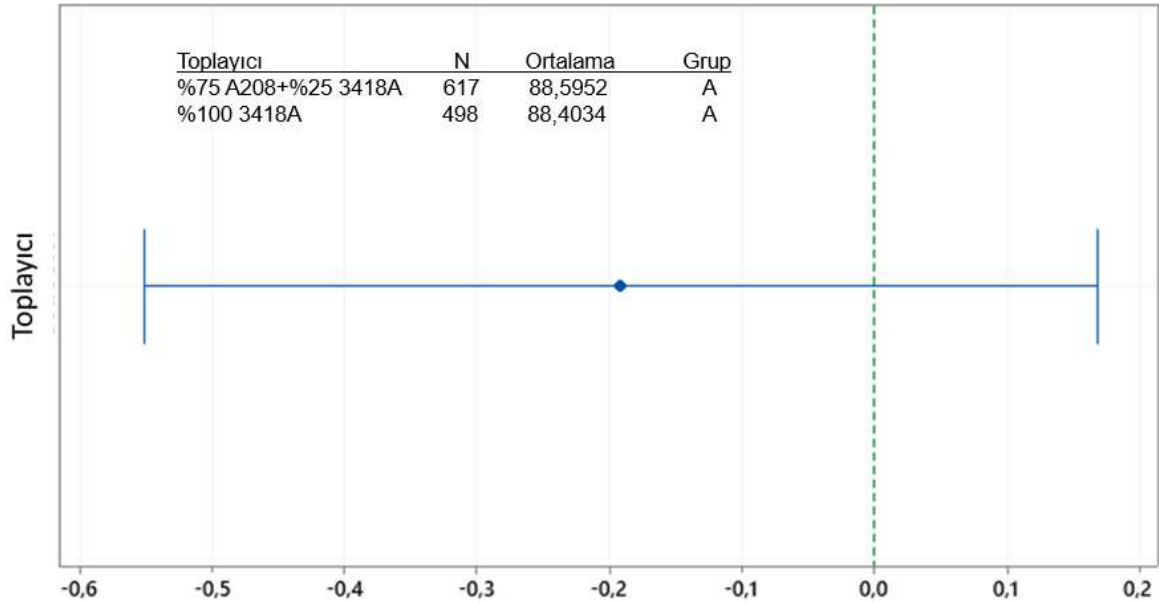
4.3.1. Toplayıcının Bakır Verimine Etkisi

Çoklu regresyon modelinin değişkenleri tesis beslemedeki bakır, çinko, kurşun ve toplayıcı parametreleri üzerine kurulmuştur. Çizelge 4.3'te değişkenlerin F ve P değerleri mevcuttur. Detaylı rapor ek(7a)'te verilmektedir.

Çizelge 4.3 Hata analizi.

Değişken	F - Değeri	P - Değeri
Cu	399,27	0,000
Zn	79,42	0,000
Pb	8,8	0,003
Toplayıcı	1,1	0,295

Bakır, çinko ve kurşunda P değeri 0,05 altında iken toplayıcıda bu değer 0,05 değerinin üstünde olduğu görünmektedir. Bu değer, toplayıcının bu regresyonda bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Sonucu savunacak diğer bir analiz ise sonuçları Şekil 4.25'te verilmiş olan Tukey analizidir. Tukey analizi çoklu karşılaştırma testlerinden biridir. İki veya daha fazla veri setinin (grubun) arasında farklılık olup olmadığını tespit etmek için kullanılır. Bu analizde %95 güven aralığında Şekil 4.25'teki aralığın içinde sıfır olması %100 Aerofin 3418A ve ya %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A kullanımının nihai bakır verimini etkilemediğini göstermektedir.



Şekil 4.25 Tukey analiz grafiği.

Regresyon denklemleri aşağıdaki gibidir.

