

151769

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Metin UÇURUM

KURŞUN-ÇİNKO CEVHERLERİNİN KOLON FLOTASYONU İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2004

151769

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KURŞUN-ÇİNKO CEVHERLERİNİN KOLON FLOTASYONU İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI

Metin UÇURUM
DOKTORA TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu tez 15.10.2024 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oy çokluğu ile Kabul Edilmiştir.

İmza.....
Prof. Dr. Mesut ANIL
BAŞKAN

İmza.....
Prof. Dr. Oktay ERBATOR
ÜYE

İmza.....
Prof. Dr. İlknur CÖCEN
ÜYE

İmza.....
Doç. Dr. Oktay BAYAT
ÜYE (Danışman)

İmza.....
Yard. Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM
ÜYE

Bu tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No: 853

Prof. Dr. Fikri AKDENİZ
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma Çukurova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
Tarafından Desteklenmiştir.

Proje No: FBE.2002.D.215

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

ÖZ

DOKTORA TEZİ

**KURŞUN-ÇİNKO CEVHERLERİNİN KOLON FLOTASYONU İLE
ZENGİNLEŞTİRİLMESİNİN ARAŞTIRILMASI**

Metin UÇURUM

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Danışman: Doç. Dr. Oktay BAYAT

Yıl: 2004, Sayfa: 189

Jüri: Prof. Dr. Mesut ANIL

: Prof. Dr. Oktay ERBATUR

: Prof. Dr. İlknur CÖCEN

: Doç. Dr. Oktay Bayat

: Yard. Doç. Dr. Mehmet YILDIRIM

Bu çalışmanın amacı Postallı Madencilik Ltd. şirketi tarafından kapalı işletme metoduyla Çadirkaya/Yahyalı/Kayseri bölgesinde üretilen sülfürlü kurşun-çinko cevherinin flotasyon kolonu ile daha verimli bir şekilde zenginleştirilmesinin araştırılmasıdır. Bu amaçla dizayn edilerek pilot çapta imal edilen ve Ç.Ü Müh. Mim. Fakültesi Atölyesine kurulan flotasyon kolonunda deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar neticesinde söz konusu flotasyon kolonu için optimum çalışma parametreleri olarak; $d_{80}=0.125$ mm, 1.30 cm/sn hava hızı, 500 g/ton Aerofloat 7048+Aerofloat 7279, %20 pulp katı oranı ve 0.5 L/dk. yıkama suyu hızı belirlenmiştir. Optimum çalışma koşullarında yapılan deneyler neticesinde %93.74 verimle %55.23 Zn tenörlü konsantre alınmış ve bu sonuçlar halihazırdaki tesis değerleri ile karşılaştırıldığında (%66 verimle %53 Zn tenörlü konsantre elde edilmektedir) flotasyon kolonu ile zenginleştirilmenin verim ve tenörde belirgin bir iyileştirme sağladığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sülfürlü kurşun-çinko cevherleri, Flotasyon Kolonu, Flotasyon Kinetiği

ABSTRACT

PhD THESIS

INVESTIGATION OF LEAD-ZINC ORES ENRICHMENT BY COLUMN FLOTATION

Metin UÇURUM

DEPERTMENT OF MIMING ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA

Supervisor: Assoc. Prof. .Dr. Oktay BAYAT

Year: 2004, Pages: 189

Jury: Prof. Dr. Mesut ANIL

: Prof. Dr. Oktay ERBATUR

: Prof. Dr. İlknur CÖCEN

: Assoc. Prof. Dr. Oktay BAYAT

: Assist. Prof. Dr. Mehmet YILDIRIM

The aim of study was the investigation of flotation of Pb-Zn sulfide ores from Çadirkaya/Yahyalı/Kayseri produced by underground mining methods. For this aim a pilot plant was designed and installed at Çukurova University Engineering Faculty workshops than flotation experiments were carried out using the pilot flotation column. After experiments studies, optimum operation conditions were determined as follows: $d_{80}=125$ mm, 1.30 cm/sn air flow rate, 500 g/ton Aerofloat 7048+Aerofloat 7279, %20 pulp density and 0.5 cm/sn wash water rate. Under optimum operations conditions, a concentrated having 55.23% Zn with 93.74% yields was obtained. These results showed that flotation column enrichment gave better concentrate in terms of grade and yields in comparison with currently plant conditions (53% Zn and 66% yields of concentrate).

Key Words: Sulfide lead-zinc ores, Flotation Column, Flotation Kinetics.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1999-2004 yılları arasında Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Doç. Dr. Oktay BAYAT Yönetiminde DOKTORA TEZİ olarak hazırlanmıştır.

Çalışmalarımın her aşamasında beni yönlendiren ve yardımlarını esirgemeyen kıymetli Hocam Doç. Dr. Oktay BAYAT'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Doktora tez çalışmamı yürütebilmem için her türlü kolaylığı ve uygun çalışma ortamını sağlayan, Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mesut ANIL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme jürimde bulunan ve fikirlerinden yararlandığım Prof. Dr. Oktay ERBATUR'a teşekkür ederim.

Çalıştığım kurum olan Ç.Ü. Karaisalı Meslek Yüksekokulu Müdürü Prof. Dr. Atike NAZİK'e doktora çalışmam süresince gösterdiği her türlü kolaylık ve destek için sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İstatistiksel çalışmalarda yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Olcay ARSLAN'a teşekkür ederim.

Postallı Madencilik Ltd. Şirketi yönetim kurulu başkanı Tahir Postallı, maden mühendisleri ve personeline teşekkür ederim.

Kimyasal analizleri yapan Arş. Gör. Mehmet TÜRKMENOĞLU'na teşekkür ederim.

Flotasyon kolonun kurulduğu Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Atölyesi sorumlusu Mehmet TELLİ başta olmak üzere çalışanlarına teşekkür ederim.

Doktora çalışmam esnasında beni destekleyen ve anlayışını hiçbir zaman esirgemeyen eşim Elif'e, her zaman ve her konuda yanımda olan Annem, Babam, Ağabeyim ve Kardeşlerime teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XV
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Genel Bilgiler.....	2
1.1.1. Kurşun-Çinko Mineralleri.....	2
1.1.2. Kurşun-Çinko Cevherleri.....	6
1.2. Kurşun-Çinko Cevherlerinin Zenginleştirme Yöntemleri.....	8
1.2.1. Flotasyonla Kurşun-Çinko Cevherlerinin Zenginleştirilmesi.....	9
1.3. Flotasyon Makineleri.....	17
1.3.1. Flotasyon Kolonları.....	18
1.3.1.1. Flotasyon Kolonlarında Zenginleştirmenin Temel İlkeleri.....	21
1.3.1.2. Kabarcık Üreteçleri	25
1.3.1.3. Flotasyon Kolonlarının Performansına Etki Eden Parametreler.....	25
1.4.1.4. Flotasyon Kolonundan Yola Çıkılarak Geliştirilen Yeni Tasarımlar.....	25
1.4.2. Flotasyon Kolonları İle Mekanik Flotasyon Hücrelerinin Karşılaştırılması.....	28
1.4. Flotasyon Modelleri.....	29
1.4.1. Ampirik Modeller.....	32
1.4.2. Olasılık Modelleri.....	32
1.4.3. Kinetik Modeller.....	33

1.4.3.1. Yarı Kesikli Flotasyon İşleminin Tanımlanmasında	
Kullanılan Kinetik Modeller.....	35
1.4.3.2. Flotasyon Kinetiğini Etkileyen Değişkenler.....	40
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	43
2.1. Çadirkaya Flotasyon Tesisi.....	43
2.2. Flotasyon Kolonu ve Flotasyon Kinetiği Çalışmaları.....	45
3. MATERYAL VE METOD.....	59
3.1. Materyal.....	59
3.2. Metod.....	59
3.2.1. Kimyasal Analiz.....	59
3.2.2. Mikroskopik Analizler.....	61
3.2.3. Kırma-eleme.....	67
3.2.4. Öğütme-Elleme Deneyleri.....	67
3.3. Flotasyon Deneylerinde Kullanılan Reaktifler.....	71
3.4. Flotasyon Kolonu.....	74
3.5. Kinetik Modelleme.....	79
3.5.1. Kinetik Modeli Değerlendirme.....	81
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	85
4.1. Sfalerit Flotasyonunda Toplayıcı Cinsinin Etkisi.....	85
4.2. Tane İriliğinin Tespiti.....	90
4.3. Hava Hızının Tespiti.....	100
4.4. Toplayıcı Miktarının Tespiti.....	111
4.4. Palp Katı Oranının Tespiti.....	122
4.4. Yıkama Suyu Hızının Tespiti.....	132
4.4. Temizleme Flotasyonu.....	142
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	152
5.1. Sonuçlar.....	152
5.2. Öneriler.....	154
KAYNAKLAR.....	157
ÖZGEÇMİŞ.....	164
EKLER.....	165

Çizelge 1.1. Flotasyon İle Kurşun-Çinko Zenginleştirilmesinde Kullanılan.....	14
Kontrol Reaktifleri	
Çizelge 1.2 Sülfür Minerallerinin Flotasyonunda Kullanılan Toplayıcılar.....	16
Çizelge 1.3. Flotasyon Kolonları İle Mekanik Flotasyon Hücrelerinin	
Karşılaştırılması.....	30
Çizelge 2.1. Sülfürlü Cevherlerde Flotasyon Kolonu Uygulamaları.....	46
Çizelge 3.1. Tüvenan Cevherin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	60
Çizelge 3.2. Flotasyon Deney Şartları.....	71
Çizelge 3.3. Toplayıcı Seçimi Flotasyon Deney Şartları.....	73
Çizelge 3.4. Flotasyon Kolonunun Özellikleri.....	75
Çizelge 3.5. Flotasyon Testlerinde Kullanılan Kinetik Modeller.....	78
Çizelge 3.6. Varyans Analizi Çizelgesi.....	83
Çizelge 4.1. Toplayıcı Karşılaştırma Flotasyon Deney Şartları.....	85
Çizelge 4.2. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve	
Korelasyon Katsayıları.....	86
Çizelge 4.3. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve	
Korelasyon Katsayıları.....	87
Çizelge 4.4. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve	
Korelasyon Katsayıları.....	87
Çizelge 4.5. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve	
Korelasyon Katsayıları.....	87
Çizelge 4.6. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve	
Korelasyon Katsayıları.....	87
Çizelge 4.7. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve	
Korelasyon Katsayıları.....	88
Çizelge 4.8. Toplayıcı Tiplerine Ait Selektif İndeksleri.....	88
Çizelge 4.9. Tane İriliği Tespiti İçin Yapılan Flotasyonu Deney Şartları.....	91
Çizelge 4.10. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve	
Korelasyon Katsayıları.....	92

Çizelge 4.11. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	92
Çizelge 4.12. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	92
Çizelge 4.13. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	93
Çizelge 4.14. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	93
Çizelge 4.15. Model 6'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	94
Çizelge 4.16. Tane İriğine Ait Sellektif İndeksleri.....	94
Çizelge 4.17. Dört Farklı Tane İriliğinin Altı Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2).....	97
Çizelge 4.18. Tane İriliği Dağılımı İçin Varyans Analizi.....	97
Çizelge 4.19. Tane İriliği Dağılımı İçin Duncan Testi.....	98
Çizelge 4.20. Tane İrilik Dağılım Modellerinin Standart Hataları.....	99
Çizelge 4.21. Hava Hızı İçin Yapılan Flotasyon Deney Şartları.....	102
Çizelge 4.22. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	102
Çizelge 4.23. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	102
Çizelge 4.24. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	103
Çizelge 4.25. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	103
Çizelge 4.26. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	103
Çizelge 4.27. Model 6'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	104

Çizelge 4.28. Hava Hızlarına Ait Selektif İndeksleri.....	104
Çizelge.4.29.Dört Farklı Hava Hızının Altı Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2)	107
Çizelge 4.30. Hava Hızı Varyans Analizi.....	108
Çizelge 4.31. Hava Hızı İçin Duncan Testi.....	109
Çizelge 4.32. Hava Hızı İçin Modellerinin Standart Hataları.....	109
Çizelge 4.33. Toplayıcı Miktarı Kolon Flotasyonu Deney Şartları.....	112
Çizelge 4.34. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	113
Çizelge 4.35. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	113
Çizelge 4.36. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	114
Çizelge 4.37. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	114
Çizelge 4.38. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	114
Çizelge 4.39. Model 6'dan Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	115
Çizelge 4.40. Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279 Miktarları İçin Selektif İndeksi...	115
Çizelge.4.41. Dört Farklı Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279 Miktarının Altı Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2)	118
Çizelge 4.42. Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279 Miktarı İçin Varyans Analizi.....	119
Çizelge 4.43. Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279 Miktarı İçin Duncan Testi.....	120
Çizelge 4.44. Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279 Miktarları İçin Modellerinin Standart Hataları	120
Çizelge 4.45. Palp Katı Oranı Tespiti İçin Yapılan Flotasyonu Deney Şartları.....	123

Çizelge 4.46. Model 1’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	124
Çizelge 4.47. Model 2’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	124
Çizelge 4.48. Model 3’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	125
Çizelge 4.49. Model 4’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	125
Çizelge 4.50. Model 5’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	125
Çizelge 4.51. Model 6’dan Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	126
Çizelge 4.52. Palp Katı Oranlarına Ait Selektif İndeksleri.....	126
Çizelge 4.53. Dört Farklı Palp Katı Oranın Altı Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2).....	129
Çizelge 4.54. Palp Katı Oranı İçin Varyans Analizi.....	130
Çizelge 4.55. Palp Katı Oranı İçin Duncan Testi.....	130
Çizelge 4.56. Palp Katı Oranı İçin Modellerin Standart Hatalar.....	131
Çizelge 4.57. Yıkama Suyu İçin Kolon Flotasyonu Deney Şartları.....	134
Çizelge 4.58. Model 1’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	134
Çizelge 4.59. Model 2’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	134
Çizelge 4.60. Model 3’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	135
Çizelge 4.61. Model 4’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	135
Çizelge 4.62. Model 5’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	135
Çizelge 4.63. Model 6’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları.....	136

Çizelge 4.64. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Selektif İndeksleri.....	136
Çizelge 4.65. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Korelasyon Katsayıları (R^2).....	139
Çizelge 4.66. Yıkama Suyu Hızı İçin Varyans Analizi.....	139
Çizelge 4.67. Yıkama Suyu Hızı İçin Duncan Testi.....	140
Çizelge 4.68. Yıkama Suyu Hızı İçin Modellerin Standart Hataları.....	140
Çizelge 4.69. Optimum Kaba Flotasyon Deney Şartları.....	143
Çizelge 4.70. Optimum Şartlarda Yapılan Flotasyon Deney Sonuçlarının Model 1, 2, 3'e Ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri.....	144
Çizelge 4.71. Optimum Şartlarda Yapılan Flotasyon Deney Sonuçlarının Model 4, 5, 6' Ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri.....	144
Çizelge 4.72. Optimum Şartlar İçin Model Standart Hataları.....	145
Çizelge 4.73. Temizleme ve Süpürme Flotasyon Deney Şartları.....	146
Çizelge 4.74. Temizleme Flotasyon Deney Sonucunun Zn ve Fe İçin Model 1, 2, 3'e Ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri.....	147
Çizelge 4.75. Temizleme Flotasyon Deney Sonucunun Zn ve Fe İçin Model 4, 5, 6'ya ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri.....	147
Çizelge 7.76. Temizleme Flotasyonun Model Standart Hataları.....	147
Çizelge 4.77. Metalürjik Denge Çizelgesi.....	148
Çizelge 4.78. Optimum Koşullarda Sfalerit Kolon Flotasyonu Deney Sonuçları...	148
Çizelge 5.1. Çadirkaya Sfalerit Cevherinin Kaba Kolon Flotasyonu Deney Şartları.....	153
Çizelge 5.2. Çadirkaya Sfalerit Cevherinin Temizleme ve Süpürme Kolon Flotasyonu Deney Şartları.....	154

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Galen Minerali.....	3
Şekil 1.2. Seruzit Minerali.....	4
Şekil 1.3. Anglezit Minerali.....	5
Şekil 1.4. Sfalerit Minerali.....	6
Şekil 1.5. Smitsonit Minerali.....	7
Şekil 1.6. Stern'eGöre Elektriksel Çift Tabaka Modeli.....	11
Şekil 1.7. Katı-Sıvı-Gaz Ara Yüzey Özellikleri.....	12
Şekil 1.8. Genel Olarak Kurşun-Çinko Flotasyon Tesisinin Genel Akım Şeması.....	18
Şekil 1.9. Flotasyon Kolonu.....	20
Şekil 1.10. Kolonlarda Hava Hızı Ve Hacimsel Hava Miktarı Arasındaki İlişki.....	22
Şekil 1.11. Jameson Flotasyon Hücresi.....	27
Şekil 1.12. Turbo Kolon Flotasyonu.....	28
Şekil 1.13. Flotasyon İşlemi İçin Değişkenlerin Sınıflandırılması.....	31
Şekil 1.14 Flotasyon Hücresinde Malzemenin Palp Ve Köpük Bölgeleri Arasındaki Transeferi.....	34
Şekil 2.1 Çadırkaya Flotasyon Tesisinin Genel Akım Şeması.....	44
Şekil 2.2. Flotasyon Kolonun Tarihsel Gelişimi.....	49
Şekil 2.3. 3PCL Flotasyon Kolonu	51
Şekil 2.4. Deneylerin Gerçekleştirildiği Flotasyon Kolonu.....	54
Şekil 2.5. Turbo Flotasyon Kolon Sistemi.....	54
Şekil 2.6. Hindistan'da Flotasyon Kolonu Uygulaması.....	57
Şekil 3.1. Cevherden Numune Almada İzlenen Yol.....	60
Şekil 3.2. Cevherin XRD Analiz Sonuçları.....	61
Şekil 3.3. Tüvenan cevherin parlak kesiti.....	63
Şekil 3.4. +0.500 mm tane iriliğinin parlak kesiti.....	63
Şekil 3.5. 0.500-0.300 mm tane iriliğinin parlak kesiti.....	64
Şekil 3.6. 0.300-0.180 mm tane iriliğinin parlak kesiti.....	64
Şekil 3.7. 0.180-0.125 mm tane iriliğinin parlak kesiti.....	65
Şekil 3.8. 0.125-0.075 mm tane iriliğinin parlak kesiti.....	65

Şekil 3.9. 0.075-0.063 mm tane iriliğinin parlak kesiti.....	66
Şekil 3.10. 0,063-0,045 mm tane iriliğinin parlak kesiti.....	66
Şekil 3.11. Cevherin Kümülatif Elek Altı Tenör Dağılımı.....	68
Şekil 3.12. Cevherin Kümülatif Elek Altı Metal % Dağılımı.....	68
Şekil 3.13. Çeneli Kırıcı Çıkışı Ve Öğütme Sürelerine Bağlı Olarak Elde Edilen Ürünlerin Kümülatif Elek Altı Eğrileri.....	70
Şekil 3.14. Öğütmede Değirmen Hızının Etkisi.....	70
Şekil 3.15. Değirmen Katı Hacim Oranın Etkisi.....	71
Şekil 3.16. Palp Katı Oranın Etkisi.....	71
Şekil 3.17. Kritik t Değeri Ve Test İstatistiğine Göre Karar Modeli.....	74
Şekil 3.18. Kolonda Kullanılan Sparger (a), Downcomerda Kullanılan Nozzle (b) ve Yıkama Suyu Sistemi'nin (v) Şematik Görünümü.....	76
Şekil 3.19. Pilot Çaplı Flotasyon Kolonu.....	77
Şekil 3.20. Tesis Edilen Flotasyon Kolonu.....	78
Şekil 4.1. Dithiofosfat (Aerofloat 7048+7279) Tipi Toplayıcı Kullanılarak Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn Ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	91
Şekil 4.2. Ksantat (KAX) Tipi Toplayıcı Kullanılarak Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn Ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	91
Şekil 4.3. $d_{80} = 0.180$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	96
Şekil 4.4. $d_{80} = 0.125$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	97
Şekil 4.5. $d_{80} = 0.075$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	97
Şekil 4.6. $d_{80} = 0.063$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	98
Şekil 4.7. Tane İrilik Dağılımına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	101
Şekil 4.8. Tane İrilik Dağılımına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	102

Şekil 4.9. 1.30 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	107
Şekil 4.10. 1.80 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model uyarlamaları.....	107
Şekil 4.11. 2.20 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	108
Şekil 4.12. 3 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	108
Şekil 4.13. Hava Hızlarına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	112
Şekil 4.14. Hava Hızlarına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	112
Şekil 4.15. 400 g/ton Toplayıcı Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	118
Şekil 4.16. 500 g/ton Toplayıcı Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	118
Şekil 4.17. 600 g/ton Toplayıcı Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	119
Şekil 4.18. 700 g/ton Toplayıcı Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	119
Şekil 4.19. Toplayıcı Miktarlarına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	123
Şekil 4.20. Toplayıcı Miktarlarına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	123
Şekil 4.21. %7.5 Palp Katı Oranlarını İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	129
Şekil 4.22. %10 Palp Katı Oranlarını İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	129
Şekil 4.23. %15 Palp Katı Oranlarını İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	130
Şekil 4.24. %20 Palp Katı Oranlarını İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney	

Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	130
Şekil 4.25. Palp Katı Oranlarına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	133
Şekil 4.26. Palp Katı Oranlarına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	134
Şekil 4.27. 0 L/dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	139
Şekil 4.28. 0.5 L/dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	139
Şekil 4.29. 0.75 L/dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	140
Şekil 4.30. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	143
Şekil 4.31. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	144
Şekil 4.32. Temizleme ve Süpürme Flotasyon Deneyi Akım Şeması.....	150
Şekil 4.33. Optimum Şartlarda Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	151
Şekil 4.34. Temizleme Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları.....	151
Şekil 4.35 Optimum Deney Sonucuna Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	152
Şekil 4.36 Optimum Deney Sonucuna Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	152
Şekil 4.37. Temizleme Flotasyon Deney Sonucuna Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	153
Şekil 4.38. Temizleme Flotasyon Deney Sonucuna Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki.....	153
Şekil 5.1. Önerilen Akım Şeması 1.....	157
Şekil 5.2. Önerilen Akım Şeması 2.....	157

SİMGELER VE KISALTMALAR

<u>Sembol</u>	<u>Açıklama</u>	<u>Birim</u>
J_h	Hava hızı	cm/sn
J_b	Besleme hızı	cm/sn
J_a	Artık hızı	cm/sn
J_B	Bias hızı	cm/sn
J_{ys}	Yıkama suyu hızı	cm/sn
C	Taşıma kapasitesi	gr/cm ² /sn
C_h	Hacimsel hava miktarı	%
Q_x	Debi	cm ³ /sn
A_c	Kolon kesit alanı	cm ²
Q_h	Hacimsel hava akış hızı	cm/sn
d_t	Tane çapı	cm
ρ_t	Tanenin özgül ağırlığı	gr/cm ³
a	Sabit	Birimsiz
d_k	Köpükteki kabarcık çapı	cm
d_{80}	Konsantrenin %80'nin geçtiği tane boyu	μ m
ρ_t	Konsantrenin yoğunluğu	g/cm ³
β	Paketlenmeyi tanımlayan parametre	Birimsiz
d_{80}	Konsantrenin %80'nin geçtiği tane boyu	μ m
P_c	Tane kabarcık çarpışma olasılığı	Birimsiz
P_a	Tanenin kabarcığa tutunma olasılığı	Birimsiz
F	Köpük duraylılık faktörü	Birimsiz
V	Hücredeki palp hacmi	Litre
X	Palp içindeki x boyutlu tanelerin derişimi	kütle/ hacim
P_e	Tanenin köpük fazının sıyrılması sırasında konsantreye geçme olasılığı	Birimsiz
P_f	Kabarcığa yapışan tanenin hücre yüzeyindeki köpük zonuna taşınma olasılığı	Birimsiz

k	Flotasyon hız sabiti	1/dk.
C	Palpta benzer özelliğe sahip tanelerin konsantrasyonu	%
T	Zaman	dk.
V	Birim hacim	mL
M	Ağırlık	gr
R	t zamanındaki verim	(%)
R_{∞}	Sonsuz verim	(%)
k_s	Yavaş yüzen hidrofob tanelerin hız sabitleri	1/dk
k_f	Hızlı yüzen hidrofob tanelerin hız sabitleri	1/dk
$\emptyset$	Yavaş yüzen hidrofob tanelerin beslemedeki yüzdesi	%
K_m	Modife flotasyon hız sabiti	1/dk.
$S.I$	Selektif İndeksi	Birimsiz
K_{m1}	Değerli mineralin modife flotasyon hız sabiti	1/dk
K_{m2}	Gang mineralin modife flotasyon hız sabiti	1/dk
L_A	Kolonun üst noktasının kotu (A noktası)	m
L_B	Kolonun hava tutulumunun ölçülen noktası (B noktası)	m
ϵ_A	A noktasındaki hava tutunum yüzdesi	%
ϵ_B	B noktasındaki hava tutunum yüzdesi	%
10.33	Atmosferik basınç	m.ss
d_A	Hava kabarcığının A noktasındaki çapı	cm
d_B	Hava kabarcığının B noktasındaki ölçülen çapı	cm
τ_p	Minerallerin kolonda kalma süreleri	dk.
D	Fark serisi	Birimsiz
μ_D	Ana kütlenin ortalaması	Birimsiz
σ_D	Standart sapma	Birimsiz
$\bar{D}$	Seri ortalaması	Birimsiz
H_0	Sıfır hipotezi	Birimsiz
H_1	Alternatif hipotezi	Birimsiz
X_{ort}	Örnek ortalamaları	Birimsiz
GKT	Genel kareler toplamı	Birimsiz
GAKT	Gruplar arası kareler toplamı	Birimsiz

GİKT	Grup içi kareler toplamı	Birimsiz
K	Örnek sayısı	Adet
N	Örnek büyüklüğü	Birimsiz
V	Serbestlik derecesi	Birimsiz
s_1^2	Gruplar arası kareler ortalaması	Birimsiz
s_2^2	Gruplar içi kareler ortalaması	Birimsiz
AÖF	Asgari önemli sayılacak fark	Birimsiz
M	Yakınlık katsayısı	Birimsiz
r_m	Standart yakınlık derecesi	Birimsiz
s_p^2	Ortak varyans	Birimsiz
R_m	AÖF değeri	Birimsiz
E	Fiili ve teorik değerler farkı	Birimsiz
Y	Fiili değerle	Birimsiz
Y_1	Teorik değerler	Birimsiz

1. GİRİŞ

Flotasyon zenginleştirme yöntemi 20. yy'da gelişen en önemli teknolojilerden biri olarak yerini almıştır. Bu teknoloji sayesinde milyonlarca ton kayacın cevher olarak değerlendirilmeye başlanması ile dünyanın doğal mineral kaynakları artmıştır (Parekh ve Miller, 1999). Flotasyon yöntemi günümüzde sorunlu kurşun-çinko cevherlerinden bugünkü teknolojinin gereksinimlerine cevap verecek konsantreler üretilmeye imkan sağlamıştır. 1500 yıldan fazla bir zamandır kurşun-çinko madenciliği nedeniyle iri tanede serbestleşen ve yüksek Zn-Pb tenörlü yataklar yok denecek kadar azalmıştır. Bu nedenle çinko ve kurşun cevherlerinin değerlendirilmesinde flotasyon ile zenginleştirme temel zenginleştirme yöntemidir (Çilingir, 1996).

Yapılan son istatistiksel çalışmalara göre yıllık olarak iki milyar ton cevher ve kömür flotasyon tekniği ile zenginleştirilmektedir (Castro ve Hoces, 1996). En çok kullanılan zenginleştirme yöntemlerinden biri olan bu proses çok karmaşıktır ve ara yüzey özellikleri, reaktifler ve gazların özellikleri, ortamın iyonik özellikleri, hidrodinamik, enerji ve kinetik gibi pek çok özelliklerden etkilenir (Yekeler ve Yarar, 1999).

Son yıllarda madencilik faaliyeti yapılan cevher yataklarının tenörlerinin azalması, ince tane boyutunda serbestleşen, kompleks ve seçicilik problemi olan cevherleri zenginleştirme zorluğu, artan enerji ve yatırım maliyetleri flotasyon teknolojisinde yeni arayışların doğmasına yol açmıştır. Flotasyon teknolojisindeki en önemli gelişme ise yeni bir tasarım olan flotasyon kolonlarının endüstriyel uygulama alanı bulması olmuştur. Böylece farklı tasarım özelliklerine sahip flotasyon kolonları yıllarca standart flotasyon hücresi olarak kullanılan mekanik hücrelere alternatif olarak görülmüştür (Aksani, 1998). Mekanik flotasyon makinelerine alternatif olarak geliştirilen flotasyon kolonları; düşük yatırım ve işletme maliyeti ile yüksek metalürjik performans sağlaması nedeni ile mineral endüstrisinde önemi giderek artmaktadır (Flint ve ark, 1992)

1.1. Genel Bilgiler

Tabiatta 130'dan fazla kurşun ve 50'den fazla çinko minerali bulunduğu saptanmıştır. Kurşun minerallerinin veya çinko minerallerinin bir diğerini bulundurmada yalnız başlarına oluşturdukları ekonomik olarak değerlendirilebilecek yataklar oldukça azdır. Ekonomik değere sahip kurşun yataklarında ekonomikliliği artırıcı oranda çinko minerallerine veya çinko yataklarında ekonomikliliği artırıcı oranda kurşun minerallerine rastlanır. Kurşun ve çinko yataklarındaki kurşun ve çinko mineralleri genelde aynı madencilik işlemleri ile üretildikleri gibi aynı zenginleştirme tesislerinde birbirlerinden veya ekonomik değer taşıyan diğer kıymetli minerallerden ve gang minerallerinden ayrılır (Çilingir, 1996).

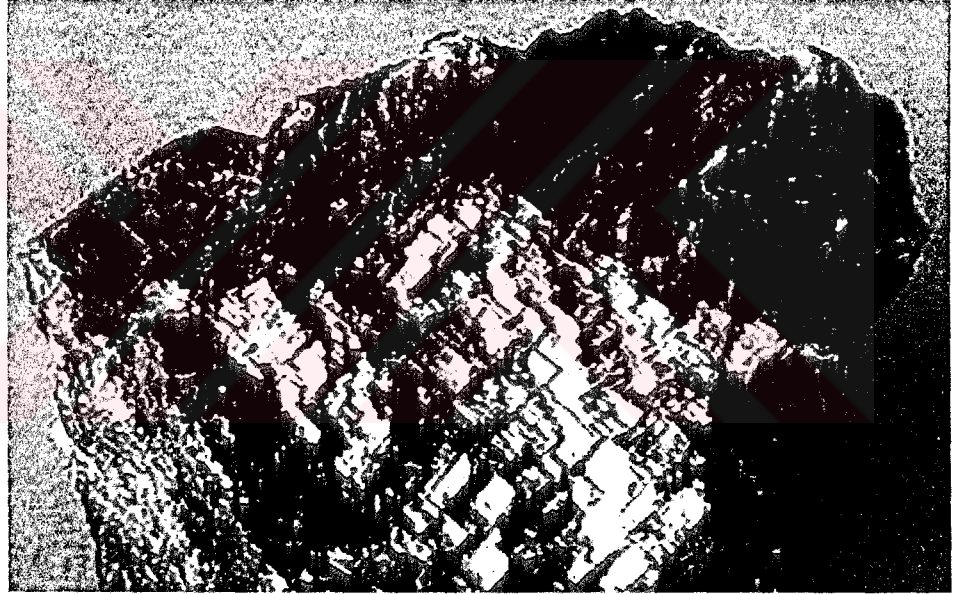
Yumuşak olması, işlenme kolaylığı, yüksek özgül ağırlığı, yüksek kaynama noktası, düşük ergime noktası, aşınmaya karşı direnci, enerji absorpsiyonu ve kısa dalga ışınları geçirmeme özelliği kurşuna bir çok kullanım alanında üstünlük sağlamaktadır. Kurşun son yıllarda yerine çeşitli malzemeler kullanılmaya başlanmış olmasına karşın, akü imalatı, boya, kimya ve metal alaşımı olarak sanayiinin önemli bir hammaddesidir. Günümüzde çinko ise çelik, alüminyum ve bakırdan sonra Dünyada miktar olarak yıllık tüketimi en fazla olan metaldir. Kimyasal yönden aktif olması ve diğer metallerle kolayca alaşım yapabilmesi nedeniyle çinko, endüstride birçok alaşımın ve bileşiğin üretiminde kullanılmaktadır. Güçlü elektropozitif özelliğinden dolayı diğer metallerin özellikle demir-çelik ürünlerinin aşınmaya karşı korunmasında kullanılmaktadır. Çinko metali ana ürün olarak galvanizleme, pres döküm alaşımları, pirinç ve bronz alaşımları, çinko oksit ve haddelenmiş çinko alaşımlarında kullanılır (Yıldız, 2002).

1.1.1. Kurşun-Çinko Mineralleri

En yaygın olarak bulunan kurşun minerallerinden galen (PbS) kurşun üretimine en büyük katkıyı sağlar. Diğer kurşun minerallerinin oluşturduğu yataklara

nadiren rastlanır. Oksidasyon zonu minerallerden yalnızca serüzit (PbCO_3), kendi başına ekonomik olacak yataklanmalar oluşturabilmektedir.

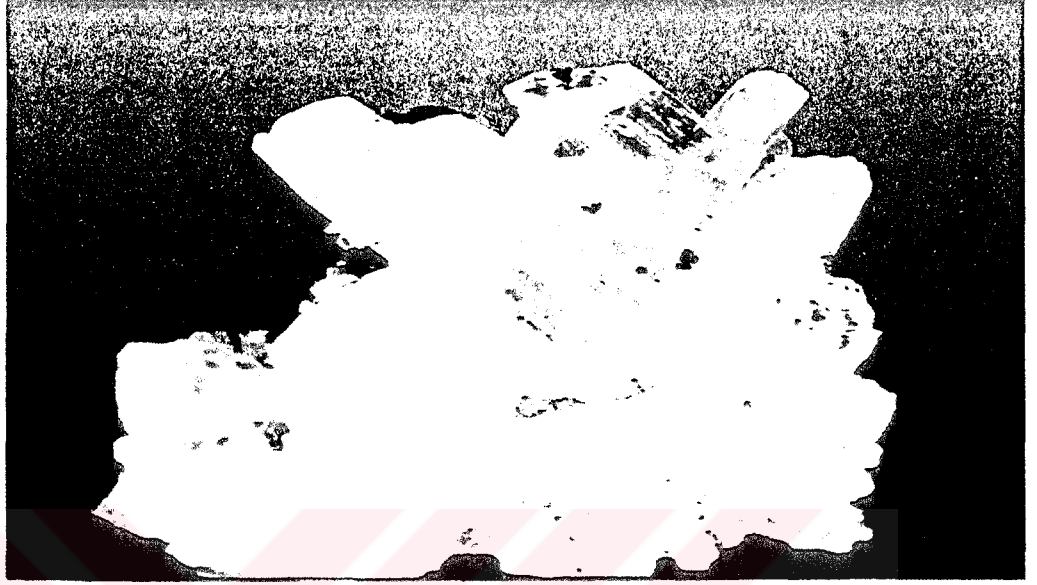
Galen (PbS): Şekil 1.1’de tipik bir görünümü verilen galen minerali, %86.6 Pb ve %13.4 S içerir. Az miktarda demir, çinko, antimuan, selenyum, gümüş ve altın da içerebilir. Gümüş içeriği genellikle %0.01-2.0 arasında değişir. Bu nedenle simli kurşun adını da alır. Sertliği 2.3, özgül ağırlığı ise $7.4-7.6 \text{ g/cm}^3$, gümüş grisi rengindedir. Kübik sistemde kristalleşen galen üfleç alevinde kolayca ergir. Sfalerit, pirit, markazit, kalkopirit, seruzit, anglezit, dolomit, kalsit, kuvars, barit ve fluoritle birlikte metal sülfid damarlarında yaygın olarak bulunur. Ayırıcı özelliklerinden, rengi, metalik parlaklığı, mükemmel dilinimi ve yüksek özgül ağırlığı sayılabilir.



Şekil. 1.1. Galen Minerali (www.mta.gov.tr)

Seruzit (PbCO_3): Tipik bir görünümü Şekil 1.2’de verilen seruzit, galen filonlarının üzerinde bazen kristaller bazen de yoğun ve stalaktit şekilli kütleler halinde bulunur. Tek veya gruplar halinde kristalleri izlenen seruzit, tetragonal kristal yapıdadır. Gevrek yapılı, sertliği 3-3.5, özgül ağırlığı 6.5 g/cm^3 tür. Sarı, gri esmer ve beyaz renklerde olan minerallerin saf olanı beyaz renklidir. Bulunuşu, daima ikincil kökenlidir. Anglezit, galenit, smitsonit, piromorfit ve sfalerit ile birlikte kurşun

damarlarının oksidasyon zonlarında oluşur. Ayırıcı özelliklerinden, yüksek özgül ağırlığı, elmas parıltılı olması, nitrik asitte çözünabilirliği sayılabilir.



Şekil.1.2. Serüzit Minerali (www.gc.maricopa.edu)

Anglezit ($PbSO_4$): Şekil 1.3’de tipik bir görünümü verilen anglezit, %68.3 Pb içerir. Yapısı gevrek, sertliği 3, özgül ağırlığı 6.3 g/cm^3 ’tür. Ortorombik sistemde kristalleşen anglezit, renksiz olmasına karşın çeşitli renklerde görülebilir. İkincil bir kurşun mineralidir. Çoğunlukla kurşun yataklarının oksidasyon zonunda oluşur. Sıkça, galen çekirdeğini çevrelemiş olarak bulunur. Ayırıcı özelliklerinden, yüksek özgül ağırlığı, parlaklığı, galen ile birlikte bulunması, ısıtılmış nitrik asitte reaksiyon vermemesi ile seruzit’den ayrılır.

Çinko üretimine en büyük katkıyı sağlayan en önemli mineral sfalerit (ZnS) dir. Smitsonit ($ZnCO_3$) de ekonomik olabilecek yataklanmalar oluşturur. Çinko cevherleriyle birlikte kurşunun yanı sıra primer ve sekonder yataklarda pirit (FeS_2), kalkopirit ($CuFeS_2$), arsenopirit ($FeAsS$), pirotin ($Fe_{1-x}S$) ve nadiren kasiterite (SnO_2) raslanır. Sfaleritle beraber kadminyum çinko cevherlerinde yüksek oranlarda da bulunabilmektedir. Çinko cevherlerinde nabit olarak veya pirit ve kalkopirit içerisinde altına rastlanır. Ayrıca çinko cevherlerinde indium ve germanyum da bulunur.



Şekil 1.3. Anglezit Minerali (www.gc.maricopa.edu)

Sfalerit (ZnS): Şekil 1.4’de tipik bir görünümü verilen sfaleritin formülü ZnS’dir ve teorik olarak %67 çinko ve %33 kükürt içermektedir. Genellikle FeS ile izomorfdur. Demir oranı bazen %20’ye kadar yükselebilmektedir. Siyah renkli olan bu minerale marmatit denilmektedir. Ayrıca CdS ve MnS de içerir. Sfalerit kübik kristal sistemde kristalleşmekte ve kompakt, yaprağımsı ve ince taneli agrega halinde bulunur. Koyu kahverengi, siyahımsı olabildiği gibi, renksiz veya açık sarı renklerde de olabilmektedir. Çizgi rengi sarımsı veya sarı kahverengidir. Kendine özgü blend cilalıdır. Genellikle yarı saydam, safken saydamdır. Dilinimi mükemmeldir. Sertliği 3.5-4, özgül ağırlığı ise 3.9-4.2 g/cm³ arasındadır. Sfalerit başlıca, hidrotermal olarak ve kalker ile dolomitlerin ornatılması ile oluşmaktadır. Ayrıca magmatojen, sedimanter pnömotojen ve hatta metamorf olarak da oluşabilmektedir. Sfaleritin bozuşmasından limonit ve çinko sülfatlar daha sonra ise çinko karbonat (smitsonit) meydana gelmektedir. Çinko karbonat 1020 °C’nin üzerinde vurtzite dönüşmektedir. Genellikle galen, kalkopirit, pirit, kuvars, kalsit, flüorit ve barit ile birlikte bulunmaktadır. Ayırıcı özelliklerinden, parlaklığı, mükemmel dilinimi, koyu renkli olanların kırmızımsı kahve çizgi rengi sayılabilir.

Smitsonit ($ZnCO_3$): Şekil 1.5’de tipik bir görünümü verilen smitsonit Hegzagonal sistemde kristalleşmektedir. Genellikle yumrulu, böbreğimsi veya damlataşlar andıran agregalar şeklinde bulunmaktadır. Önemli çinko minerali olan smitsonit, kalamın, hidrozinkit, kalsit, dolomit gibi minerallerle birlikte bulunmaktadır. Renksiz, beyaz sarımsı kahverengi, yeşilimsi, mavimsi renklerde bulunmakta olup sertliği 5, özgül ağırlığı ise 4.3 g/cm^3 ’tür. Dilinimli, gevrek cam cilalı ve yarı saydam görünüştedir. Bileşiminde %52 Zn ile önemli miktarda Fe ve Mn bulunmaktadır. Smitsonit, sfaleritin bozuşmasında ileri gelen çinko sülfat eriyiğinin kalker veya dolomiti ornatması yolu ile oluşmaktadır Ayırıcı özelliklerinden, dilinimi, HCl’de çözünabilirliği, yüksek özgül ağırlığı sayılabilir. (DPT, 2001; www.mta.gov.tr).