%100 Aerofin 3418A:

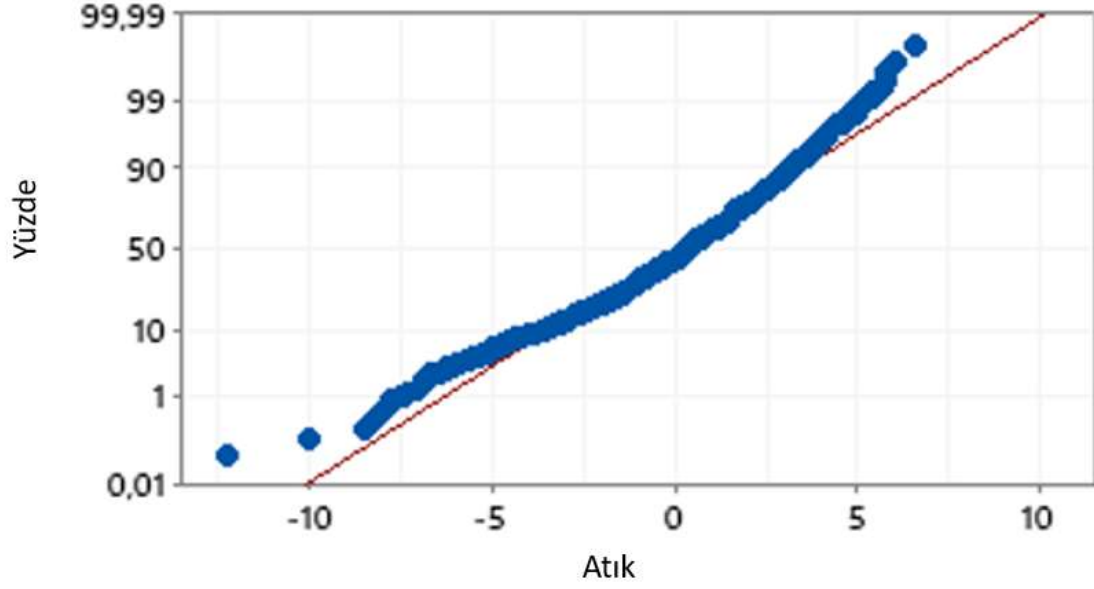
$$\text{Cu \% Verim} = 82,251 + 4,108 \times \text{Cu} - 0,8720 \times \text{Zn} - 8,47 \times \text{Pb}$$

Eşitlik 5

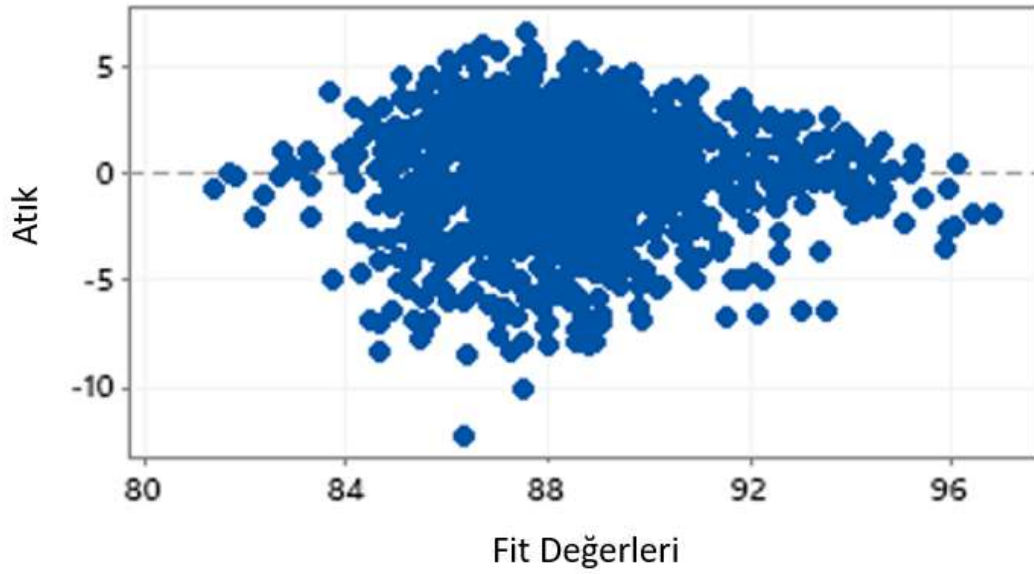
%75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A:

$$\text{Cu \% Verim} = 83,042 + 4,108 \times \text{Cu} - 0,8720 \times \text{Zn} - 8,47 \times \text{Pb}$$

Eşitlik 6



Şekil 4.26 Hataların normal dağılımı



Şekil 4.27 Eş varyanslılık (homoscedasticity) grafiği.

Şekil 4.27’de veriler sıfır eksenini etrafında konumlanmıştır ve farklı toplayıcılardan edinilen verim değerleri farklı gruplar oluşturmamaktadır. Homoscedasticity rastgele değişkenlerin sonlu varyansının eşit olma durumudur. Bu grafikte iki farklı grubun hata varyansları iç içe girmiş durumdadır.

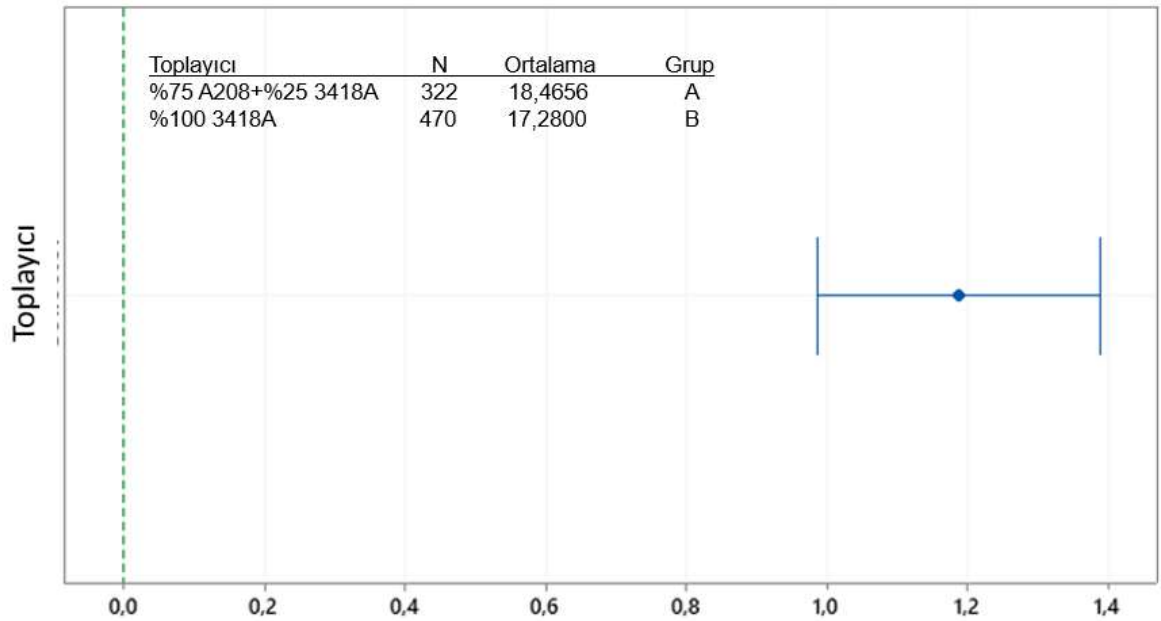
4.3.2. Toplayıcının Nihai Bakır Tenörüne Etkisi

Farklı koşulların bakır nihai konsantre üzerindeki etkisi Çizelge 4.4’te verilmiştir. Detaylı rapor ek(7b)’te verilmektedir.