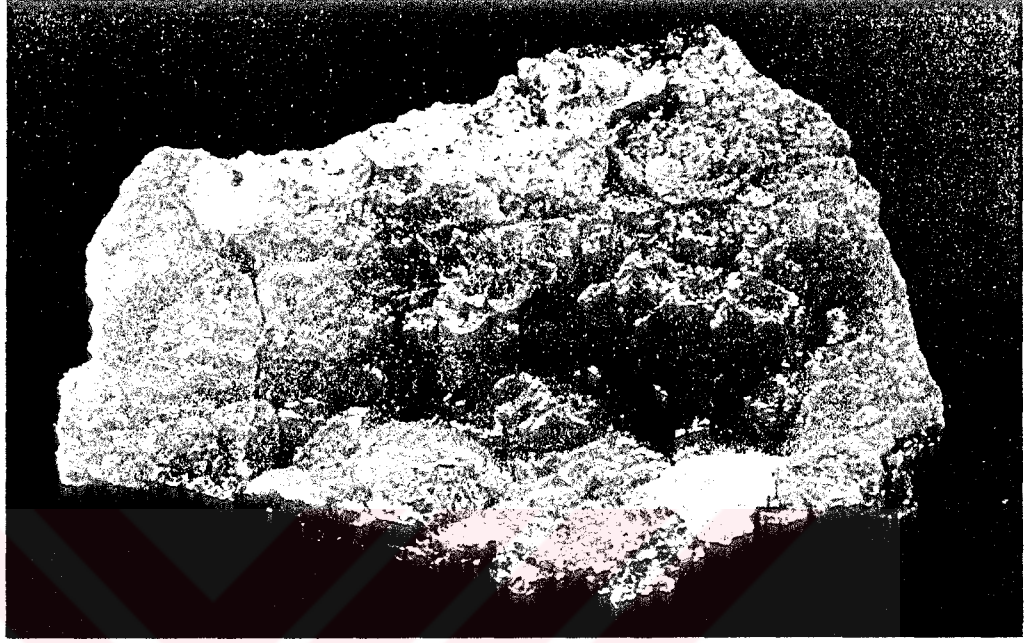


Şekil 1.4. Sfalerit Minerali (www.gc.maricopa.edu)

1.1.2. Kurşun-Çinko Cevherleri

Kurşun-çinko mineralleri yalnız başlarına ekonomik yataklar şeklinde cevherleşmeler oluşturdıkları gibi genelde kurşun ve çinko minerallerinin ve hatta diğer metal minerallerinin birlikte bulunduğu yataklar daha yaygındır. Kurşun-çinko

cevherleri içerdikleri ekonomik mineral çeşitleri dikkate alınarak cevher zenginleştirme yönünden aşağıdaki gruplara ayrılır (Çilingir, 1996).



Şekil.1.5. Smitsonit Minerali (www.gc.maricopa.edu)

Kurşun Cevherleri: Bu cevherler yalnızca kurşun mineralleri içerirler. Çinko mineralleri yok denecek kadar azdır. Cevher içinde kıymetli element olarak yüksek oranda gümüş bulunur. Bazı kurşun cevherlerinde kurşun mineralleri yanında ekonomik olarak değerlendirilebilecek oranda barit bulunur. Kurşun mineralleri olarak galen, seruzit ve anglezit değerlendirilir.

Çinko Cevherleri: Cevher içinde ekonomik olarak değerlendirilebilecek yalnızca çinko mineralleri ve pirit bulunur. Cevherdeki kurşun, bakır ve diğer element mineralleri yok denecek kadar azdır. Bu cevherdeki değerlendirilebilecek ana mineral sfalerit veya smitsonittir. Sfalerite bağlı olarak bulunan diğer elementler de (kadminyum, indium, germenyum) yan ürün olarak kazanılarak değerlendirilebilir.

Kurşun-Çinko-Bakır Cevherleri: Çok yaygın olarak rastlanan bu tip cevherlerde “polymetalik cevherler” denir. Çinko, kurşun ve bakır mineralleri ile beraber pirit bazen de barit bulunur. Bu cevherlerden üretilen konsantrelerden yan ürün olarak gümüş ve altının yanı sıra nadir elementlerde kazanılır.

Kurşun-Çinko Cevherleri: Kurşun-çinko cevherinde ekonomik değerde yalnızca kurşun ve çinko mineralleri bulunur. Cevherde bulunulabilen gümüş, altın ve kadmiyum da yan ürün olarak değerlendirilir. Bu tip cevherlerde pirit ve kalkopirite rastlanırsa da değerlendirilecek oranda bulunmazlar.

Kurşun-Çinko-Kalay Cevherleri: Sfalerit, galen, arsenopirit, pirit ve stannin ($\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$) içeren bu tip cevherler nadiren oluşmuşlardır. Cevherleşmede bazen soy ve nadir metal bileşiklerine de rastlanır. Bu durumlarda gümüş, indium ve galyum gibi kıymetli metaller yan ürün olarak kazanılır.

Kurşun-Çinko-Kalay-Molibden Cevherleri: İçerdikleri kıymetli mineraller yönünden farklılıklar gösterirler. Genelde sfalerit, galen, kasiterit, molibden bazen pirit ve kalkopirit içerirler. Ayrıca yukarıdaki kıymetli metal mineralleriyle beraber bulunan nadir elementlerde değerlendirilip yan ürün olarak kazanılabilir.

1.2. Kurşun-Çinko Cevherlerinin Zenginleştirme Yöntemleri

Üretilen kurşun-çinko cevherlerinin doğrudan izabe edilmeleri ekonomik olmadığından bunların önce çeşitli cevher zenginleştirme yöntemleri ile konsantre edilmeleri gerekir. Kurşun-çinko zenginleştirmesinde yoğunluk farkı ile ayırma (gravite) yöntemi ile temel zenginleştirme yöntemi olan flotasyon yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden yoğunluk farkı (gravite) ile zenginleştirme yöntemi 20. yy'da flotasyon ve manyetik ayırmanın devreye girmesi ile önemini kaybetmiştir (Doğan, 1994).

Günümüz kurşun -çinko cevherlerinin zenginleştirilmesinde yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yöntemi;

- i- Flotasyon selülüne beslenen cevherin tenörünü yükseltmek ve cevhersiz gangın flotasyona girmesini önlemek için ön zenginleştirme işlemi olarak
- ii- Cevherde yeterli oranda iri tanede serbestleşen sfalerit veya galen varsa; bunlardan iri taneli konsantre üreterek, flotasyon masraflarını azaltmak ve yalnızca yoğunluk zenginleştirmesi artıklarını flote etmek için ve
- iii- Flotasyon zor zenginleşen oksitli çinko veya kurşun cevherlerinden konsantreler üretmek için uygulanmaktadır (Çilingir, 1996).

1.2.1. Flotasyonla Kurşun-Çinko Cevherlerinin Zenginleştirilmesi

Flotasyon günümüzde en çok kullanılan ve her yıl milyonlarca ton konsantrenin üretildiği bir prosestir (Hoşten, 2002). Söz konusu yöntem özellikle bakır, kurşun ve çinko cevherlerinde tamamen kömür, demir ve krom cevherlerinde ise kısmen zenginleştirme yöntemi olarak kullanılmaktadır. Yüksek tenörlü cevherlerin tükenmesi ile birlikte gang içinde dağılmış olan cevherlerin kazanım zorluğu flotasyon yönteminin önemini günden güne artırmıştır (Ergin ark, 1998)

Flotasyon, karışım halindeki partiküllerin yüzey kimyasal özelliklerindeki farklılıklardan yararlanmak suretiyle palp içindeki partiküller arasındaki ıslanma farklılıklarından yararlanmaktadır. Prosesin çalışma mekanizması ise, reaktiflerle hidrofobik hale getirilen ince boyutlara öğütülmüş partiküller palp içerisinde yükselen hava kabarcıklarına çarpışıp yapışması ile hücrede köpük tabakasına ulaşırlar ve oradan alınırlar. Yeteri kadar hidrofobik olmayan partiküller hava kabarcıklarına yapışamazlar ve süspansiyon içinde kalarak artık olarak atılırlar. En çok kullanılan zenginleştirme yöntemlerinden biri olan bu proses; ara yüzey özellikleri, reaktifler ve gazların özellikleri, ortamın iyonik özellikleri, hidrodinamik, enerji ve kinetik gibi pek çok özelliklerden etkilenir (Yekeler ve Yarar, 1999).

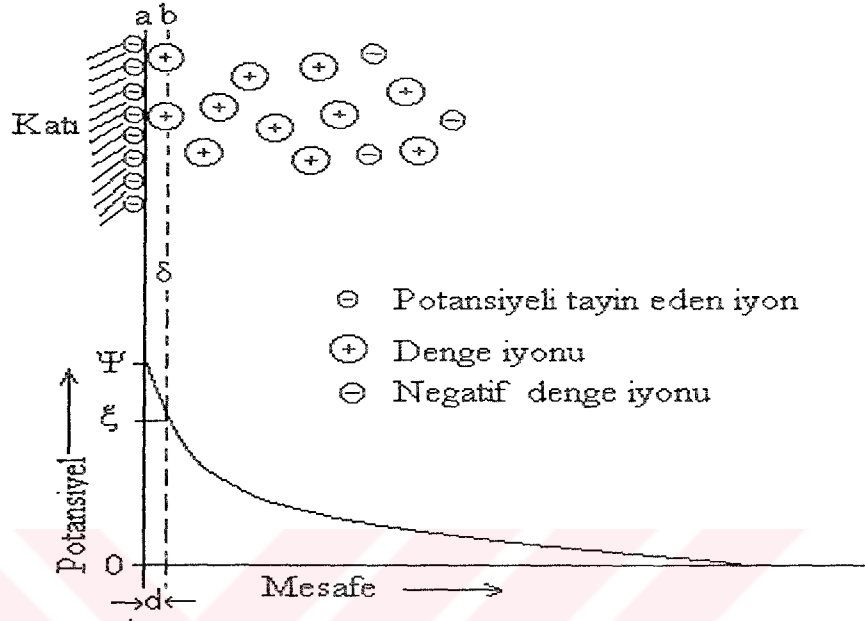
Birkaç istisna dışında, inorganik katıların yüzeyleri su içinde tam olarak ıslanırlar. Islanmayı meydana getiren sebep, katı yüzeyindeki iyonların, su içindeki hidrate iyonlarla bağlantı kurmalarıdır. Bu hidrate iyonlar, suyu teşkil eden hidrojen ve hidroksil iyonları olabileceği gibi, su içinde bulunan diğer elektrolitler de olabilir. Flotasyonda ilk kademe, yüzdürülmek istenen mineralin yüzeyinde su-katı ara yüzeyi yerine, katı-hava ara yüzeyi meydana getirmektir. Bu, su fazına uygun kimyasal maddelerin ilavesi ile meydana getirilir. Bu söz konusu reaktiflerle mineral yüzeyi üzerindeki reaksiyon neticesinde, mineral yüzeyinde suyu iten (hidrofob) bir tabaka meydana gelir.

Katı bir madde kırılıp suya atıldığı zaman, su içinde başka iyonlar bulunmasa bile, katı madden suya geçen iyonlar ve suyu meydana getiren H^+ ve OH^- iyonları sebebi ile katı madde yüzeyi pozitif veya negatif işaretli bir elektrik şarjı kazanır ve

bunu çevreleyen su, muhtelif iyonları ihtiva eden bir çözelti durumunu alır. Bu durumda, coulomb kanununa göre, mineral yüzeyi ile zıt işaretli iyonlar mineral yüzeyi tarafından çekilir. Böylece çözelti içindeki iyonların bazılarının konsantrasyonu katı yüzeyi civarında artar, bazılarinki azalır. Ara yüzeylerde bazı iyonların konsantrasyonunun artmasına adsorpsiyon denir. Mineral yüzeyine adsorbe olan iyonların konsantrasyonu, yüzeyden uzaklaştıkça azalır ve neticede çözeltinin normal konsantrasyonuna ulaşır. Zıt işaretli iyonların yüzeye toplanması ile, mineral yüzeyinin potansiyeli yüzeyden uzaklaştıkça azalır. Su veya bir çözelti içine konulan katı madde yüzeyinin elektriksel bir yük kazanması, potansiyeli tayin eden iyonlar dolayısı ile meydana gelmektedir. Yüzeyle zıt işaretli iyonlar, yüzey yakınında toplanarak yüzey elektrik yükünü dengelemeye çalışacaklardır. Yüzey yakınında, yani katı sıvı ara yüzeyinde toplanan bu iyonlara, dengeleyici iyonlar adı verilir. Dengeleyici iyonların, yüzey civarında artan konsantrasyonları yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir. Kimyasal dengeye erişildiğinde, katı yüzeyindeki elektrik yükü dağılmış iyonların meydana getirdiği elektrik yükü ile dengelenmiş olacaktır. Yani mineral yüzeyi potansiyeli sıfıra inecektir. Bu durum, bir kondansatörün zıt elektrik yüklü levhalarına benzetilerek, elektriksel çift tabaka adını almıştır.

Helmholtz elektriksel çift tabaka kalınlığını bir molekül kalınlığı veya ona yakın bir büyüklük olarak kabul etmiştir. Bu görüş Gouy-Chapman tarafından değiştirilerek, elektriksel çift tabaka kalınlığının çözelti içinde katı yüzeyden belirli bir uzaklığa kadar uzandığını ileri sürmüştür. Katı-sıvı ara yüzeyinde meydana gelen ve yüzey elektrik yükünü dengeleyen elektriksel çift tabaka ne Helmholtz modelinde olduğu gibi yüzeye zıt işaretli iyonların toplanması ile meydana gelen bir molekül kalınlığı açıklığına sahip bir kondistörün plakaları gibidir nede Gouy-Chapman modelindeki gibidir. Helmholtz ve Gouy-Chapman modelini birleştiren elektriksel çift tabaka modeli Stern tarafından izah edildiği gibi katı yüzeyine hemen hemen bir molekül kalınlığı mesafede Stern düzlemi adı verilen hayali bir düzlem düşünülür. Burada bulunan zıt işaretli iyonlar, yüzey potansiyelini lineer olarak azaltırlar. Bunun dışında, dağılmış iyonları bulunduran tabaka bulunur. Burada potansiyelin azalışı lineer değildir, daha uzun mesafede azalarak sıfıra düşer, yani iyon konsantrasyonu

yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir (Şekil 1.6) (Atak, 1990).



Şekil 1.6. Stern'e Göre Elektriksel Çift Tabaka Modeli (Atak, 1990)

a: Katı yüzeyi b: Stern düzlemi Ψ : Katı yüzey potansiyeli ξ : Katı yüzeyin ölçülebilen potansiyeli

Muhtelif katıların sıvı ortamda, gaz kabarcıklarına yapışarak birbirlerinden ayrılmasını sağlayan flotasyon sisteminde üç faz daima bir arada bulunur. Bu üç faz, yüzdürülen katı fazı, muhtelif iyonları bulunduran sıvı veya su fazı ve kabarcıkları meydana getiren gaz veya genel olarak hava fazıdır. Flotasyon sisteminde sıvı-katı ve gaz gibi üç ara yüzeyin dengede olduğu termodinamik durum Young eşitliği ile izah edilir (Kaytaç, 1990).

γ_{HS} = Hava-su ara yüzey gerilimi

γ_{SM} = Su-mineral (katı) ara yüzey gerilimi

γ_{MH} = Mineral-hava ara yüzey gerilimi

olarak gösterildiği takdirde, üç faz dengede olduğu zaman yüzey gerilim toplamı sıfıra eşit olmaktadır.

$$\gamma_{HS} + \gamma_{SM} + \gamma_{MH} = 0 \quad (1.1)$$

Şekil 1.7'deki yüzey gerilimi ise şöyle yazılabilir;

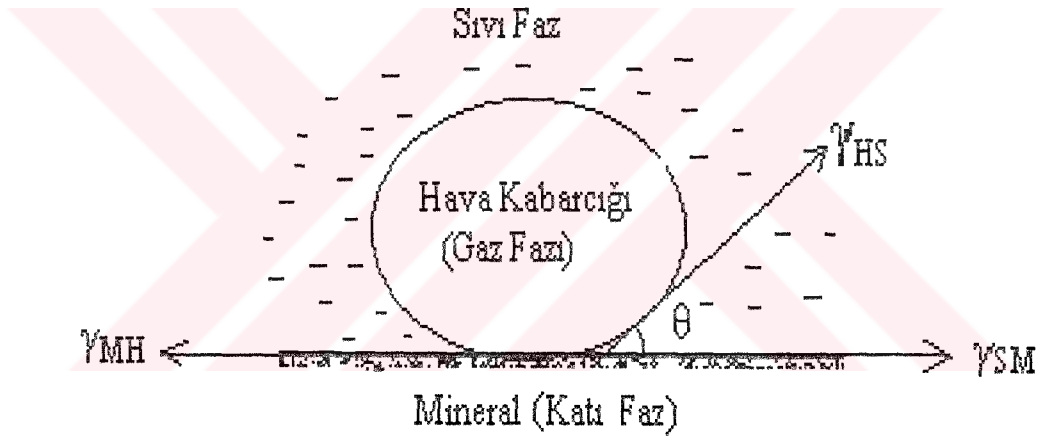
$$\gamma_{HS} \cos\theta = \gamma_{MH} - \gamma_{SM} \quad (1.2)$$

buradan;

$$\cos\theta = (\gamma_{MH} - \gamma_{SM}) / \gamma_{HS} \quad (1.3)$$

elde edilir. Bu açıya temas açısı denir.

$\gamma_{HS} < \gamma_{MH} - \gamma_{SM}$ durumunda sıvı mineral yüzeyini tamamen ıslatır, hava fazı mineral fazından ayrılır ve θ değeri sıfır olur yani bastırılma durumu oluşmaktadır. $\gamma_{HS} > \gamma_{MH} - \gamma_{SM}$ olduğu zaman ise, mineral yüzebilme durumu oluşmaktadır (Ergin ve ark, 1998).



Şekil 1.7. Katı-Sıvı-Gaz Ara Yüzey Dengesi (Kaytaç, 1990)

Mineral parçacıklarının seçimli olarak toplayıcı ile kaplanması konusunda pek çok inceleme yapılmış ve teori geliştirilmiştir. Bunlar içinde en önemlileri, iyon ve elektron transferi ile oluşan kimyasal adsorpsiyon, elektrokinetik etkilerden kaynaklanan fiziksel adsorpsiyon, atom ve molekül boyutları nedeni ile yüzeydeki boşlukların doldurulması esasına dayanan özel adsorpsiyondur. Gerek kimyasal gerekse fiziksel adsorpsiyonda, tolayıcının iyonik bir yapıda olması gerekir. Bu bakımdan toplayıcı reaktifler genellikle organik asitler, bazlar ve bunların tuzlarıdır. Toplayıcının iyonlaşan kısmı, yukarıda bahsedilen üç etkileşimden biri ile mineral

yüzeyine bağlanarak, polar olmayan hidrokarbon tabakası ile yüzeyin kaplanmasını ve böylece suyu iten (hidrofob) bir yüzey oluşumunu sağlar (Atak ve Tolun, 1994)

Minerallerin çoğu doğal olarak su sever (hidrofil) özelliğe sahiptirler. Flotasyon tekniği ile zenginleştirme yapabilmek için yüzdürülmesi istenen mineralin yüzeyinin su sevmez (hidrofob) hale getirme zorunluluğu vardır. Bu da selektif olarak mineral yüzeyine absorbe olarak mineral yüzeyini hidrofob hale getiren toplayıcı yada kollektör olarak adlandırılan flotasyon reaktifleri ile gerçekleştirilir (Kelly ve Spottiswood, 1982). Flotasyon sisteminde kullanılan diğer bir reaktif grubu kontrol reaktifleri olup, yüzmesi istenen mineralin köpüğe yapışmasını kolaylaştıran canlandırıcı (activator) reaktifler, yüzmesi istenmeyen minerallerin köpüğe yapışmasını önleyen bastırıcı (depressant) reaktifler, pH'yi kontrol ederek ve zararlı iyonları çöktürerek toplayıcıyı (kollektörü) koruyan reaktifler ve pülp içinde mineral tanelerinin şlamla kaplanmasını önlemek maksadıyla kullanılan dağıtıcı reaktifler olmak üzere çeşitli sınıflara ayrılır (Atak ve Tolun, 1994). Flotasyon ile kurşun-çinko zenginleştirilmesinde genel olarak kullanılan kontrol reaktifleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Flotasyon zenginleştirilmesinde kullanılan diğer bir reaktif grubu da köpürtücüler olup, hava-su ara yüzeyine adsorbe olarak ortamın yüzey gerilimini azaltmak sureti ile köpük oluştururlar. Çamyacı ve aromatik alkol olan terpinol ve kresilik asit en sık olarak kullanılan köpürtücülerdir (Kaya, 1991).

Toplayıcılar, mineral yüzeyine bağlanarak yüzeyi hidrokarbon tabakası ile kaplayan ve mineralin hava kabarcığına yapışmasını temin eden kimyasal maddelerdir. Toplayıcılar anyonik ve katyonik olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Anyonik toplayıcılar, organik asitlerle bunların tuzlarından meydana gelmişlerdir. Bu bileşiklerde hidrojen veya alkali metal bir polar grup aracılığı ile hidrokarbon zincirine bağlanmıştır. Katyonik toplayıcılar azota bağlanmış hidrokarbon zincirinin meydana getirdiği toplayıcılardır (Kaytaç, 1990).

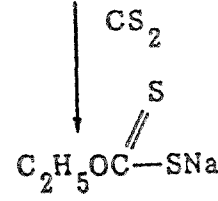
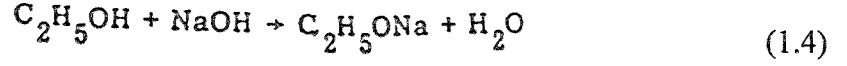
Çizelge 1.1. Flotasyon ile kurşun-çinko zenginleştirilmesinde kullanılan kontrol reaktifleri

Kontrol Reaktifi	Etkisi
Bakır Sülfat (CuSO_4)	Sfaleriti canlandırır
Çinko Sülfat (ZnSO_4)	Sfaleriti bastırır
Sodyum Hidroksit (NaOH) Sodyum Karbonat (Na_2CO_3) Kireç (CaO)	Ortamın pH'nı yükseltir
Sodyum Sülfür (Na_2S)	Mineral yüzeyini sülfürleştirir
Sodyum Siyanür (NaCN)	Sfalerit ve piriti bastırır
Kromat ve Dikromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	Galenit bastırır
Sodyum Silikat (Na_2SiO_3)	Gang minerallerini bastırır
Asitler	Ortamın pH'nı düşürür

Anyonik toplayıcılar da kendi içerisinde oksidril ve sülfüdril olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Bunlardan en çok kullanılanı çift sülfür içerikli polar grubu sülfidril toplayıcılarıdır. Bunlar özellikle sülfür flotasyonunda sıkça kullanılan güçlü toplayıcılarıdır. Sülfidril toplayıcılardan ksantatlar ve dithiofosfatlar (Aerofloat) en geniş olarak kullanılan anyonik toplayıcılardandır (Wills, 1985).

Sülfürlü cevherler, flotasyon prosesinin uygulandığı cevherler içerisinde en büyük grubu teşkil ederler. Sülfürlü cevherlerin flotasyonunda en önemli faktör toplayıcı cinsinin seçimi olup söz konusu cevherlerin zenginleştirilmesinde tamamen sülfidril toplayıcılar kullanılmaktadır (Aplan ve Chander, 1988). Sülfürlü cevherlerin flotasyonunda kullanılan sülfidril toplayıcılar Çizelge 1.2'de verilmiştir. Bunlardan;

Ksantatlar: Anyonik toplayıcılardan olan ve 60 yıldan fazla bir zamandır madencilik endüstrisinde kullanılan ksantatlar Eşitlik (1.4) doğrultusunda uygun alkol, karbon disülfid ve alkali metal hidroksitten elde edilirler (Harris, 1988).



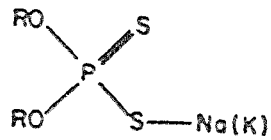
Kısa zincirli ksantatlar suda çok iyi erirler. Sulu çözeltileri laboratuvar ve tesislerde kullanışları sırasında oldukça dayanıklıdır. Fakat hidroliz neticesinde meydana gelen ksantik asit alkol ve karbon sülfüre ayrışabilir. Bu sebeple ksantatlar, uzun süre çözelti halinde muhafaza edilmemelidirler. Ksantatlar suyun yüzey gerilimini de etkilerler fakat kısa zincirlilerinde bu etki oldukça zayıftır. Bu sebeple ksantatlar yağ asitleri ve sülfonatlarla olduğu gibi, köpük teşekkülüne sebep olmazlar (Atak, 1990). En çok kullanılan ksantatlar; etil, izopropil, isobutil ve heksil ksantatlardır (Ergin ve ark, 1998).

Ksantatlar ucuz, kolay üretilen, katı formda uzun fakat, sıvı formda ise raf ömrü daha kısa olan bir toplayıcıdır. Ksantatlar demir sülfür içerikli kompleks sülfür cevherlerinin bulk flotasyonunda selektivitenin önemli olmadığı durumlarda çok iyi sonuçlar vermektedir. Demir sülfürler için kısmi selektivitenin söz konusu olduğu durumlarda kireç kullanılarak pH 9-12'de flotasyon gerçekleştirilir. Ksantat bünyesinde R grubunun içerdiği karbon miktarı arttıkça selektivitenin azalmasına karşın hemen hemen her zaman verim artmaktadır. Sülfür minerallerinin flotasyonunda kullanılan toplayıcılar içinde en ucuz toplayıcı ksantatlardır (Han ve Dowlin, 1999).

Dithiofosfatlar: Fosforik asidin iki oksijeni yerine iki kükürt atomunun geçmesi ile inorganik ditionofosforik asit elde edilir ($\text{H}_3\text{PS}_2\text{O}_2$). Dithiofosforik asit de asit radikali yerine alkalilerin geçmesi ile dithiofosfatlar oluşur. Bu toplayıcılar genellikle sülfürlerin yüzdürülmesinde selektivite sağladığı için kullanılmaktadır (Kayataz, 1990). Dithiofosfatlar polar grubunda beş değerlikli karbonun yerine beş değerlikli fosfor içerir (Wills, 1985).

Çizelge 1.2 Sülfür Minerallerinin Flotasyonunda Kullanılan Toplayıcılar (Han ve Dowlin, 1999)

Toplayıcı Cinsi	Kimyasal Yapısı	Yapısal Özellik
Alkali Dithiokarbonatlar (Ksantatlar)	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{R-O-C-S-M}^+ \end{array}$	$\text{R} = \text{C}_2\text{-C}_6$
Alkali yada Aril Dithiofosfatlar	$\begin{array}{c} \text{R}'\text{-O} \quad \diagdown \\ \quad \quad \text{P-S-M}^+ \\ \text{R}''\text{-O} \quad \diagup \end{array}$	$\text{R} = \text{C}_2\text{-C}_5$ yada $\text{R} =$
Dialkali Tiyokarbamatlar	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{R}'\text{-NH-C-O-R}'' \end{array}$	$\text{R} = \text{C}_2\text{-C}_5$
Tiyokarbanilid	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{-NH-C-NH-} \end{array}$	-
Alkali Ksanthojen Formatları	$\begin{array}{c} \text{S} \quad \text{S} \\ \quad \\ \text{R}'\text{-O-C-S-C-R}'' \end{array}$	$\text{R} = \text{C}_2\text{-C}_6$
Alkali Ksantik Esterler	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{R}'\text{-O-C-S-R}'' \end{array}$	$\text{R} = \text{C}_2\text{-C}_6$
Merkaptobenzotiazol	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \diagup \\ \text{N} \quad \diagdown \\ \quad \quad \text{C-SH} \end{array}$	-
Alkali yada Aril Dithiophosphinates	$\begin{array}{c} \text{R}' \quad \diagdown \quad \text{S} \\ \quad \quad \text{P-S-M}^+ \\ \text{R}'' \quad \diagup \end{array}$	$\text{R} = \text{C}_2\text{-C}_6$ yada $\text{R} =$
Alkali Merkaptanlar	R-SH	$\text{R} = \text{C}_{10}\text{-C}_{12}$
Dialkali Disülfidler	$\text{R}'\text{-S-S-R}''$	$\text{R} = \text{C}_4\text{-C}_8$
Alkali Tritikarbonatlar	$\begin{array}{c} \text{S} \\ \\ \text{R-S-C-S-M}^+ \end{array}$	$\text{R} = \text{C}_2\text{-C}_6$



(1.5)

Dithiofosfatlar ağır metallerle suda erimeyen bileşil yaparlar. Ksantatlara oranla daha kuvvetli asittirler ve asit ortamda da belli oranda iyonlaşırlar. Suda çözünen ve çözünmeyen tipleri vardır. Sülfürlerin flotasyonunda ksantatlara oranla

demir sülfürlere karşı daha seçimli olarak Cu/Pb/Zn minerallerini yüzdürürler (Atak ve Tolun, 1994).

Dithiofosfatlar toplayıcı grubu, sülfür minerallerinin flotasyonunda kullanılan toplayıcılar içinde ikinci büyük grubu teşkil ederler. Bu grubun ürünleri sıvı formda olup genel olarak suda eriyen ve yeterince yüksek pH'da uzun süre raf ömrü olan bir toplayıcıdır. Tesislerde kullanımında aktif dozaj miktarı ksantatlara nazaran daha fazladır. Dithiofosfatlar ksantatlara nazaran daha zayıf toplayıcılardır ve demir sülfürlere karşı ksantatlara nazaran daha selektiftir. R gurubu içerisindeki karbon miktarı arttıkça ksantatlarda olduğu gibi toplayıcı gücünde artmaktadır. Dithiofosfatlar genellikle yüksek selektivite için kireç kullanılarak elde edilen yüksek pH'a ihtiyaç duyarlar. Dithiofosfatlar ksantatlardan sonra sülfürlü mineraller için kullanılan toplayıcılar içinde en ucuz toplayıcıdır (Han ve Dowlin, 1999).

Uygulamada flotasyon ile sülfürlü kurşun-çinko cevherlerinin zenginleştirmesinde cevher; galen, sfalerit, pirit ve gangtan ibaret ise, cevherlerin zenginleştirilmesinde birkaç proses geliştirilmiş fakat en geniş uygulama alanını iki aşamalı selektif flotasyon yöntemi bulmuştur. Söz konusu proseste öncelikle sfalerit ve demir mineralleri bastırılarak galen yüzdürülmekte daha sonra ise kurşun flotasyon artığı içindeki bastırılan sfalerit mineralleri canlandırılarak çinko flotasyonu gerçekleştirilmektedir (Wills, 1985). Kurşun-çinko cevherlerin zenginleştirilmesinde en çok kullanılan bu prosese ait akım şeması Şekil 1.8'de verilmiştir.

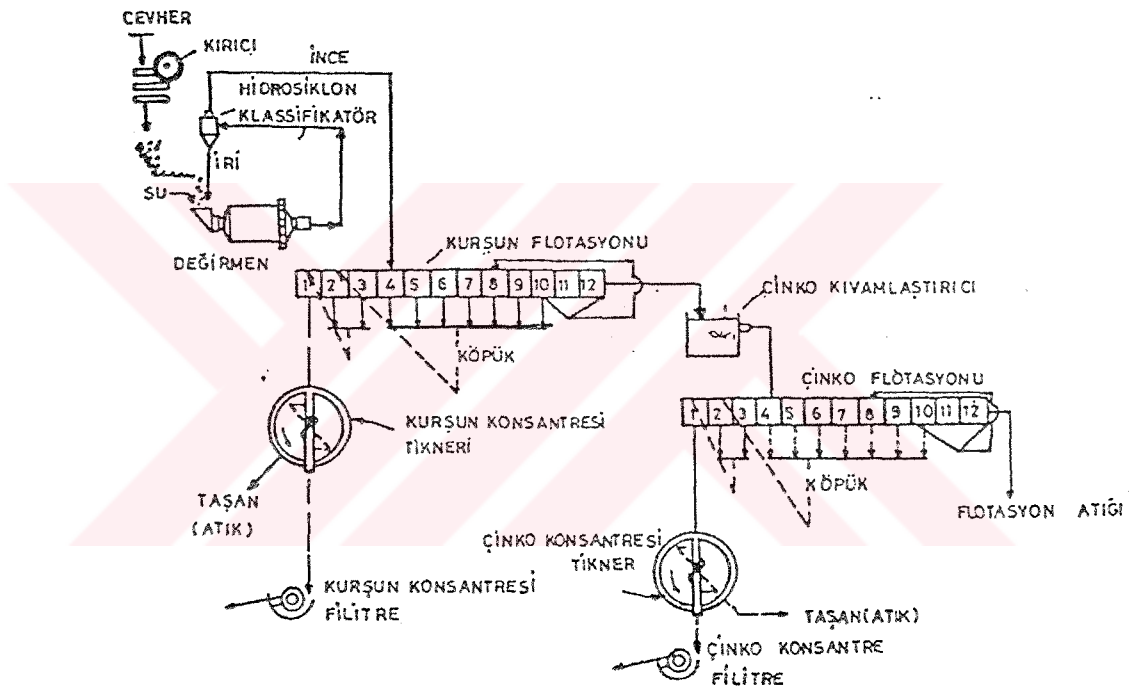
1.3. Flotasyon Makineleri

Çok çeşitli tasarımlarda flotasyon makineleri olmakla birlikte, bunları iki ana başlık altında toplamak mümkündür:

- 1) Mekanik flotasyon makineleri
- 2) Pnömatik flotasyon makineleri

Mekanik flotasyon makinelerinde flotasyon hücresinde (veya tankında) bulunan palp içindeki mineral tanelerinin süspansiyonda tutulması bir pervane veya rotor aracılığıyla mekanik karıştırma ile sağlanır. Bu tip flotasyon makinelerinde hava kabarcıklarının oluşturulması için gerekli hava ya pervanenin veya rotorun dönmesi esnasında meydana getirilen vakum ile (kendiliğinden hava emmeli) yada

palp içine üflenlen basınçlı hava ile sağlanır. Wemco ve Denver modeli flotasyon makineleri kendiliğinden hava emmeli, Outokumpu, Dorr Oliver ve Agitair modelleri ise üflemeli hava kullanılan makinelerdir. Eğer hava miktarının hassas kontrolü çok önemli değil ise kendiliğinden hava emmeli mekanik flotasyon makineleri en ekonomik seçimdir. Pnömatik flotasyon aygıtlarında mekanik bir karıştırma bulunmaz. Aygıt içine gönderilen hava hem köpük oluşturulmasını hem de tanelerin palp içinde süspansiyonda tutulmasını sağlar. Flotasyon kolonları ve Jameson flotasyon hücresi pnömatik tip aygıtlardır (Hoşten, 2002).



Şekil 1.8. Genel Olarak Kurşun-Çinko Flotasyon Tesisinin Genel Akım Şeması (Atak ve Tolun, 1994)

1.3.1. Flotasyon Kolonları

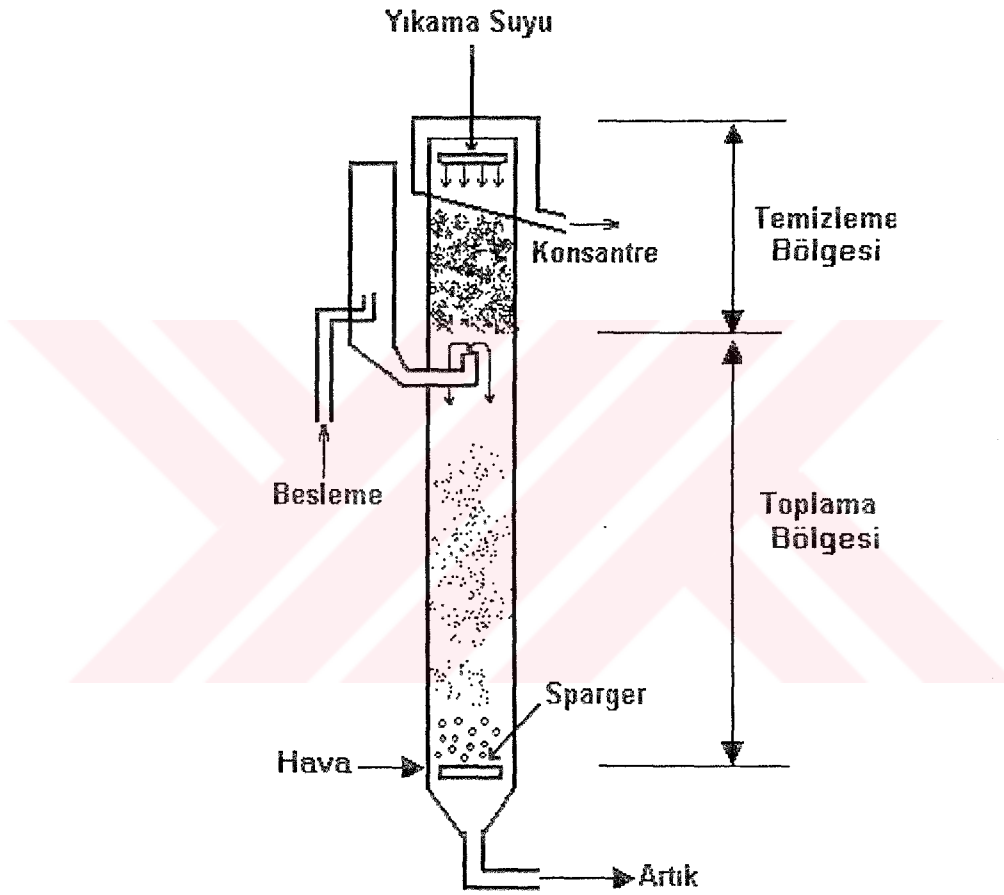
Flotasyon kolonlarının fikir babası olan Pierre Boutin, mekanik flotasyon hücrelerindeki türbülansın ince gang tanelerinin konsantreye kaçması ile konsantreyi kirlettiği sonucundan yola çıkmış ve tanelerin türbülansın olmadığı bir ortamda askıda kalmaları için ince, uzun ve yüksek bir hücreye yukardan beslenmesi gerektiğini düşünmüştür. Hava ise hücrenin tabanından verilerek kabarcıklar ve tanelerin zıt akımlı olarak karşılaşabilmesi sağlanacak böylece ara ürünler ve gang

taneleri için bu akış fiziksel bastırıcı işlevini görecek, iri gang mineralleri ise yüksek çökelme hızları nedeniyle hücreden hızlı bir şekilde ayrılacaktır. Kabarcıklarla birlikte gelen ince gang mineralleri ise hücredeki kalın köpük tabakasında yıkama suyunun da etkisi ile geri yıkanabilecek ve böylece yüksek tenörlü konsantre elde edilecektir (Aksani, 1998).

Şekil 1.9’da tipik bir flotasyon kolonunun şematik görünümü verilmektedir. Flotasyon kolonları temel olarak iki bölgeye ayrılır. Birinci bölge hava kabarcıklarının kabarcık üretici sistemi (sparger) yardımıyla kolona verildiği ve tanelerin hava kabarcıklarıyla karşılaştığı toplama bölgesidir. Besleme genellikle kolon yüksekliğinin yaklaşık 2/3’de yapılır. Besleme noktasının üzerinde kalan kısmın tamamı köpükten meydana gelmez. Köpük/palp ara yüzeyi ile besleme noktası arasında tane yüklenmiş kabarcıklar köpükten geri düşen taneler ve kabarcıklardan meydana gelen bir ara bölge bulunmaktadır. Beslemedeki taneler hem çökelme hızları hem de kolonun tabanındaki artık akış hızına bağlı olarak aşağı doğru süzülürler. Hava, kolonun artık çıkış noktasının hemen üzerindeki bir kabarcık üreticiden kabarcıklar halinde kolona verilmektedir. Besleme ile kabarcıklar zıt akımlı olarak toplama bölgesinde karşılaşır ve burada taneler hava kabarcıkları ile çarpışarak bağlanırlar. Kolonda mineral kazanımı toplama bölgesinde meydana gelmektedir. İkinci bölge ise, besleme noktasının üst bölümünde, tane yüklü hava kabarcıklarının meydana getirdiği köpük bölgesidir. Köpük bölgesi kalınlığı endüstriyel uygulamalarda 1.5 m kadar olabilmektedir. Köpük, kolonun konsantre taşma seviyesinin üzerinden veya içinden su ile yıkanarak kararlı ve kalın olması sağlanmaktadır. Köpükten aşağı doğru süzülen yıkama suyu ile yükselen köpüğün zıt akımlı olarak karşılaşması, köpük içerisine su ile taşınmış gang minerallerinin toplama bölgesine geri dönebilmesini böylece yüksek tenörlü konsantre elde edilebilmesini sağlamaktadır. Bu iki bölge dışında toplama ve köpük bölgeleri arasında bulunan, köpükten geri düşen taneler ve tane yüklenmiş yükselen kabarcıkların bulunduğu ara bölge de bulunmaktadır (Finch ve Dobby, 1990).

Flotasyon kolonlarını mekanik hücrelerden ayıran üç temel tasarım özelliği vardır;

- 1) Köpük bölgesine verilen yıkama suyu
- 2) Mekanik karıştırmanın olmaması
- 3) Kabarcık üretici bir sistemin olması



Şekil 1.9. Flotasyon Kolonu (Finch ve Dobby, 1990)

Kolon Flotasyonunun avantajlarını şöyle sıralamak mümkündür ;

- 1) Mekanik flotasyon hücrelerine alternatif olarak geliştirilen kolon hücreleri, düşük yatırım ve işletme giderleri ile çok iyi metalurjik performans sağlamaktadır.
- 2) Flotasyon kolonları mekanik flotasyon hücrelerinden daha az üniteye ihtiyaç duymalarından dolayı kontrolü kolay ve otomatik kontrole daha yatkındır.

- 3) Tesislerde daha az alana ihtiyaç vardır ve flotasyon devreleri mekanik flotasyon devreleri kadar kompleks değildir.
- 4) Hareketli birimlerinin olmaması nedeniyle mekanik flotasyon hücrelerindeki gibi karıştırıcının bakım ve değiştirme maliyeti ile karıştırma gücüne ihtiyaç yoktur. İnce tanelerin zenginleştirilmesinde önemli bir avantaj olan laminar akış koşullarında küçük kabarcıkların kullanılması, kalın köpük yapısı ve köpüğün yıkama suyuyla yıkanması nedeniyle yüksek tenörlü konsantre elde edilmesidir (Flint ve ark, 1992; Goodall ve Connor, 1991; Yoon, 1994; Rubio, 1996).

Dezavantajları ise;

- 1) Tesislerde yüksekliğin sorun olması
- 2) Kabarcık üretici bakımı
- 3) Yıkama suyu maliyeti

Minerallerin flotasyon kolonunda kalma süresinin fazla olması nedeniyle hızlı oksidasyon özelliği olan cevherler için uygun olmamasıdır (Yianatos, 1990).