Çizelge 4.4 Hata analizi

Değişken	F - Değeri	P - Değeri
Cu	9,27	0,002
Zn	5,42	0,020
Pb	9,27	0,002
Toplayıcı	102,12	0,000

Çizelgeye bakıldığında tüm değişkenlerin P değerleri 0,05 değerinin altında olduğu görülmektedir. Bu değer, toplayıcı değişiminin bakır nihai konsantre üzerinde etkisinin olduğunu anlatmaktadır. Tukey analizine baktığımızda (Şekil 4.28) sayı aralığının sıfırı kapsamadığı görülmektedir. Bunun anlamı %95 güven aralığında %100 Aerofin 3418A ile %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A koşulları arasında bir farkın olduğudur.



Şekil 4.28 Tukey analiz grafiği.

Regresyon denklemleri aşağıdaki gibidir.

%100 Aerofin 3418A, Cu % Verim:

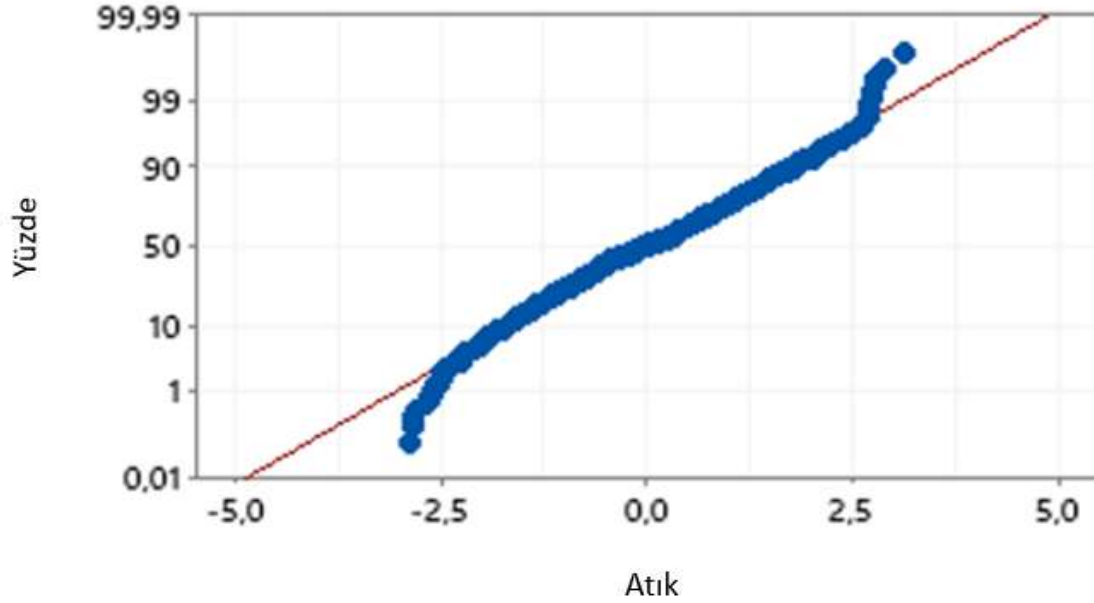
$$18,415-0,369xCu+0,1428xZn-5,544xPb$$

Eşitlik 7

%75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A, Cu % Verim:

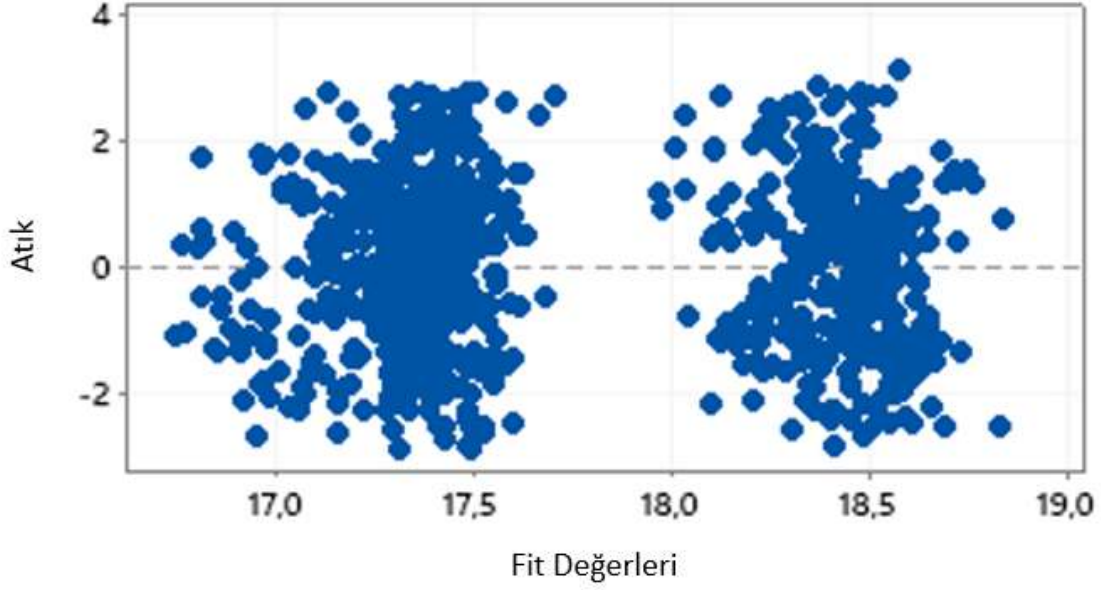
$$19,499-0,369xCu+0,1428xZn-5,544xPb$$

Eşitlik 8



Şekil 4.29 Hataların normal dağılımı.

Regresyon denklemlerine (Eşitlik 4 ve 5) ve regresyon grafiklerine (Şekil 4.30) bakıldığında aynı bakır, çinko ve kurşun değerleri için %75 Aerofloat 208 + %24 Aerofin 3418A koşulunun daha yüksek nihai bakır konsantre tenörü verdiği hesaplanmaktadır. Tesis çalıŐmasındaki bu sonuç laboratuvar ölçekli testlerle uyum göstermektedir.



Şekil 4.30 Eş varyanslılık (homoscedasticity) grafiği.

Şekil 4.30'da veriler sıfır eksenini etrafında konumlanmıştır ve farklı toplayıcılardan edinilen tenör değerleri farklı gruplar oluşturmaktadır. Heteroscedasticity homoscedasticity olmama durumudur. Grafiğe bakıldığında iki farklı grubun hata varyanslarının farkı belirgin bir biçimde görünmektedir.

4.4. Ekonomik Analiz

Aerofin 3418A ile Aerofloat 208 arasında maliyet açısından ciddi bir fark vardır. Birim maliyet olarak Aerofin 3418A, Aerofloat 208'in yaklaşık 2,67 katıdır.

Maliyet hesaplamalarında birim fiyatlarda ve maden üretim tonajında yaklaşık değerler kullanılmıştır.

Tesis Üretim Tonajı: 900.000 ton/yıl

Aerofin 3418A maliyeti: 14,7 USD/kg

Aerofloat 208 maliyeti: 5,5 USD/kg

Toplayıcı Dozajı: 18g/ton/tenör

Besleme tenörünün ortama %2 olduğu tesiste, dozaj 36g/ton olur.

%100 Aerofin 3418A Kullanımı Senaryosu:

Toplayıcı maliyeti = $(36 \text{ g/ton} \times 900.000 \text{ ton} \times 14,7 \text{ USD/kg})/1000$

Toplayıcı maliyeti = 476.280,00 USD

%75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A Kullanımı Senaryosu:

Toplayıcı maliyeti = ((9 g/ton x 900.000 ton x 14,7 USD/kg)/1000) + (27 g/ton x 900.000 ton x 5,5 USD/kg)/1000)

Toplayıcı maliyeti = 252.720,00 USD

İki senaryo arasındaki fark (yıllık) = 223.560,00 USD olarak hesaplanmıştır.