1.3.1.1. Flotasyon Kolonlarında Zenginleştirmenin Temel İlkeleri

Flotasyon kolonunun çalışma mekanizmasının mekanik flotasyon hücresinden oldukça farklı olması kolonlardaki işlem parametrelerini ifade eden yeni bir terminoloji kullanımını zorunlu kılmıştır (Aksani, 1998). Bunlar;

a) Hacimsel hava miktarı (Air hold-up- C_h)

b) Akış hızları ;

-Hava hızı (Superficial air rate- J_h)

-Besleme hızı (Superficial feed rate- J_b)

-Artık hızı (Superficial tailing rate- J_a)

-Bias hızı (Superficial bias rate- J_B)

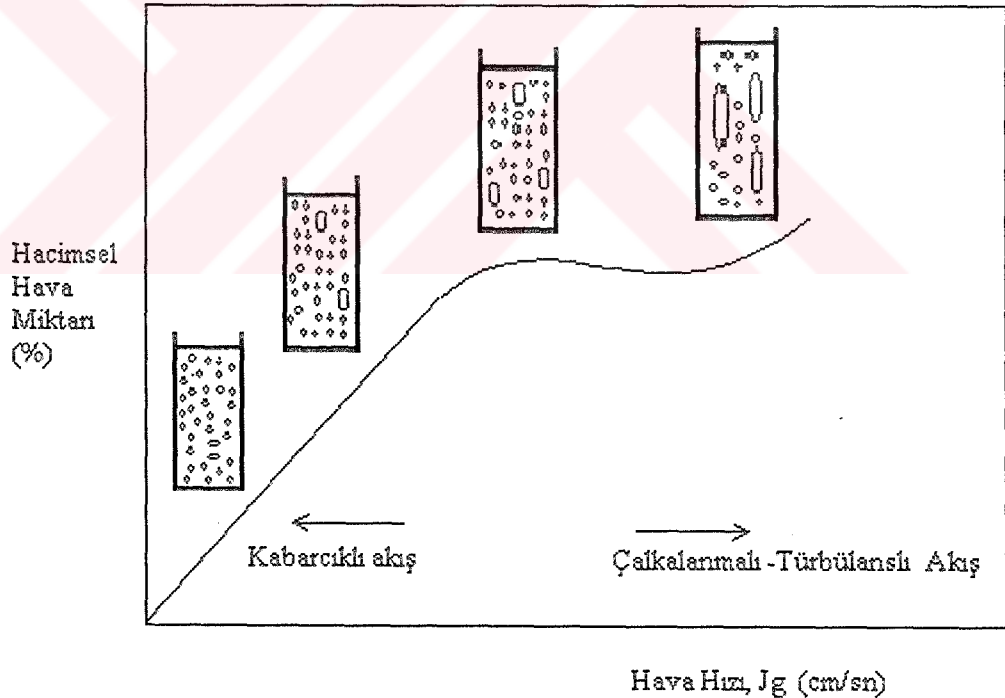
-Yıkama suyu hızı (Superficial washwater rate- J_{ys})

c) Taşıma kapasitesi (Carrying rate- C) 'dir.

a) Hacimsel hava miktarı (Air hold-up- C_h)

Flotasyon kolonunun herhangi bir noktasında hacimsel olarak havanın kapladığı miktar olarak tanımlanmakta ve hava hızı, kabarcık çapı, palp akış hızı, tane/kabarcık agregalarının yoğunluğu ile palp yoğunluğuna bağlı olarak

değişmektedir. Tipik bir flotasyon kolonunun toplama bölgesinde hacimsel hava miktarı %5-30 arasında iken köpük bölgesinde %80'e kadar çıkmaktadır. Şekil 1.10'da hava hızı ile kolondaki hacimsel hava miktarı arasındaki ilişki görülmektedir (Shah ve ark, 1982). Şekilden de görüldüğü gibi, hava hızı ile hacimsel hava miktarı arasında doğrusal ilişkinin bulunduğu bölümde homojen çaplı kabarcıkların aynı hızda yükseldiği kabarcıklı akış (bubbly flow) koşulu olmakta ve flotasyon kolonlarının da bu akış şartlarında çalışması istenilmektedir. Hava hızında bunun ötesinde bir artış olduğunda hacimsel hava miktarı kararsız olmakta ve kabarcıkların birleşerek büyümeleri sonucu hızla yükseldikleri heterojen akış meydana gelmektedir. Bu akışa çalkalanmalı-türbülans akış (churn-turbulent flow) koşulu denir. Hava hızındaki artışın devam etmesi ile küçük çaplı kolonlarda (<10 cm) kabarcıklar kolon kesitini tamamen kaplamakta bu akış koşullarına ise salyangoz akış (slug flow) koşulu adı verilmektedir.



Şekil 1.10. Kolonlarda Hava Hızı Ve Hacimsel Hava Miktarı Arasındaki İlişki (Shah ve ark, 1982)

b) Akış Hızları: Birim kolon kesit alanındaki hacimsel akış hızlarıdır.

$$J_x = Q_x / A_c \quad (1.6)$$

(x; besleme, artık, bias ve yıkama suyu)

J_x = Akış hızı (cm/sn)

Q_x = Debi (cm³/sn)

A_c = Kolon kesit alanı (cm²)

Akışların bu şekilde verilmesinin nedeni farklı çaplardaki kolonların karşılaştırılabilmesine imkan sağlamaktır (Yianatos, 1990).

Bias hızı flotasyon kolonlarının önemli özelliklerinden biridir ve köpükten aşağı doğru süzülen net su akışı ya da buna denk olan artık ve besleme akışları arasındaki net su akış farkı olarak tanımlanmaktadır.

$$J_B = J_a - J_b \quad (1.7)$$

Flotasyon kolonlarında bias hızı genellikle pozitif olmaktadır. Mekanik flotasyon hücrelerinde ise negatif bias yani yukarı yönde akış söz konusudur. Negatif biasla çalıştırılan flotasyon kolonu uygulamaları da vardır ve özellikle iri tanelerin flotasyonunda başarılı sonuçlar elde edilebilmektedir. Artık su içeriği akış hızının besleme su içeriğinin akış hızından daha büyük olması sonucunda doğan fark kolonun köpük bölgesinden verilen yıkama suyu ile fazlasıyla karşılanmaktadır. Böylece yıkama suyunun biası karşılayıp kolon içinden aşağı doğru akarken diğer kısmı konsantre kısmından alınmaktadır. Yıkama suyunun biası karşılayıp aşağı yönde akan kısmı köpüğü yıkayıp besleme suyu ile gang minerallerinin konsantreye kaçmasına engel olmaktadır (Dobby ve Finch, 1985).

c) Taşıma Kapasitesi

Flotasyon kolonunda birim zamanda birim kesit alanda yüzen mineral ağırlığı olarak tanımlanmaktadır (gr/cm²/sn) veya (ton/m²/saat). Bu parametre bir anlamda kolonda kazanılabilecek maksimum katı miktarını, diğer bir ifadeyle kabarcık

yüzeylerinin maksimum miktarda tane ile kaplanmasını ve tane toplama sürecinin üst limitini ifade eder. Kuramsal olarak taşıma kapasitesi Eşitlik (1.8) ile ifade edilir. (Yoon, 1993)

$$C = \frac{a \cdot Q_h \cdot d_t \cdot \rho_t \cdot \beta}{d_k} \quad (1.8)$$

C = Taşıma kapasitesi ($\text{gr/cm}^2/\text{sn}$)

Q_h = Hacimsel hava akış hızı (cm/sn)

d_t = Tane çapı (cm)

ρ_t = Tanenin özgül ağırlığı (gr/cm^3)

a = Sabit

β = Tanelerin kabarcık yüzeyine yapışarak yüzeyde birikmesi sonucu meydana gelen paketlenmeyi tanımlayan parametre

d_k = Köpükteki kabarcık çapıdır (cm).

Eşitlikten de görüldüğü gibi C hava hızının artışı ve köpükteki kabarcık çapının küçülmesi ile yükselmektedir. Hava hızının artışı ile taşıma kapasitesi yükselerek maksimum taşıma kapasitesine erişir. Maksimum taşıma kapasitesi değerinde çalışan bir kolonun kapasitesi yalnızca d_k , ρ ve β 'nin fonksiyonudur.

Labaratuvar test çalışmaları ve bazı tesis çalışmaları baz alınarak maksimum taşıma kapasitesi, tane iriliği ve konsantrenin yoğunluğu hesaba katılarak aşağıdaki Eşitlik 1.9 önerilmiştir (Sastri, 1996).

$$C = a \cdot d_{80} \cdot \rho_t \quad (1.9)$$

a = Bir sabit (0,068)

d_{80} = Konsantrenin % 80'nin geçtiği tane boyu (μm)

ρ_t = Konsantrenin yoğunluğu (g/cm^3)

Taşıma kapasitesi tanımındaki kolondan kazanılan maksimum katı miktarı, toplam kabarcık yüzey alanından bağımsız olarak ele alınmıştır. Gerçekte konsantre miktarı tanelerle kaplanacak kabarcık yüzey alanı doğrudan ilişkilidir ve bu nedenle de gerçek değer deneysel olarak belirlenen taşıma kapasitesi değerinden daha yüksek

olabilir (del Villar ve ark, 1993). Flotasyon kolonu tasarımı amaçlandığında taşıma kapasitesinin deneysel olarak belirlenmesi gerekmektedir. Taşıma kapasitesi deneysel olarak, sabit besleme hızında besleme palp katı içeriğinin artırılması ile yapılan ve en yüksek konsantre akış hızına erişilmesi hedeflenen bir seri deney ile belirlenir (Espinoze ve ark, 1988).

1.3.1.2. Kabarcık Üreteçleri

Flotasyon kolonlarını mekanik flotasyon hücrelerden ayıran en önemli özelliklerden biride kabarcık üretim sistemindeki farklılıktır. Flotasyon kolonlarında kabarcık üretimi internal ve eksternal tip spargerlar ile gerçekleştirilir. Bunlardan en fazla kullanılanı havanın kauçuk veya filtre bezi kaplanmış delikli bir boru veya yalnızca delikli çelik boru yardımı ile kolona verildiği kabarcık üreteçleridir. Eksternal spargerlar ise kolon dışında havanın köpürtücü içeren su veya palpla karıştırılarak kolona verildiği kabarcık üreteçleridir (Finch ve Dobby, 1990)

1.3.1.3. Flotasyon Kolonlarının Performansına Etki Eden Parametreler

Kolon performansına etki eden parametreler iki grupta düşünülebilir. Bunlar baştan tasarlanan ve işlem sırasında değiştirilemeyen parametreler (kolon çapı, toplama bölgesi yüksekliği, kabarcık üretici tipi yıkama suyu besleme sistemi) ve işlem parametreleridir (besleme, hava ve yıkama suyu hızı, köpük kalınlığı, palp yoğunluğu ve reaktif miktarı gibi) (Aksani, 1998).

1.3.1.4. Flotasyon Kolonundan Yola Çıkılarak Geliştirilen Yeni Tasarımlar

Klasik flotasyon kolonlarının endüstriyel uygulama alanları bulmaları alternatif flotasyon kolon tasarımlarının da geliştirilmesine yol açmıştır. Alternatif tasarımların geliştirilmesindeki temel çıkış noktaları kolon ekseninde meydana gelen karıştırmayı engellemek daha küçük kabarcıkların elde edildiği yeni kabarcık üretici sistemleri geliştirmek ve kolon yüksekliğini azaltmaktır (Schubert, 1988).

Bu tasarımlar içerisine bölücü plakaları yerleştirildiği Packed kolonu, Microcel, Hydrochem, Cominco, Diester, Jameson hücresi ve Turbo flotasyon

kolonu, sayılabilir (Yoon, 1994). Bunlardan Jameson flotasyon hücresi ve turbo flotasyon kolon özellikleri aşağıda verilmiştir.

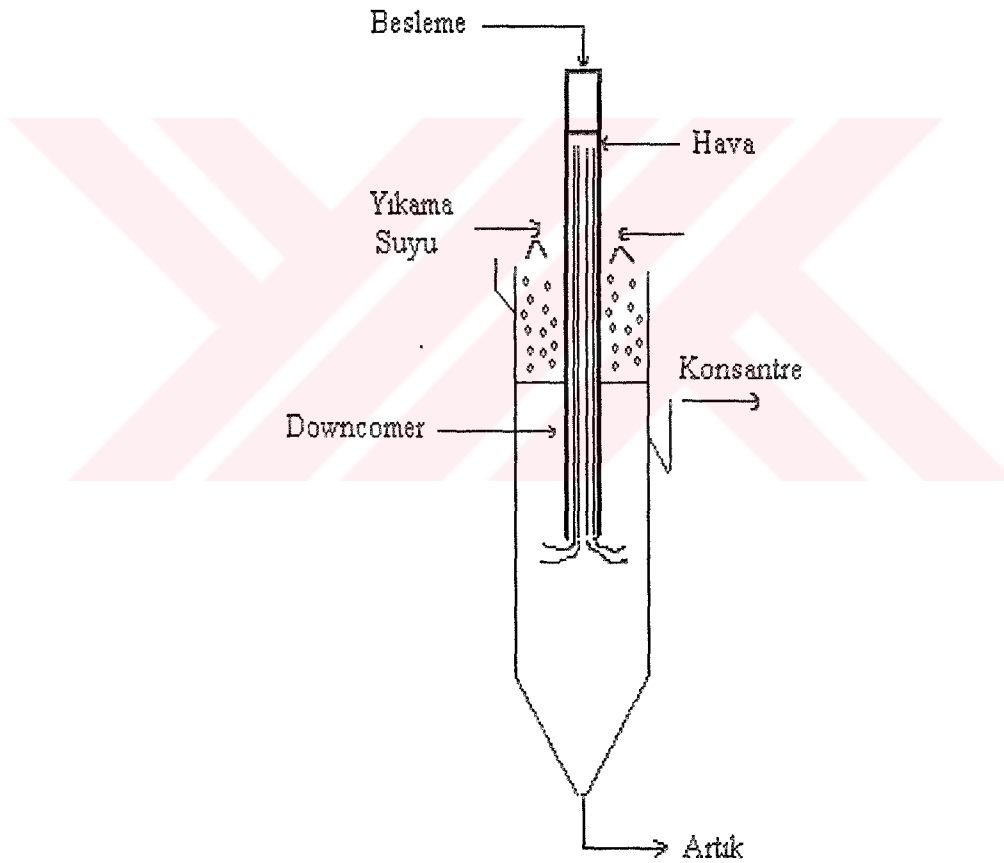
Jameson Flotasyon Hücresi

Jameson flotasyon hücresi 1985 yılından sonra geliştirilen bir teknolojidir. Jameson flotasyon hücresi bir tür flotasyon kolonudur (Şekil 1.11). Kolondan farkı, hava ile palpin düşey bir silindirik boru içerisinde karıştırılarak flotasyon hücresine verilmesidir. Böylelikle hidrofobik tanelerin kabarcıklara yapışması için daha elverişli bir ortam oluşturulmaktadır (Jameson, 1988). Bu köpüklü karışım besleme borusundan (downcomer) hücreye geçtiğinde ayrışma mekanizması devreye girer. Hidrofob tanelerin köpüğe yapışması bu bölgede olur. Hidrofobik mineralleri taşıyan kabarcıklar flotasyon hücresinin üst kısmında bir köpük zonu oluşturmak üzere yukarı doğru hareketlenirler. Kabarcıklara yapışmayan hidrofilik mineraller ise hücrenin dibine doğru düşer. Kabarcıkların arasından yukarı doğru taşınan ve konsantreyi kirlüten gang mineralleri hücrenin hemen üzerinden verilen yıkama suyunun yardımı ile köpükten ayrılır (Lngberg ve Jameson, 1992). Köpükle birlikte gelen hidrofobik taneler konsantre toplama bölümüne dökülür.

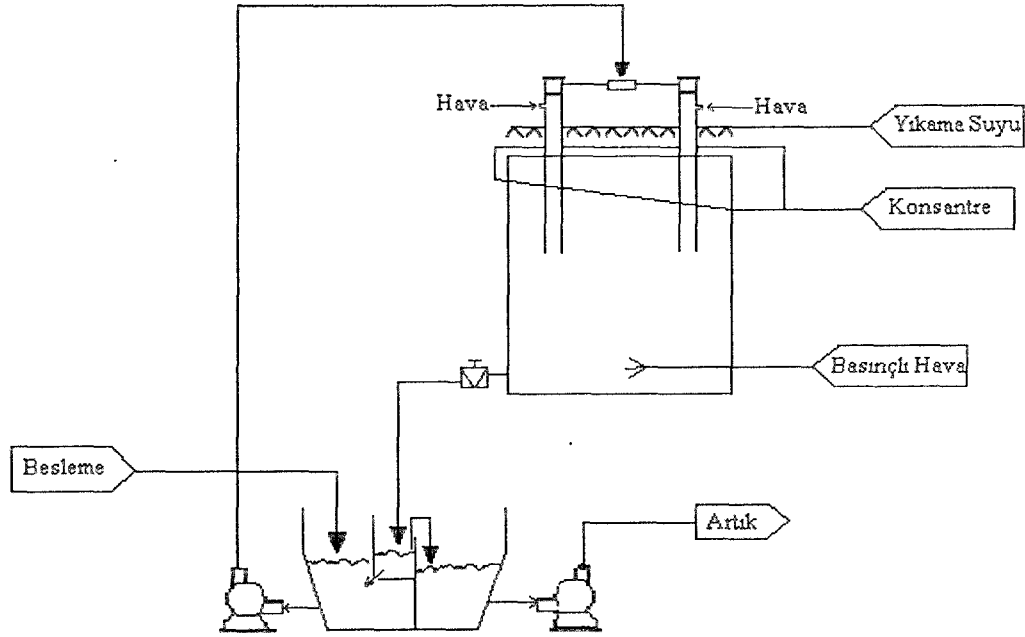
Turbo Flotasyon Kolonu

Turbo flotasyon kolonu, Jameson hücresi ve flotasyon kolonunun özelliklerini taşımakta, palp ve hava, Jameson hücresindeki gibi aynı yönde kolona üstünden kolon içine doğru inen bir boru (downcomer) içerisinde karıştırılarak verilmekte, kolon tabanında ise konvansiyonel kolonlardaki gibi kabarcık üretici bulunmaktadır. Böylece tanelerin kabarcıkla çarpışma olasılığının yükselmektedir (Aksani, 1998). Bu kolonda kondisyonlanan malzeme besleme tankına verilmekte buradan da pulp sabit bir hızla downcomer'a beslenir. Karışımın kolon flotasyon hücresine verildiği yerde hızlı bir flotasyon reaksiyonu meydana gelir. Meydana gelen hava kabarcıklarına hidrofob taneler yapışarak yukarı doğru yükselerek konsantre olarak deşarj olur. Palpin geri kalan kısmında mevcut hidrofob taneler, kolonun tabanında mevcut sparger vasıtası ile üretilen hava kabarcıklarına yapışarak yine kolonun üst kısmına doğru ilerlerken yüzmeyen taneler kolon tabanından kontrollü olarak

atılırlar. Turbo flotasyon kolonunda artığın doğrudan artık havuzuna beslenmesi yerine küçük bir havuza beslenmektedir. Bu küçük havuzun altında bulunan boşluk ve taşma ünitesi olmak üzere iki çıkışa sahiptir. Havuzdan taşan kısım artık havuzuna beslenirken, havuzun alt kısmında mevcut delikten geçen malzeme ise beslenen malzeme ile birleştirilerek tekrar kolona beslenmektedir (Şekil 1.12). Flotasyon kolon hücresine pompalanan sabit hacimdeki akım oranı, sabit hızda çalışan bir pompa ile sağlandığından hacimce meydana gelecek değişiklikler elemine edilmektedir (Terblanche ve ark, 1999)



Şekil 1.11. Jameson Flotasyon Hücresi (Terblanche ve ark, 1999)



Şekil 1.12. Turbo Kolon Flotasyonu (Terblanche ve ark, 1999)

1.3.2. Flotasyon Kolonları ile Mekanik Flotasyon Hücrelerinin Karşılaştırılması

Flotasyon kolonları ile mekanik flotasyon hücreleri arasındaki farklılıklar Çizelge 1.3’de verilmiştir. Mekanik flotasyon hücrelerinde karıştırma karıştırıcı sistemi ile sağlanır. Karıştırıcının üç temel fonksiyonu vardır (Harris, 1976). Bunlar; taneleri askıda tutmak, palpın hücre içerisindeki çevrimini ve havalandırmayı sağlamaktır. Karıştırıcının çevresini kuşatan karıştırıcı kanatları kabarcıkların hücrenin her tarafına yayılarak havanın düzenli bir şekilde dağılmasını ve aynı zamanda havalandırma kapasitesinin artmasını sağlar ancak hava kabarcıklarının parçalanarak daha küçük kabarcıklara bölünmesine yardımcı olmaz (Grainger ve Allen, 1970). Palpın yatay dönme hareketine engel olan stator, kabarcıkların hücreye dağılmasını sağlayıp hücre içerisinde sakin bölgeler oluşturma işlevini de görür. Bu özellikleri ile mekanik flotasyon hücreleri bir yandan taneleri askıda tutmak ve tane/kabarcık çarpışmasını sağlamak için karıştırma yaparken, diğer taraftan tane yüklenmiş kabarcıkların palpten ayrılabilmesi ve tane/kabarcık agregalarının bozulmaması için sakin bölgeler meydana getirmek gibi birbirine zıt iki işlevi yerine

getirmektedir. Bu nedenle mekanik flotasyon hücrelerinin tane/kabarcık çarpışma ve bağlanması için ideal tasarım olup olmadığı tartışma konusudur (Young, 1982).

Flotasyon kolonlarında ise kabarcıklar kabarcık üretici bir sistemle kolona verilmekte ve daha küçük kabarcıklar elde edilebilmektedir. Ancak flotasyon kolonları ile mekanik flotasyon hücrelerindeki hidrodinamik koşullara bağlı olarak tane/kabarcık çarpışma ve bağlanma mekanizmalarının farklı olması özellikle kolonlarda kabarcık çapının önemini artırmaktadır. Bilindiği gibi flotasyon işleminde küçük kabarcıklar tanelerin flotasyon hız sabitinin artmasına neden olmaktadır. Yapılan çalışmalar küçük kabarcıkların türbülansın olmadığı sakin koşullarda tanelerin flotasyon hız sabitine etkisinin en fazla olduğunu, türbülansın artması ile bu etkinin azaldığını ortaya koymuştur (Yoon, 1993). Bu nedenle flotasyon kolonlarının küçük kabarcıkların etkin olarak kullanılabildiği ideal flotasyon hücresi tasarımı olduğu söylenebilir (Aksani,1998).

1.4. Flotasyon Modelleri

Matematiksel modeller, işlem koşulları verildiğinde, bir prosesten elde edilecek ürün özelliklerini tahmin etmeye yarayan bir dizi matematiksel eşitlik olarak tanımlanmaktadır.Varolan flotasyon modelleri bir ucu tamamen teorik diğer ucu tamamen ampirik olan geniş bir dağılım göstermektedir. Flotasyon modellerinin başlıca kullanım alanları proses simülasyonu, tasarımı ve optimizasyonu olmakla birlikte performansın değerlendirilmesi için de modeller kullanılmaktadır. Örneğin tane boyu fraksiyonu bazındaki flotasyon davranışının flotasyon koşullarından nasıl etkilendiğinin incelenmesinde ve böylece performansı iyileştirmek için ne gibi önlemler alınabileceğinin analizinde flotasyon modelleri kullanılabilmektedir. Ayrıca hidrofob tane davranışının yanı sıra, flotasyonda konsantreye gelmesi arzu edilmeyen hidrofil tanelerin davranışının incelenmesinde ve otomatik kontrole geçiş öncesi proses üzerinde etkili olan parametrelerin belirlenmesinde de flotasyon modellerinden bir araç olarak faydalanılmaktadır (Saklar ve ark, 1998).

Çizelge 1.3. Flotasyon Kolonları İle Mekanik Flotasyon Hücrelerinin Karşılaştırılması (Aksani, 1998)

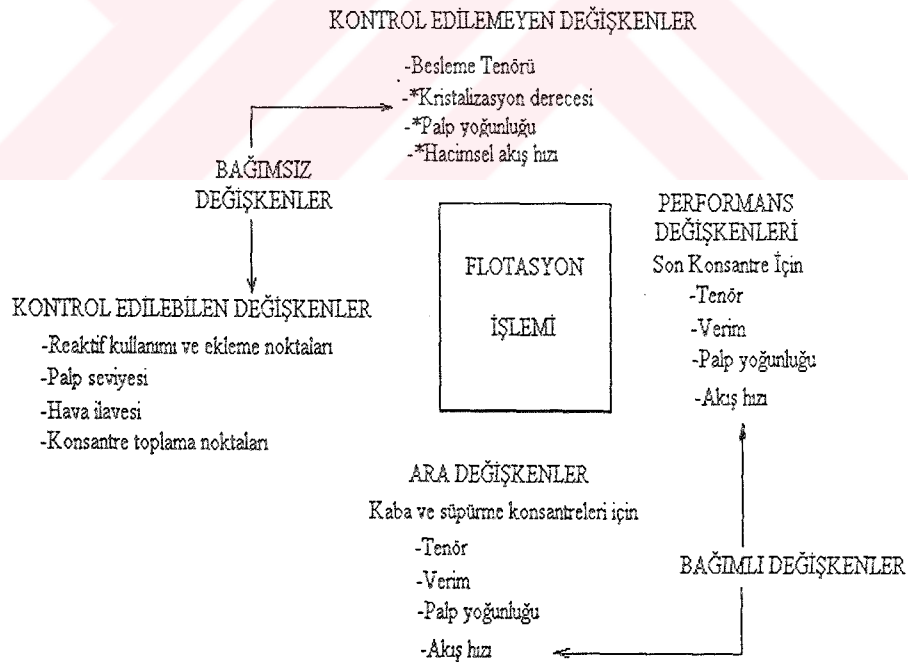
Özellik	Flotasyon Kolonları	Mekanik Flotasyon Hücreleri
Tane/kabarcık bağlanma mekanizması	Çarpışma	Çarpışma ve hava çökmesi
Palp/hava akışları	Zıt akımlı	İmpeler/statorun tasarımına ve besleme sistemine göre değişir.
Akış koşulları	Türbülans bağıl olarak yok, tapalı akışa yakın	Türbülans var ($Re=10^5$), mükemmel karıştırma
Köpük tabakası	Kalın ve yıkama suyuyla yıkanır	Kalın değildir ve genellikle yıkama suyu kullanılmaz
Hava veriş şekli	Kabarcık üretici ile	Karıştırıcının dönüşü ile atmosferden ya da dışardan fan ile
Hava hızı	0.8-3 cm/sn	0.3-1 cm/sn
Hacimsel hava miktarı	%15-30	%15
Kabarcık çapı	Daha küçük ve daha kolay kontrol edilebilir	Kontrolü zordur
Bias	Genellikle pozitif biasla çalışır	Negatif biasla çalışır
Kalma süresi	Tane/kabarcık agregalarının kopması genellikle köpük/palp ara yüzeyinde meydana gelir ve taneler kolona yeni beslenmiş taneler ile aynı kalma süresine sahip olurlar	Tane/kabarcık agregalarının kopması ile taneler takip eden hücreler kadar kalma süresine sahiptir.
Köpük yüzey alanı/hücre hacim oranı	Düşük	Yüksek

Flotasyon işlemi için kullanılan matematiksel modellerin yapısı modeli ortaya koyan araştırmacıların konuya yaklaşımına ve modelin kullanım alanına göre farklılıklar göstermektedir. Huber ve ark. (1976) iyi bir flotasyon modelinin prosesin

performansını etkileyebilecek cevher, flotasyon kimyasalları, flotasyon öncesi cevher hazırlama aşamaları, flotasyon makinesinin özellikleri gibi faktörlerdeki değişiklikleri tanımlayabilmesi gerektiğini belirtmektedir

Flotasyon model parametreleri üzerinde, işlem değişkenlerinin etkisinin belirlenmesinde bu değişkenlerden bir kısmı sabit tutulup diğer bir veya bir kaç değiştirilerek bunların etkisi incelendiğinden flotasyon işlem değişkenlerinin sınıflandırılması gerekir. Lynch ve ark. (1981) flotasyon işlemi için değişkenleri bağımlı ve bağımsız değişkenler olmak üzere iki ana gruba ayırmıştır (Şekil 1.13).

Bağımlı değişkenler kontrol edilen ve kontrol edilemeyen, bağımsız değişkenler ise performans ve ara değişkenleri şeklinde iki ayrı alt gruba ayrılmaktadır. Herhangi bir modelde göz önüne alınacak değişken sayısı modelin kullanımı ile ilgilidir. Flotasyon modellerinin ana hedefi işletme şartlarına bağlı olarak bir tek hücre, bir devre veya tüm tesisten elde edilecek %verim ve/veya tenörün önceden tahminidir. Bu açıdan bakıldığında modeller üç ana kategoriye ayrılabilir (Lynch ve ark, 1981; Yuan ve ark, 1996).



* Bu değişkenler tesis işletme koşullarına göre kontrol edilebilir değişken sınıfına girebilirler.

Şekil 1.13. Flotasyon İşlemi İçin Değişkenlerin Sınıflandırılması (Lynch ve ark, (1981)

1.4.1. Ampirik Modeller

Flotasyon için ampirik modellerin tanımlamaları Faulkner (1966), Pitt, (1968) ve Smith-Lewis (1969) tarafından yapılmıştır. Ampirik modeller oldukça zor bir veri tabanı oluşturma çalışmasını izleyen Şekil 1.13'de verilen bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında kurulan istatistiksel korelasyonlarla elde edilir. Bu modeller için kullanılan istatistiksel korelasyonlar, çoklu doğrusal regrasyon metotları veya spline regrasyon metotları ile elde edilir

1.4.2. Olasılık Modelleri

Bu modellerde flotasyon işleminde değerli minerallerin konsantreye gelene kadar karşılaştıkları olayların başarı olasılıklarının flotasyon hızını (tanelerin köpük zonuna taşınmalarının zamanla değişimi) belirleyici bir faktör olduğu esas alınmaktadır. Ek (1991) bir tanenin konsantreye ulaşp ulaşmayacağını belirleyen olasılıkları aşağıdaki gibi sınıflandırmıştır.

- 1) Mineral taneleri üzerine toplayıcının soğurum olasılığı
- 2) Toplayıcı ile kaplanan mineral tanelerinin hücrenin türbülans zonuna girme olasılıkları
- 3) Bu akış ortamında mineral taneleri ve hava kabarcıkların çarpışma olasılıkları
- 4) Mineralin hava kabarcığına tutunma olasılığı
- 5) Mineral-hava kabarcığı ikilisinin köpük fazına gitme olasılığı
- 6) Değerli mineralin köpükten alınabilme olasılığı

Yukarıdaki olasılıkları flotasyon hızının modellenmesinde kullanarak bu konuda öncülük eden Scuhuhmann (1942), flotasyon hücresindeki x boylu mineral tanelerinin toplam kazanım hızını bu tanelerin konsantreye ulaşmadan önce flotasyon hücresinde karşılaşılabilecekleri olaylar serisindeki başarı olasılığı (P_x) ile ilişkilendirilmiş ve Eşitlik 1.10 geliştirilmiştir.

$$P_x = P_c * P_a * F * x * V \quad (1.10)$$

P_c : Tane kabarcık çarpışma olasılığı

P_a : Tanenin kabarcığa tutunma olasılığı

F : Köpük duraylılık faktörü

V : Hücredeki palp hacmi

x : Pulp içindeki x boyutlu tanelerin derişimi (kütle/ hacim)

Tomlinson ve Fleming (1963) Eşitlik 1.10'u geliştirerek Eşitlik 1.11'i önermişlerdir.

$$P = P_c * P_a * P_e * P_f \quad (1.11)$$

P_e : Tanenin köpük fazının sıyrılması sırasında konsantreye geçme olasılığı

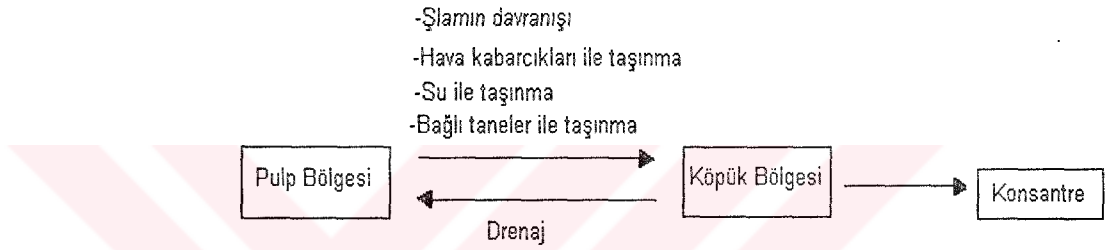
P_f : Kabarcığa yapışan tanenin hücre yüzeyindeki köpük zonuna taşınma olasılığı

Bu yaklaşım daha sonra bir çok araştırmacı tarafından farklı boyutlardaki mineral tanelerinin flotasyon hızları ve verimlerin tane boyu ile değişiminin kuramsal olarak açıklanmasında kullanılmıştır. Örneğin 0.02 mm gibi ince tanelerde flotasyon veriminin azalması P_c ve P_a 'nın düşük değerlere sahip olması ile açıklanmaktadır (Trahar, 1981; Lynch ve ark, 1981). Ancak bu modele dayanarak verim, tenör ve bunların zamanla değişimi üzerine yorum yapabilmek için, flotasyon gibi fizikokimyasal bir işlemde gaz-kat-sıvı fazlarla ilgili bütün olayların ilgili parametrelerle tanımlanması gerekli olmaktadır. Bu ilişkilerin hesaplanması için geliştirilen eşitlikler ise ölçülmesi zor parametreler içermektedirler. Bu nedenlerden dolayı bu model daha çok flotasyon işleminin kuramsal olarak anlaşılmasında veya sonuçların yorumlanmasında bir araç olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle teorik model olarak tanımlanmaktadır.

1.4.3. Kinetik Modeller

Minerallerin yüzme karakteristiklerini tayin edebilmek için kinetik çalışmalar flotasyonla zenginleştirmeyi tahmin ve yorumlamak için araç olmuştur (Williams, 1992). Kinetik modelin ilk kullanımı ve genel şekli kimyasal kinetikle flotasyon mekanizması arasındaki benzerliğe dayanılarak yapılmış ve flotasyon hızının birinci derece kimyasal reaksiyon hızı ile boyutsal olarak aynı olduğu düşünülmüştür. Başka

bir deyişle molekül ve atomların çarpışmaları ile pulp içindeki hidrofor taneler ile hava kabarcıklarının çarpışmaları arasındaki benzerlik esas alınmıştır. Ancak flotasyon prosesi bir taşıma işlemi ve fiziksel bir katı/katı ayırımıdır. Tek bir mekanizmadan oluşan kimyasal bir reaksiyon değildir. Bu taşıma mekanizması içinde taneler köpük fazına gelip buradan palpa geri dönebilir veya köpük fazından ayrılıp konsantreye geçebilirler. Bu durum genel şekli ile değerli veya gang bileşenlerinden birisi için Şekil 1.14’de verilmiştir. Dolayısıyla hız belirleme aşamalarının Şekil 1.14’de verilen adımları içermesi gerektiği belirtilmektedir (Lynch ve ark,1981).



Şekil 1.14 Flotasyon Hücresinde Malzemenin Palp ve Köpük Bölgeleri Arasındaki Transeferi (Lynch ve ark,1981)

Genel olarak flotasyon kinetiği kavramı, palptan köpüğe malzeme transferi yaklaşımı için kullanılmaktadır. Ancak bunun ölçülmesi oldukça zor olduğundan model parametrelerinin hesaplanması, doğrudan palptan konsantreye gelme hızına karşılık gelen verim-zaman verileri kullanılarak yapılmaktadır. Kinetik amaçlı bir flotasyon deneyinde; belirli zaman aralıklarında köpük sıyrılarak toplanan konsantrelerin değerli mineral içerikleri tespit edilmektedir. Böylece her bir zaman aralığı için verim ve kümülatif verim değerleri elde edilmektedir. Bu verilerden, doğrusal olmayan regrasyon yöntemlerden biri kullanılarak kullanılan modelin parametreleri belirlenmektedir (Saklar ve ark, 1998).

Tipik bir flotasyon kinetiği çalışması kesikli (batch), yarı-kesikli (semi-batch) ve sürekli (continuous) şeklinde olabilir. Kesikli ve yarı-kesikli testlerde yüzebilen mineraller zamanla köpükte toplanmak sureti ile hücrede azalırken, sürekli testlerde beslenen malzeme bir yandan hücreye girerken diğer taraftan konsantre alınır (Yekeler ve Sönmez, 1996).

1.4.3.1. Yarı Kesikli Flotasyon İşleminin Tanımlanmasında Kullanılan Kinetik Modeller

Flotasyon önemli kimyasal mekanizmaları içeren kompleks bir proses olmasına karşın bir hız prosesi olarak tanımlanması nedeniyle palptan konsantreye transferin en basit ve temel hız belirleyici adım olduğu kabul edilmektedir. Bu şekilde hız belirleyici olabilecek kimyasal ve fiziksel mekanizmaların tümü konsantrede toplanan mineral tanelerinin hızlarının bunların pulp içerisindeki derişimleri ile orantılı olduğu düşünülerek tek bir adımda toplanmıştır. Bu düşünceden yola çıkılarak ilk olarak Garcia (1935) yarı kesikli flotasyon işlemi için Eşitlik 1.12'yi önermiştir (Harris ve Chakravarti, 1970).

$$C = e^{(-k \cdot t)} \quad (1.12)$$

k = Flotasyon hız sabiti

C = Pulpta benzer özelliğe sahip tanelerin konsantrasyonu

t = Zaman

Bu eşitlik özellikle Hallimond tüpünde tümüyle yüzebilir ve tek bir boyut aralığında mineral kullanılarak yapılan flotasyon testlerinden elde edilen verim-zaman verilerine kabul edilebilir bir uyum vermiştir. Fakat daha karmaşık olan sistemlerden elde edilen verilere uymaması flotasyon işleminin birinci dereceden kinetik bir eşitlikle tanımlanamayacağı tartışmalarını gündeme getirmiştir. Bu tartışmalardan yola çıkarak Arbiter ve Harris (1962) Eşitlik 1.12'de verilen modeli kimyasal kinetiğe benzeterek Eşitlik 1.13'deki hız eşitliğinin bilinen genel şeklini önermişlerdir.

$$-dC/dt = k_n \cdot C^n \quad (1.13)$$

Bu eşitlikteki flotasyon hız sabiti (k), aslında karmaşık bir fonksiyon olup, reaktif miktarı ve kabarcık boyutu, indüksiyon zamanı, flotasyon hücre tasarımı, köpük akış hızı, palp, verilen enerji vb. parametreler içerir. Ancak kontrollü bir deney sisteminde bütün bu değişkenler sabit tutulup sadece konsantrasyonun zamanla değişim hızı saptanabilir. Çoğunlukla flotasyon deney sonuçları Eşitlik

13'deki n değerinin 1'e eşit olduğunu göstermiştir (Yekeler ve Sönmez, 1996). Eşitlik 1.13'ün $t=t_0$ da $C=C_0$ ve $t=t'$ de $C=C$ için integrasyonu ile Eşitlik 1.14 elde edilir.

$$C = C_0 * e^{(-k*t)} \quad (1.14)$$

Modelde yer alan konsantrasyon (C), flotasyon palpındaki benzer yüzebilirlik özelliklerine sahip minerallerin konsantrasyonu şeklinde tanımlanmakla birlikte bu konuda tam netlik kazanmayan görüşler söz konusudur. Bu düşünce aykırılıkları hız sabitinin hesaplanmasında bir dizi probleme neden olmaktadır. En genel şekliyle konsantrasyon Eşitlik 1.15'de belirtildiği gibi, birim hacme (V) düşen ağırlıktır (M).

$$C = M/V \quad (1.15)$$

Ancak M 'in palptaki toplam katının veya sadece yüzebilir minerallerin ağırlığı, V 'nin ise palpın içindeki havayı içeren, içermeyen veya sadece suyun hacmi olarak alınmasında tam bir fikir birliğine varılamamıştır. Bu nedenle modelin pratik kullanımını kolaylaştırabilmek için konsantrasyonun yerine eşitliklerin verim cinsinden yazılabileceği düşünülmüştür. Bu amaçla 0 indisi değişkenin ilk değerini, ∞ indisi flotasyonun sonsuz zaman sonunda ulaşabileceği değeri gösterdiği kabul edildiğinde Eşitlik 1.16-1.17 elde edilmektedir.

$$R = (M_0 - M) / M_0 = (C_0 - C) / C_0 \quad (1.16)$$

$$R_\infty = (M_0 - M_\infty) / M_0 = (C_0 - C_\infty) / C_0 \quad (1.17)$$

M sadece yüzebilir (hidrofob) mineralin ağırlığı olarak kabul edilirse $M_\infty = C_\infty = 0$ ve $R_\infty = 1$ olacaktır. Ancak pratikte sonsuz flotasyon zamanı sonunda bile artıka kalabilen değerli mineralin konsantrasyonu bu tanıma göre C_∞ olduğu için gerçek veya düzeltilmiş konsantrasyon $C - C_\infty$ 'dur. Buradan Eşitlik 1.13, Eşitlik 1.18 şeklinde düzenlenir.

$$dC/dt = -k_n * [C - C_\infty]^n \quad (1.18)$$

Eşitlik 1.18, Eşitlik 1.16 ve 1.17'den yararlanılarak Eşitlik 1.19 şeklinde tekrar yazılabilmektedir.

$$dR/dt = k_n * C_0^{n-1} * (R_\infty - R)^n \quad (1.19)$$

Sıfır zamanı için verimin de sıfır olduğu kabul edilip, $n=1$ için integral alınmasıyla Eşitlik 1.20'de verilen klasik birinci dereceden kinetik eşitlik elde edilmektedir.

$$R = R_\infty * [1 - \exp(-k*t)] \quad (1.20)$$

Zaman içinde flotasyon kinetiğinin derecesi (n) ile ilgili tartışmalar ortadan kalkmış ve flotasyon işleminin birinci dereceden bir eşitlikle tanımlanabileceği genel kabul görmüştür. Deneysel verilere olan uyumsuzluk ise bütün hidrofobik tanelerin eşdeğer flotasyon özelliklerine sahip olmaması ile açıklanmıştır. Bu nedenle pulp içerisindeki bütün tanelerin benzer yüzebilirlik özelliklerinde olmayacakları ve sürekli bir hız sabiti dağılım aralığına sahip oldukları düşünülmüş ve kesikli çalışan sistemler için Eşitlik 1.14, Eşitlik 1.21 olarak düzenlenmiştir.