Ekonomik analizde diğer bütün koşulların sabit olacağı düşünülerek sadece toplayıcıdan gelen maliyet farkı ortaya konulmuştur. Hesaplamalarda çalışmanın yapıldığı tarihteki maliyetler baz alınmıştır.

5. Sonuçlar ve Öneriler

Tesiste üretim bandında olan iki farklı kampanyaya öncelikle seçilen reaktiflerle laboratuvar ölçekli testler yapılmıştır. Bu testlerde sarı kampanya için tiyonokarbamat (Aero 3894 ve Aero 5100), ditiyofosfat (Aerofloat 208, D19J, DLQ468) ve ditiyofosfinat (Aerofin 3418A) türü toplayıcılar kullanılmıştır. Testler sonucunda Aerofloat 208'in Aerofin 3418A ve tiyonokarmabat grubu olan Aero 3894 ve Aero 5100 isimli toplayıcılardan daha seçimli davranması ve bakır verimi açısından da Aerofin 3418A benzerlik göstermesi bu toplayıcıyı ön plana çıkarmıştır. Yine aynı kampanyada diğer ditiyofosfatlar (D19J ve DLQ 468) içinden Aerofloat 208'in öne çıkma nedenleri toplayıcılar arasındaki birim fiyat farkı ve tedarik nedenleridir. Bütün bu veriler sonunda bornitli klastik kampanya Aerofloat 208, Aerofin 3418A ve SIPX ile çalışılmıştır.

Bornitli klastik kampanya test sonuçlarına göre Aerofloat 208 her karışımında flotasyon kinetiğini arttırmış ve en yüksek değere %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A karışımında ulaşmıştır. Karışım kuşullarının flotasyon hız sabitlerinin karışım olmayan koşullardan daha yüksek olmasının sebebi, toplayıcı karışımlarının sinerjik etkileri ile açıklanabilir. Bakır konsantresindeki çinko verimi açısından her koşul benzerlik gösterirken bakır konsantre içindeki pirit verimi ve bakır seçimliliği açısından Aerofloat 208'in tek başına kullanıldığı, %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A ve %75 Aerofloat 208 + %25 SIPX karışımları ile kullanıldığı koşullar en iyi

sonuçları vermiştir. % 100 SIPX koşulu pirite seçimlilik açısından %100 Aerofloat 208 koşuluna benzer bir davranım gösterse de flotasyon kinetiğinin diğer koşullara göre oldukça az olması bu toplayıcının tek başına kullanılmaması sonucunun çıkartılmasını sağlamıştır.

Tesiste bornitli klastik kampanya zenginleştirilirken tercih edilen operasyon stratejisi konsantreyi mümkün olduğu kadar hızlı kaba flotasyon hücrelerinden alıp konsantre etmektir. Çünkü bu cevher tipi süpürme hücrelerine gittiğinde cevherin mineralojik analizinde de gösterildiği gibi ikincil minerallerin çözünmesinden dolayı istenmeyen çinko aktivasyonu artacak ve daha kirli bir bakır konsantresi elde edilecektir.

Bu yüzden kinetiği en hızlı olan %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A koşulu bu kampanyada tesis ölçeğinde test edilmiştir. Uzun süreli çalışmalar sonucu bin iki yüz saatlik tesis verisi istatistiksel olarak yorumlanmıştır. Çalışmada istatistikten yararlanılmasının sebebi, tesis verilerinin çok değişkenli ve karmaşık olmasıdır. Değişen saatlik tonaj, tenör ve operasyonel durumların çalışma üzerindeki etkileri istatistiksel analizler yardımıyla anlamlı hale getirilmiştir.