$$C = C_0 * \int \exp(-k*t) f(k,0) \quad (1.21)$$

Burada $f(k,0)$ flotasyon başlangıcındaki (sıfır anı) hız sabiti dağılımını tanımlayan fonksiyondur. Bu ulaşılan ortak nokta bile farklı model yapılarının ortaya çıkmasına engel olamamıştır. Bu farklılıklar, $f(k,0)$ fonksiyonun tanımlanmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısı ile yukarıdaki Eşitlik 1.21'nin getirdiği ana tartışma, hız sabiti dağılımlarını doğru bir şekilde tanımlayacak yapının geliştirilmesi olmuştur. Bu modellerin geliştirilmesi sürecinde göz önüne alınan bir diğer noktada hız sabiti dağılımlarının hem geniş bir boyut aralığındaki besleme malzemesinin ve hem de besleme içinde yer alan boyut fraksiyonlarının flotasyon davranımını tanımlayabilir olmalarıdır. Flotasyon modellerinde hız sabiti, modelin yapısı ve oluşum felsefesine göre kesikli veya sürekli dağılımla tanımlanabilmektedir. Kesikli hız sabiti dağılımlarında kullanılan modellere göre iki veya daha fazla sayıda farklı

anlamlar içeren hız sabitleri hesaplanmaktadır. Kesikli dağılıma aşağıda Eşitlik 1.22’de verilen model örnek olarak verilebilir (Saklar ve ark, 1998).

$$C=C_0[\emptyset \cdot \exp(-k_s \cdot t) + (1-\emptyset) \cdot \exp(-k_f \cdot t)] \quad (1.22)$$

k_s, k_f = Sırasıyla yavaş ve hızlı yüzen hidrofob tanelerin hız sabitleri

$\emptyset$ = Yavaş yüzen hidrofob tanelerin beslemedeki yüzdesi

Sürekli hız sabiti dağılımlarında ise flotasyon hızı bir yada birkaç parametre içeren sürekli bir fonksiyonla tanımlanmaktadır. Günümüzde yaygın olarak kabul gören örneği yüzebilir türlerin hız sabiti dağılımlarını dikdörtgensel olarak tanımlayan modeldir. Dikdörtgensel dağılım, tek parametre ile (k) tanımlanmakta bu fonksiyon Eşitlik 1.21’de yerine konup integrali alındığında Eşitlik 1.23 elde edilmektedir. Buradan da verime geçilmesi durumunda ise Eşitlik 1.24 elde edilmektedir (Saklar ve ark, 1998).

$$C=C_0 \cdot 1/k \cdot t [1-\exp(-k \cdot t)] \quad (1.23)$$

$$R = R_\infty \cdot \{ 1 - 1/k \cdot t [1-\exp(-k \cdot t)] \} \quad (1.24)$$

Kinetik modellerden Imaizum ve Inove tarafından ortaya atılan tam karıştırmalı reaktör model olarak adlandırılan model Eşitlik 1.25’de verilirken, geliştirilmiş gaz/katı adsorpsiyon modeli Eşitlik 1.26’de verilmiştir (Ek, 1992)

$$R = R_\infty \cdot \{ 1 - [1/(1+(t/k))] \} \quad (1.25)$$

$$R = R_\infty \cdot \{ [k \cdot t / (1+k \cdot t)] \} \quad (1.26)$$

Eşitlik 1.13’deki kinetik derecenin (n) Arbiter (1962) tarafından 2 olarak kabul edilmesi ile birlikte Eşitlik 1.27 elde edilmiş ve bunun integrasyonu neticesinde ise Eşitlik 1.28’de verilen ikinci dereceden kinetik modele ulaşılmıştır. Ayrıca ikinci dereceden kinetik model için dikdörtgen dağılım modeli ise Eşitlik 1.29’da verilmiştir.

$$dR/dt = k \cdot (R_\infty - R)^2 \quad (1.27)$$

$$R = R_\infty^2 \cdot k \cdot t / 1 + R_\infty \cdot k \cdot t \quad (1.28)$$

$$R = R_{\infty} \{1 - 1 / k * t [\ln (1 + k * t)]\} \quad (1.29)$$

Minerallerin yüzme karakteristiklerini tayin edebilmek için kinetik çalışmalar flotasyon ile zenginleştirmeyi tahmin ve yorumlamak için araç olmuştur (Williams, 1992). Kinetik modeller kesikli flotasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde sık sık kullanılmakta olup, deneysel verim-zaman eğrilerine model uyarlamalarından elde edilen flotasyon hız sabiti (k) ve sonsuz verim (R_{∞}) olmak üzere iki model parametresi elde edilir (Xu, 1998). R_{∞} ve k değerlerindeki değişiklikleri açıklamak ve anlamak zor olması ile birlikte sık sıkta yanlış anlaşılmaktadır. Bir çok laboratuvar çalışmasında değiştirilen bir kondisyon hem R_{∞} hem de k değerinde değişikliklere yol açmaktadır. Bu da farklı şartlar altında R_{∞} ve k değerlerinin eğilimini tahmin etmeyi veya testler arasındaki flotasyon oranını karşılaştırmayı zorlaştırmaktadır. Örneğin değiştirilen bir kondisyon değerli ve gang mineralleri arasındaki selektiviteyi değiştirmeyebilirken k değerinde bir artışa R_{∞} değerinde ise bir azalmaya sebep olabilmektedir.

Flotasyon testlerinin karşılaştırılmasını basitleştirmek için flotasyon sistemindeki bütün mineraller için $R_{\infty}=1$ alınması yoluna gidilmiş fakat buda özellikle gang minerallerinde model uyarlamalarını bozduğu için pratik görülmemiştir. Bununla birlikte R_{∞} değerinin verdiği bilgilerde göz ardı edilmektedir.

R_{∞} ve k değerlerinin karşılaştırılmasında karşılaşılan bu problemin üstesinden gelebilmenin diğer bir yolu da hem sonsuz verimin (R_{∞}) hem de flotasyon hız sabitinin (k) içinde bulunduğu bir hesap olan modife flotasyon hız sabitinin ortaya konması olmuştur (Eşitlik 1.30). Bununla birlikte bir flotasyon sisteminden elde edilen farklı mineraller arasındaki bu modife flotasyon hız sabitleri baz alınarak selektif indekslerine geçilebilmektedir. Bir flotasyon sistemindeki mineral I'in mineral II'ye göre selektif indeksi; mineral I'in modife flotasyon hız sabitinin, mineral II'nin modife flotasyon hız sabitine bölümüdür (Eşitlik 1.31).

$$K_m = R_{\infty} * k = dR/dt_{t=0} \quad (1.30)$$

$$S.I = K_{m1} / K_{m2} \quad (1.31)$$

K_{m1} = Değerli mineralin modife flotasyon hız sabiti

K_{m2} = Gang mineralin modife flotasyon hız sabiti

1.4.3.2. Flotasyon Kinetiğini Etkileyen Değişkenler

Bir flotasyon sistemi için prosesin kinetiğini etkileyebilecek değişkenler, yüzdürülen mineralin cinsinden, pH'sına ve hatta kullanılan flotasyon makinesinin tipine kadar geniş bir kapsam içine alabileceği gibi, genel olarak bu değişkenler verilen basit bir sistem için toplayıcı miktarı, hava miktarı, pulp yoğunluğu ve kabarcık boyutu sıralanabilir.

1) Toplayıcının Etkisi

Palptaki toplayıcı konsantrasyonun, mineral yüzeyinde kabarcıkla maksimum temas açısını oluşturabilmesi için gerekli olan zamanı belirlediği bilinmektedir (Lynch ve ark, 1981). Toplayıcı konsantrasyonu arttıkça bu işlem daha hızlı olmakta ve maksimum temas açısının kurulması daha kısa zamanda gerçekleşmektedir. Bunun sonucu olarak flotasyon hızı artmaktadır. Fakat hızdaki bu artış, ince tanelere oranla, iri tanelerde daha etkili bir şekilde görülmektedir. Endüstriyel olarak da özellikle sülfürlü cevher flotasyonu tesislerinde ana kontrol değişkenlerinden biride kaba flotasyon devresine toplayıcı besleme miktarıdır. Kullanılan toplayıcı miktarının hız ve verim üzerindeki etkisi bir noktadan sonra ters yönde olabilmektedir. Bu nedenle toplayıcı dozajının hız ve verim için optimum bir değerinin olduğu kabul edilmiştir.

2) Köpürtücünün Etkisi

Flotasyonda köpürtücünün fonksiyonu, sıvı gaz ara yüzeyine yerleşerek yüzey gerilimini düşürmesi sayesinde sürekli ve duraylı bir köpük tabakası oluşturmaktır. Ayrıca pulpte heterojen bir boyut dağılımına sahip olan hava kabarcıklarının daha küçük çaplı ve homojen bir yapıya sahip olmalarına da neden olmaktadır (Laplane ve ark, 1983). Düşük köpürtücü dozajlarında köpük tabakası kolay bir şekilde bozulur, köpükteki minerallerin konsantreye alınmaları zorlaşır ve palpa geri dönmeye başlarlar.

Köpürtücü dozajının flotasyon hızı üzerindeki etkisi, toplayıcılarda olduğu gibi artan dozajla birlikte, flotasyon hızının artışı ve optimum bir dozajdan sonra düşmesi şeklindedir (Mehrotra ve Padmanabhan, 1990). Kullanılan köpürtücünün türü de flotasyon hızını etkilemektedir.

3) Palp Yoğunluğunun Etkisi

Tomlinson ve Fleming (1963), flotasyon işleminin serbest ve engelli olmak üzere iki farklı şekilde oluşabileceğini göstermişlerdir. Serbest flotasyon, flotasyonun en hızlı olduğu başlangıç anında bile hava kabarcıklarının mineral taneleri ile seyrek bir şekilde kaplanmalarını belirtir. Genellikle düşük palp yoğunluğunda flotasyon işlemi bu şekilde meydana gelmektedir. Engelli flotasyon, flotasyon hızının hava kabarcıklarının taşıma kapasitesi ile sınırlandığı durumu tanımlanmaktadır. Böyle bir durum genellikle pulp yoğunluğunun yüksek olduğu flotasyon işlemlerinde ortaya çıkabilmektedir. Bu durumda seçicilik azalmaktadır. Düşük pulp yoğunluklarında flotasyon hızının arttığı, yüksek pulp yoğunluklarında ise flotasyon hızının azaldığı, kesikli laboratuvar çalışmalarından bilinmektedir (Imaizumi ve Inoue, 1963; Mehrotra ve Kapur, 1974).

Genel olarak artan palp yoğunluğu ile flotasyon hızındaki düşüş iki farklı nedenden kaynaklanmaktadır. Bunlardan birincisi serbest flotasyondan engelli flotasyon koşuluna geçmedir. Diğeri ise hava akışının değişen pulp yoğunluğundan dolayı hücre içindeki dağılımının değişmesi ve serbest kabarcık yüzeyinin azalmasıdır.

4) Hava Miktarının Etkisi

Hava miktarının flotasyon hızı üzerindeki etkisi, oluşturulan kabarcıkların yüzey alanları ve çarpışma olasılığı ile ilişkilendirilmektedir. Artan hava miktarının flotasyon hızında artışa neden olduğu bilinmekle birlikte (Mehrotra ve Kapur 1974), flotasyon kinetiğinin kontrol mekanizması henüz netlik kazanmamış bir konudur.

Laplanche ve ark. (1983) malzemenin palptan köpüğe transferini hız belirleyici adım olarak esas aldıkları çalışmalarında, galen ve kuvars için, hava miktarının flotasyon hızı üzerindeki etkisini kabarcık yüzey alanı ve kabarcık çaplarını ölçerek incelemişlerdir. Flotasyon hızındaki belli bir hava miktarına kadar gözlenen artış, artan hava miktarına paralel olarak toplam kabarcık yüzey alanındaki artışla açıklanmıştır. Optimum bir değerden sonra flotasyon hızının düşmesi ise, bu hava hızından sonra oluşan kabarcık boyutunun artışı ile ilişkilendirilmiştir.

5) Kabarcık Boyutunun Etkisi

Anfrus ve Kitchener (1977) kuvarsla yaptıkları çalışmada hava kabarcıklarının yukarı doğru yükselme hızlarının boyutlarının artması ile arttığını ancak boyutlarının küçülmesi ile mineral taneleri ile çarpışma verimlerinin yükseldiğini göstermişlerdir.

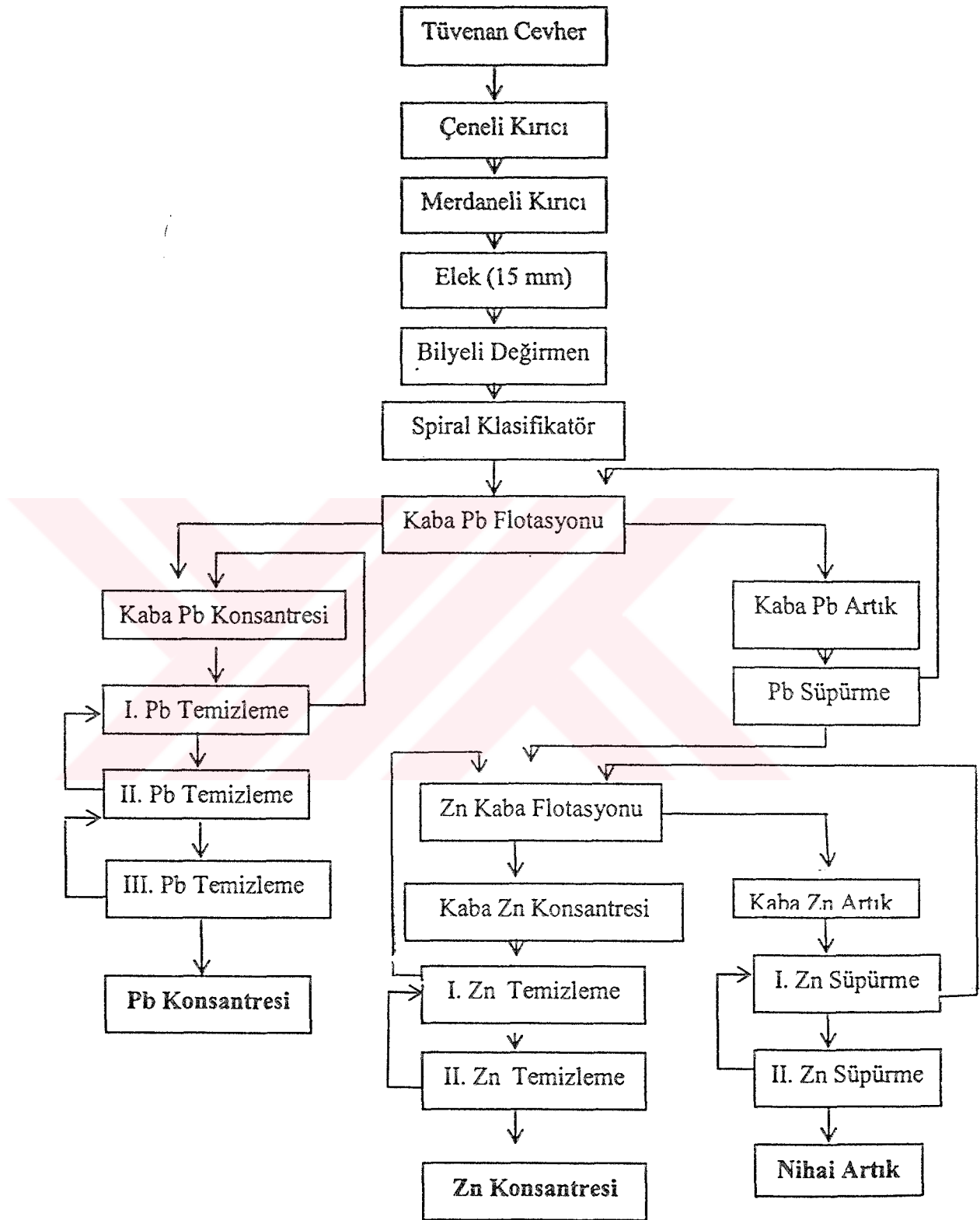
Kabarcık boyutu ile flotasyon hücresindeki türbülans akış koşullarının hız üzerindeki etkisini birlikte araştıran Spears ve Jordan (1989), -40 mikron gibi ince boyutlu galen tanelerinin flotasyonunda esas belirleyici faktörün, tane boyu ve türbülans olduğunu bulmuştur. Ayrıca türbülansın, çarpışma olasılığı ve flotasyon hızı üzerindeki etkisinin kabarcık boyutunun etkisine göre çok daha fazla olduğunu ileri sürmüştür. 75-142 mikron gibi iri tane boyutlarında da kabarcık boyutunun hız üzerindeki etkisinin oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. Tane kabarcık çarpışmasının sayısı ve tanelerin kabarcıklara tutunma olasılıklarının artması ile flotasyon hızının artışı ile ilişkilendirilmektedir. Bununla birlikte hücredeki türbülans artışının, taneler ve kabarcıkların palp içerisindeki hızlarını artırdığı ve bunun da çarpışma sayısının artışı şeklinde kendini gösterdiği ve sonuç olarak, daha fazla miktarda mineral tanesinin kabarcıklara tutunması ile flotasyon hızının arttığı belirtilmektedir (Aksani, 1998).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR**2.1. Çadirkaya Flotasyon Tesisi**

Çadirkaya flotasyon tesisi, Kayseri ilinin Yahyalı ilçesine bağlı Çadirkaya köyü civarında Postallı Madencilik Ltd. Şirketi tarafından kurulmuştur. Flotasyon tesisi, hemen yakınında bulunan ve kapalı işletme metodu ile üretilen sülfürlü kurşun-çinko cevherini işlemektedir. Çadirkaya flotasyon tesisinin genel akım şeması Şekil 2.1’de verilmiştir. Cevher çeneli ve merdaneli kırıcıdan kırıldıktan sonra, spiral tipi bir klasifikatör ile kapalı devre çalışan bilyeli değirmene beslenmektedir. Klasifikatör taşı (-0.180 mm) kurşun flotasyonu koşullandırma tankına verilmektedir.

Flotasyon işleminde 300 g/ton $ZnSO_4$, 150 g/ton Na_2S , 30 g/ton $NaCN$ ve 250 g/ton soda ($NaCO_3$) değirmene beslenmektedir. Kurşun kondisyon tankında palp’ın pH’ı soda ile 7.5-8 arasında tutulmakta ve 230 g/ton $ZnSO_4$, 135 g/ton Na_2SiO_3 , 40 g/ton Na_2S , 20 g/ton $NaCN$, 60 g/ton potasyum etil ksantat (KEX) ve 300 damla/ton çamyağı ile kondisyonlanmaktadır. Koşullandırma tankından Pb kaba flotasyon selülüne beslenen palpa burada 25 g/ton $NaCN$, 310 g/ton $ZnSO_4$, 100 g/ton soda ve 115 g/ton Na_2SiO_3 eklenmektedir. Elde edilen kaba Pb konsantresi üç defa temizlenmek suretiyle %56 Pb, %4 Zn ve 1250 g/ton Ag tenörüne sahip konsantre %84 Pb metal kazanma verimi ile elde edilmektedir.

Kurşun flotasyon artığı Zn flotasyonu için II. koşullandırma tankına verilmektedir. Burada palp pH’ı kireç kullanılarak 11.5-12 arasında tutulmakta ve 575 g/ton $CuSO_4$, 200 g/ton potasyum amil ksantat (KAX) ve 300 damla/ton çamyağı ile kondisyonlanmaktadır. Çinko koşullandırma tankından kaba Zn flotasyon devresine verilen palpa 190 g/ton $CuSO_4$ ve 80 g/ton KAX eklenmektedir. Ayrıca I. Zn temizleme devresinde 150 g/ton Na_2SiO_3 ile kireç eklenmektedir. I. Süpürme devresinde 190 g/ton $CuSO_4$ ve 40 g/ton KAX, II. Süpürme devresinde ise 40 g/ton KAX kullanılmaktadır. Elde edilen kaba Zn konsantre iki defa temizlenmek sureti ile %53 Zn, %3 Pb ve %1.15 Cu tenörüne sahip konsantre %66 Zn verimi ile kazanılmaktadır.



Şekil 2.1 Çadirkaya flotasyon tesisinin genel akım şeması

2.2. Flotasyon Kolonu ve Flotasyon Kinetiği Çalışmaları

Flotasyon kolonları ile ilgili ilk patent 1960 yılında Boutin ve Tremblay tarafından Kanada'da alınmıştır (CA 680.576 ve CA 694.547). Flotasyon kolonları ile ilgili ilk test çalışmaları ise Wheeler (1966) ile Boutin ve Wheeler (1967) tarafından yapılmıştır. Bu kolon dizaynı çoğunlukla Kanada kolonu olarak tanınmasına rağmen günümüzde konvansiyonel kolon olarak anılmaktadır. Daha sonra geliştirilen flotasyon kolonları içinde; Leeds kolonu (Dell and Jenkins, 1976), Toplama kolonu (Yang, 1988), Flotair kolonu (Zipperian ve Svensson, 1988), Hydrochem kolonu (Scheneider ve Van Weert, 1988), Jameson kolonu (1988) ve Rus'lar (Tyurnikova ve Namuov, 1981) tarafından dizayn edilen kolonlar mevcuttur. Kanada kolonu diğer dizayn edilen kolonlar arasında daha önemli bir yer oluşturmuş ve deneysel çalışmalar daha çok bu kolonlarla gerçekleştirilmiştir (Finch ve Dobby, 1990).