Bornitli klastik kampanyada uzun süreli Aerofin 3418A ve %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A koşulu aynı operasyonel koşullarda test edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre bu iki kullanım arasında bakır devresi nihai bakır verimi açısından bir değişkenlik yok iken bakır nihai konsantre tenörü açısından %75 Aerofloat 208 + %25 Aerofin 3418A karışımının kullanımı daha iyi sonuçlar vermiştir. Aerofloat 208 toplayıcısının birim fiyatının Aerofin 3418A'dan kilogramda 9,2 Amerikan Doları daha düşük olmasından dolayı, bu kullanım oranında ve yıllık 900.000 ton tüvenan cevher işleme durumunda yıllık 224 bin dolarlık tasarruf öngörülmektedir. Bu koşulun kullanımı Şekil 4.28'de de görüldüğü gibi bakır nihai tenöründe %1'lik yükselmeye olanak sağlayacaktır. NSR hesaplamalarında %1'lik metal kaybını düşünürsek, artan konsantre kalitesinden gelecek ekonomik bir iyileşme aynı zamanda mümkündür.

İlerleyen aşamalarda özellikle sarı kampanyada %100 Aerofloat 208 kullanımı ve farklı dozajlarda bu iki toplayıcının karışımları da test edilebilir. Bu iki toplayıcının farklı oranlardaki karışımları sarı kampanya için ekonomik olarak daha düşük reaktif maliyetli senaryolar oluşturma olasılığına sahiptir.

6. Kaynaklar

1. Kalkınma Bakanlığı. DPT, On birinci kalkınma planı, Madencilik Politikaları Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2018.
2. USGS, Mineral Commodity Summaries 2021, [Alıntı Tarihi: 07 03 2021] <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2021/mcs2021-copper.pdf>.
3. Copper prices historical chart data, Macrotrends, [Alıntı Tarihi: 05 03 2021] <https://www.macrotrends.net/1476/copper-prices-historical-chart-data>.
4. Türkiye Bakır Yataklarının Jenetik Tipleri, Rezerv Durumu, Aramalar İçin Önemli Olan Kayaç ve Bölgeleri, OVALIOĞLU, R., Bilimsel Madencilik Dergisi, 1974, Cilt 13 (2).
5. Bakır Yatakları, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. [Alıntı Tarihi: 20 03 2021] https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/images/b_h/bakir.jpg.
6. Yıldız, N., Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme, 2.Cilt. Ankara, ERTEM Basım, 2014.
7. Özcan, Ö., Murgul Bakır Cevherinin Ön Zenginleştirilmesindeki Alternatif Yaklaşımlar, Ankara, Bilimsel Madencilik Dergisi, 2018, Cilt 57(3). s.149-162.
8. Jena, S.S., Gharai, M., Mandre, N. R., Mineralogical Characterization and Gravity Separation of Lean Grade Mixed Copper Ore of Malanjkhand Deposit, Venugopal, R., India, Transactions of the Indian Institute of Metals,, 2019, Cilt 72 (1), 245-255.
9. Habashi, F., Recent Advances In The Hydrometallurgy Of Copper, Santiago, 3rd International Copper Hydrometallurgy Workshop, 2005, p.43.
10. Drzymala, J.A.N., Foundations of Theory and Practice of Minerallurgy, Wroclaw, Wroclaw University of Technology, 2007.
11. Wills B.S., Munn T.N. Mineral Processing Technology, Elsevier Science & Technology Books, 2006.
12. Klimpel, R.R., The Influence of Frother Structure on Industrial Coal Flotation, 1995.
13. Atak, S., Tolun. R., Flotasyon, Cevher Hazırlama El Kitabı, İstanbul, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı, 1994.
14. Pearse. M.J. An Overview of the Use of Chemical Reagents in Mineral Processing, Minerals Engineering, Elsevier, 2005.

15. Kaya., M., Flotasyon el-kitabı, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi, 1991.
16. Bulatovic, S., Wyslouzil, D.M., Selection and Evaluation of Different Depressant Systems for Flotation of Complex Sulphide Ores, Minerals Engineering, 1995, Volume 8.
17. Çakır. E., Sülfürlü Çinko Cevherinin Canlandırılmasında Kullanılabilecek Yeni Bir Reaktif, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, 2019.
18. Yılmaz, B.Z., Küre Flotasyon Tesisi Kaba Konsantresinin Flotasyonunda Selül Hidrodinamik Parametrelerinin Mekanik Taşımaya Etkisi, Isparta, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, 2002.
19. Bulatovic, S.M., Handbook of Flotation Reagents, Elsevier Science & Technology Books, 2007.
20. Klassen, V. I., and Mokrousov, V. A., An Introduction to the Theory of Flotation, Butterworths, London, 1963.
21. Tyurnikova, V. I., and Naumov, M. E., Improving the Effectiveness of Flotation, Stonehouse, England, English edition translated by C. D. Zundorf, Technicopy Ltd., 1981.
22. Crozier, R., Flotation, Theory, Reagents and Ore Testing, Pergamon Press, 1992.
23. Abramov, A.A., Leonov, S.B., and Sorokin, M.M. flotatsionnykh sistem (Chemistry of Flotation Systems), Nedra, Moscow, 1982.
24. Bağcı, E., Sülfürlü minerallerin flotasyonunda toplayıcı karışımlarının sinerjik etkileşimlerinin incelenmesi, Ankara, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, 2006
25. Tipman, R.N. and Leja, J., Colloid Polymer Sci., 1975, 253, 4
26. Bağcı E., Ekmekçi Z., Toplayıcı karışımlarının pirit ve kalkopirit minerallerine soğurulumu, Yerbilimleri, 28(3), 2007.
27. Bradshaw, D. J., Harris, P. J., & O'Connor, C. T. Synergistic interactions between reagents in sulphide flotation. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 1998, 98(4), 187–192.
28. Rao, Forssberg, K.S.E., Mixed collector systems in flotation, Int. J. Process. 51, 1997, 67-79

29. Giesekke, J.R., and Woods, R., The use of a particulate bed electrode for the electrochemical investigation of metal and sulphide flotation, *Aust. J. Chem.*, 1973, 26, 1635-1644
30. Critchley, J.K., and Riaz, M., Study of synergism between xanthate and dithiocarbamate collectors in flotation of heazlewoodite, *Trans. IMM, Sec. C: Mineral Process. Extr. Metall.*, 1991, 100, January-April, 55-57
31. Valdiviezo, E., and Oliveria, J.F., Synergism in aqueous solutions of surfactant mixtures and its effect on the hydrophobicity of mineral surface, *Minerals Engineering*, 1993, Vol.6, No.6, 655-661.
32. Sezai Ş, Yaşar Ç, CuSO₄, Na₂S ve Farklı Toplayıcı Birleşimlerinin Kullanımının Altın Flotasyonu Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi, 2009
33. Subrata R, Amlan D, Sandeep R, Flotation of copper sulphide from copper smelter slag using multiple collectors and their mixtures, 2015
34. Bu, X., Xie, G., Peng, Y., Ge, L., & Ni, C. Kinetics of flotation, Order of process, rate constant distribution and ultimate recovery, *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 2017.
35. Agar G.E., CHIA J., REQUIS-C L., Flotation Rate Measurements to Optimize an Operating Circuit. *Minerals Engineering*, Elsevier, 1998.
36. M. XU., Modified Flotation Rate Constant and Selectivity Index. *Minerals Engineering*, Elsevier, 1998.
37. Gulsoy O.Y., ERSAYIN S., A new approach to kinetic characterization of semi batch flotation tests. *Proceedings of the 6th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası*, 1996. p. 24-26.
38. Gulsoy O.Y., ERSAYIN S., Improving the reproducibility of semi-batch flotation tests. *Miner. Process. Extra. Metall.* 1998, (Trans. Inst. Min. Metall. C) p. 81-86.
39. Yumlu M., 35. 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey- IMCET2001, © 2001, ISBN 975-395-417-4, Çayeli Underground Cu-Zn Mine, p. 861-868