İlk ticari flotasyon kolonu, Kanada Kolon Flotasyonu şirketi tarafından (Les Mines Gaspé, Quebec, Kanada) molibden temizleme devresinde kurulmuştur. (Coffin and Miszezak, 1982). Kullanılan tek kolon ile birkaç hücre yer değiştirilerek yapılan çalışmalarda verimli sonuçlar elde edilmiştir. 1987'deki çalışmada 13 flotasyon hücresinin yerine 0.90 m ve 0.45 m' lik iki kolon kurulmuştur. Bu kolonlarla ilgili gerekli verilerin tamamını Dobby (1984) ve Yianatos (1987) test etmiştir. Flotasyon kolonlarının tarihsel gelişimi Şekil 2.2'de özetlenmiştir.

Kolonlar özellikle sülfürlü cevherlerin zenginleştirilmesinde bir çok tesiste kullanılmaktadır (Aksani, 1998) (Çizelge 2.1). Bunun yanında flotasyon kolonları sahil kumundaki demir ve feldispatın uzaklaştırılması, fosfat flotasyonu, altın cevherinden organik karbon içeren kısmının ayırımı (McKay ve ark, 1992: Foot ve ark, 1932), laboratuvar ölçeğinde kömürden mikrobiyolojik olarak sülfürün uzaklaştırılmasında (Ohmura ve Saiki, 1994), başarı ile kullanılmıştır.

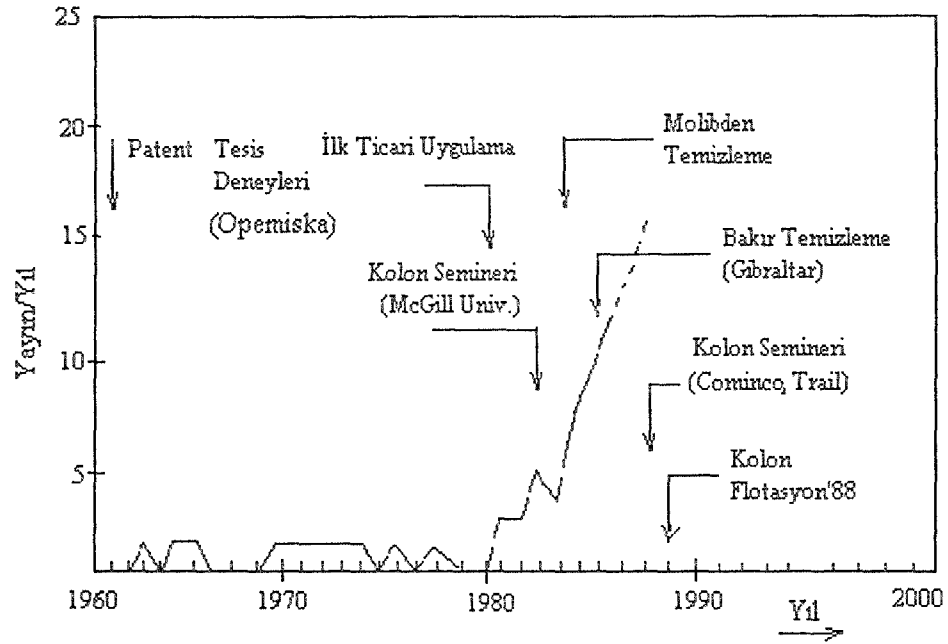
Çizelge 2.1. Sülfürlü Cevherlerde Flotasyon Kolonu Uygulamaları (Aksani, 1998)

ŞİRKET- ÜLKE	UYGULAMA	KOLON BOYUTLARI* G*U*Y-Ç*Y (m)	KESİT BÖLÜCÜ SAYISI	KABARCİK ÜRETİCİ TİPİ	KAYNAK
MinesGaspé Kanada	Mo temizleme	0.45*13.6 0.91*13.6 1.8*13.6	-	Delikli Plastik	Ciensi ve Coffin (1981)
Faro Kanada	Temizleme	2 Adet 3.72*13.3	-	-	Brewis(1991)
Gibraltar Kanada	Cu temizleme	2.1*12	6	Filtre bezi kapalama	Finch ve Dobby (1990)
Copper Cliff Kanada	Cu son temizleme	1.8*11 1.1*11	4	Kauçuk	Finch ve Dobby (1990)
Polaris Kanada	Pb temizleme	0.61*9.8 0.76*9.1	-	Kauçuk	Kosick.Kuehn ve Freberg (1988)
Pine Point Kanada	Zn temizleme	0.4*10	-	--	Meekel.Egan ve Fairweather (1998)
Red Dog Kanada	Zn temizleme Pb/Zn ayırımı	0.05*4.5 0.05*4.5	-	-	Meekel.Egan ve Fairweather (1998)
Sullivan Kanada	Zn temizleme	2.4*13	6	USBM	Redfearn ve Egan (1988)
Yukan Kanada	Zn temizleme	2 Adet 3.6*13	-	Cominco	Brewis (1991)
Strathcona Kanada	Cu/Ni ayırımı	0.9*13	-	Filtre bezi kaplama/US BM	Brewis (1991)
Cyprus Minerals ABD	Mo ara. Cu/Mo son temizleme	3 adet 0.9*15 2*15.1	-	Filtre bezi kaplama	Clingan ve McGregor (1987)
Chino ABD	Mo ara-son temizleme.süpürme	0.4*11.4 0.6*11.6 0.9*11.5	-	Filtre bezi kaplama	Clingan ve Mc Gregor (1987)
Pinto Valley ABD	Mo ara temizleme.süpürme	0.6*7.6 0.6*7.6	-	Filtre bezi kaplama	Clingan ve Mc Gregor (1987)
San Manuel ABD	Cu/Mo son temizleme	1.8*12.1 1.5*12.1 1.2*1.2*9.7 0.8*3.6	-	Filtre bezi kaplama	Clingan ve Mc Gregor (1987)
Oracle Ridge ABD	Kalkopirit kaba+süpürme	2 adet 1.5*11	-	Cominco	Carter (1991)
Wallece ABD	Kaba. temizleme	1.24*10.23 1.86*10.23	-	-	Brewis (1991)
Ozark- Mahoning ABD	Zn kaba+temizleme	2.3*12.2 1.1*9.75	-	USBM	Keyser. Ashford ve McKay (1993)
Bogosu Ghana	Kaba. temizleme	2.75*13 1.2*14.6	-	-	Brewis (1991)
Radio Hill Avustralya	Kaba	1.8*10.5	-	-	Brewis (1991)

Three Mile Hill Avustralya	Kaba	3*17.3	-	-	Brewis (1991)
Fimiston Avustralya	Kaba	2 adet 3.95*17.9	-	-	Brewis (1991)
Red Dome Avustralya	Kaba.süpürme.tem izleme	4 adet 2.95*12 2 adet 1.4*12	-	-	Brewis (1991)
Perth Avustralya	Kaba.temizleme	3 adet 2.5*16.7			Brewis (1991)
Harbour Lights Avustralya	Pirit kaba flotasyonu.süptür me flotasyonu	2.5*12 1.2*12	6 2	Filtre bezi kaplama	Shuber (1998) Dobby (1990)
Svedles Mine Avustralya	Zn kaba+temizleme	3 adet 2.44*16	-	-	1991
Mount Isa Mines	Pb/Zn temizleme	3 adet 2.5*13		Kauçuk	Espinoza-Gomez. Jonson ve Finch (1989)
Hilton Avustralya	Pb Zn temizleme	4 adet 2*11	-	-	1991
Perth Avustralya	Zn kaba+temizleme	3 adet 2.5*16.5	-	Cominco	Brewis (1991)
Paddington Avustralya	Toplu sülfür kaba flotasyonu	3.25*12 1.5*14	-	-	Alford (1990)
Woodcutter Mines Avustralya	Pb temizleme. Zn kaba+temizleme	2 adet 3.1* 1 adet 2.7*-	-	Cominco	CESL
Cobar Avustralya	Bakır temizleme	2.1*-	-	Cominco	CESL
Windarra Nickel Mine Avustralya	Altın içeren toplu sülfür kaba+temizleme flotasyonu	2.5*12 1.5*10.5	-	-	Alford (1990)
Macraes Flat Yeni Zellanda	Kaba. temizleme	2 adet 2.9*14.2 2 adet 2*14.2	-	-	Brewis (1991)
Mineraçoa Manati Cuibata Brezilya	Cu kaba+temizleme	0.75*1.5*10 0.45*0.9*10	-	Delikli boru	Reis ve Peres (1991)
Cujone Peru	Cu/Mo son temizleme	1.2*12.1	-Filtre bezi kaplama	Filtre bezi kaplama	Clingan ve Mc Gregor (1987)
Cveelaria Şili	Cu+Au+Ag kons. Temizleme	4 adet 3.6*14	-	-	Ryan ve Madson (1996)
R.Merropolit ane-Colina Şili	Temizleme	3.71*1.76*13.86		Filtre bezi kaplama +turbo air	Schena ve Casali (1994)
R.Merropolit ane-Colina Şili	Cu/Mo toplu konsantre .temizleme	2 adet 2*8*14.5	16	Turbo air+Minovex	Schena ve Casali (1994)
V.Region Los Andes Şili	Cu/Mo ayırımında temizleme	2 adet 2*6.5*13.8	12	Turbo air	Schena ve Casali (1994)

II Region Antifagasta Şili	Cu/Mo ayırımında temizleme	2 adet 1.83*1.83*13.6		-	Schena ve Casali (1994)
Ojoc del Salado Şili	Kalkopirit temizleme	1 adet 2.4*12.2	-	-	Rocher ve Hanks (1994)
Antofagasta Şili	Cu/mo toplu konsantre temizleme	8 adet 14.3*4*4		Cominco ve Minnovex	Schena ve Casali (1994)
Minera Bismark Meksika	Pb/Cu toplu konsantre ve Zn temizleme	0.91*12 2.13*13	-	Diester. ominco	Haptonstall (1995)
Molycopr Meksika	Mo temizleme	2.4*-	-	Dieseter	DIESTER
Ertsberg Endonaezya	Porfiri Cu	3 adet 3* 3 adet 3*-	-	Minnovex	Russeland ve Kieffer (1994)
Grasberg Endonezya	Profli Cu	4 adet 3.7*15.2 4 adet 3.7*15.2	-	-	Coleman ve Veloo (1996)
Bougainvilla Yeni Gine	Kaba+süptürme konsantresi. temizleme	1.8*12 1.2*12	-	Turbo air	Alford (1990)
OK Tedi Tabubil Yeni Gine	Bakır temizleme	2 adet 3.6*15	-	Cominco	CESL
Lonrho Zimbabve	Altın kaba flotasyonu	1.2*-	-	Multotec	MULTOTEC
Pering Mine Güney Afrika (G.A)	Pb temizleme Çinko kaba+temizleme	2 adet 2.1* 2.7*-	-	Cominco	CESL
Foskor Ltd. G.Afrika	Bakır kaba+temizleme	0.6* 1*-	-	Multotec	MULTOTEC
Palabora G.Afrika	Bakır kaba+temizleme	0.6* 1* 2.8*-	-	Multotec	MULTOTEC
O'Okiep Copper G.Afrika	Bakır flotasyonu.Bakı temizleme	1.5* 3.2*-	-	Multotec	MULTOTEC
O'Okiep Copper (Nigraomep) G.Afrika	Bakır flotasyonu.Bakı temizleme	1.5* 3.2*-	-	Multotec	MULTOTEC
O'Okiep Copper (Caroulasbur g) G.Afrika	Bakır flotasyonu.Bakı temizleme	1.5* 3.2*-	-	Multotec	MULTOTEC
Black Mountain G.Afrika	Çinko temizleme	2*-	-	Multotec	MULTOTEC
Aprisa İspanya	Sülfür temizleme	2.4*-	-	Diester	DIESTER
Boliden İsveç	Çinko temizleme	1.7*-	-	Diester	DIESTER
Boliden Aitik İsveç	Bakır temizleme	3* 3*-	-	Diester	DIESTER

*G: Genişlik, U: Uzunluk, Y: Yükseklik, Ç: Çap



Şekil 2.2. Flotasyon Kolonunun Tarihsel Gelişimi (Finch ve Dobby, 1990)

Güney ve Önal (1990) tarafından Etibank Üçköprü kromit artıklarının kolon flotasyonu ile zenginleştirilmesinin araştırılması için yapılan çalışmada 7 cm çapında 72 cm boyunda flotasyon kolonu kullanılmıştır. Deneylerde palp katı oranı, toplayıcı miktarı, pH ve Na_2SiO_3 değişiminin etkisi incelenmiştir. Optimum koşullarda yapılan flotasyon deneyleri sonucunda ise girenin %29.5'i oranındaki bir konsantrenin %48.73 Cr_2O_3 tenörle ve %71.6 krom kazanma verimi ile elde edilebileceği tespit edilmiştir.

Mavros ve ark (1993), iç çapı 4 cm yüksekliği 200 cm olan flotasyon kolonu ile arsenopirit (FeAsS) zenginleştirme çalışmaları ile yüksek arsenik içerikli pirit konsantresi elde etmişlerdir.

Tuteja ve ark (1995), 30 cm çapında 6.3 m yüksekliğinde bir kolonla, 80 cm köpük derinliğinde, -0.075 mm tane iriliği, 1-2 cm/sn besleme hızı, 1-2.5 cm/sn hava hızı ile gerçekleştirdikleri deneysel çalışmalarda; toplama bölgesi yüksekliği, hava hızı, besleme hızı ve besleme malının tenörünün etkisinin arsenik kazanımına olan etkisini incelenmişlerdir. Çalışmalar neticesinde hava hızının en önemli parametre olduğunu ortaya koymuşlardır.

Öteyaka ve Soto (1995), flotasyon kolonlarında hava tutunumunun ve hava kabarcık çapının değişiminin tahmini için gerçekleştirdikleri çalışma sonrasında şu sonuçları elde etmişlerdir:

- Uzun bir kolonda hava tutunum yüzdesi kolonun üstüne doğru kolon yüksekliğine köpürtücü miktarına ve hava debisinin artışına oranlı olarak artmaktadır.
- Köpürtücü miktarının artışı hava kabarcıklarının çapını azaltmakta ve sonuçta hava kabarcıklarının çapının azalması kabarcıklarının kolon içinde kalma sürelerini artırmaktadır. Bu olay kolon içinde hava tutunum yüzdesini artırmaktadır.
- Hava debisinin artışı türbülansı ve hava tutunum yüzdesini artırmakta. türbülans artışı bazı kabarcıkların çarpışıp birleşmesine neden olmakta ve sonuç olarak kabarcıkların çapı büyümektedir
- Kolonun üst kısmına doğru basıncın azalması ve bazı kabarcıkların birleşmesi nedeni ile hava kabarcıklarının çapı artmaktadır.
- Deneysel sonuçlar ile teorik sonuçlar arasında iyi bir uyum görülmektedir. Bu durumda hava tutunum yüzdesinin hesaplanması için Eşitlik 2.1 ve kabarcık çapının hesaplanması için Eşitlik 2.2 güvenle kullanılabilir

$$\varepsilon_A = \varepsilon_B (10.33 + \Delta L_{AB} - L_B * \varepsilon_B) / 10.33 - L_A * \varepsilon_B \quad (2.1)$$

$$d_A = d_B * [(10.33 + \Delta L_{AB} - L_B * \varepsilon_B + L_A * \varepsilon_A) / 10.33]^{1/3} \quad (2.2)$$

L_A = Kolonun üst noktasının kotu (A noktası) (m)

L_B = Kolonun hava tutulumunun ölçülen noktası (B noktası) (m)

ε_A = A noktasındaki hava tutunum yüzdesi (tahmin edilecek)

ε_B = B noktasındaki hava tutunum yüzdesi

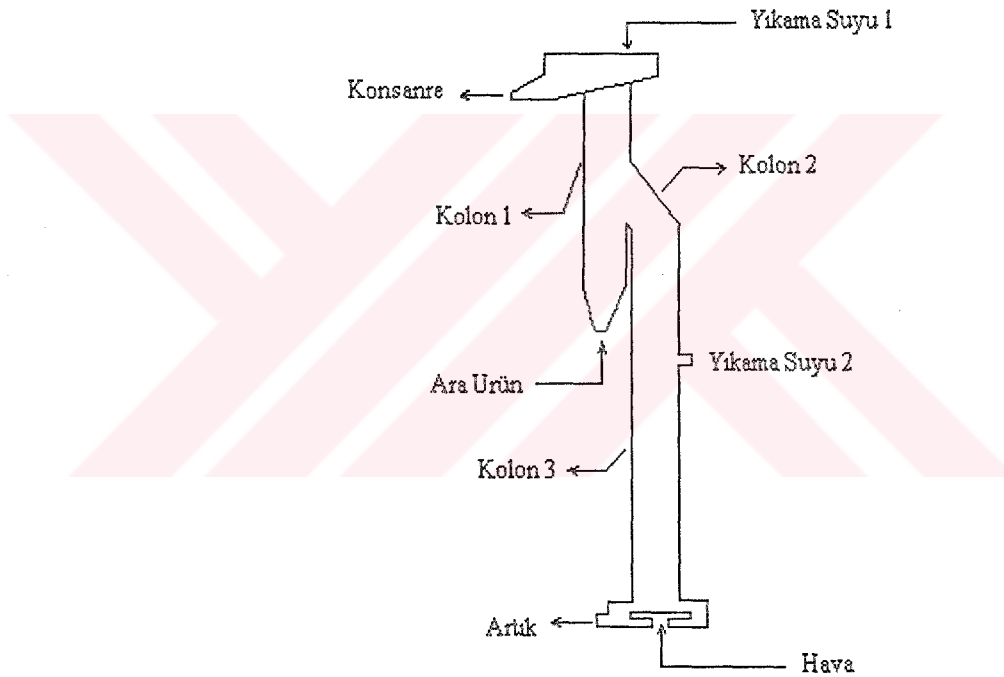
10.33 = Atmosferik basınç (m.ss)

d_A = Hava kabarcığının A noktasındaki çapı

d_B = Hava kabarcığının B noktasındaki ölçülen çapı

Sonuç olarak; bir hidrofof parçacığının yüzebilirlik olasılığını etkileyen hava tutunum yüzdesinin ve kabarcık çapının değişimi. uzun kolonların boyutlandırılmasında dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir.

Rubio (1996), tarafından yapılan çalışmada, besleme bölgesi ile köpük bölgesi arasına yerleştirilen ikinci bir yıkama suyu sisteminin yerleştirilen ve 3PC adı verilen kolon ile (Şekil 2.3) altın, bakır, kurşun-çinko ve fluorit cevherleri çalışılmış ve konvansiyonel flotasyon kolonu ile karşılaştırıldığında daha yüksek verimde ve tenörde konsantr elde edilmiştir



Şekil 2.3. 3PCL Flotasyon Kolonu

Yekeler ve Sönmez (1996), 6.5x6.5x75 cm'lik dikdörtgen prizma şekilli kolonla gerçekleştirilen çalışmada yüksek derecede hidrofofiklik özelliğe sahip farklı boyut fraksiyonlarındaki talk minerallerinin kolon flotasyonu hücresindeki tane boyutu etkisini araştırmak için flotasyon hız sabiti (k) değeri elde edilmiştir. Çalışmada birinci dereceden kinetik modelden yararlanılmıştır. Yapılan flotasyon kinetiği testleri 30 sn'den maksimum verimin elde edildiği 240 saniyeye kadar olmuştur. %100 hidrofofik mineral yüzdesine sahip -38 mikron boyutundaki saf talk

en yüksek verimi vermiştir (%97.53). Boyut fraksiyonları kaba boyuta yükseldikçe hem elde edilebilecek maksimum verimler hem de flotasyon hız sabitleri (k) azalmıştır. Tamamıyla hidrofilik özelliğe sahip kalsit minerali kolektörsüz olarak %25 ağırlık yüzdesi ile %75 talk ile karışıp yüzdürüldüğünde verim %57.40 'a düşmüştür. %100 kalsit içeren numune %5.63 değeri ile en düşük verim değerini vermiştir. otasyon hız sabitleri de aynı azalma eğilimini göstermiştir.

Yuan ve ark (1996), kompleks sülfürlü bir cevherin konvansiyonel flotasyon deney sonuçlarını altı farklı kinetik model kullanarak değerlendirmişlerdir. Cu, Ag ve Pb için en uygun modelin birinci dereceden dikdörtgen dağılım modelinin olduğu ortaya konmuştur.

$$r = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{k t} [1 - \exp(-k t)] \right\} \quad (2.3)$$

r t zamanındaki verim

R_{∞} = Sonsuz verim .

k = Flotasyon hız sabiti

Xu ve Crawley (1996), flotasyon kolonlarında hız sabiti ve selektivite ölçümünün hesaplandığı bir çalışmada 6.25 cm çapında 200 cm yüksekliğinde flotasyon kolonu kullanılmışlardır (Şekil 2.4). Çalışmada hem kesikli (batch) hemde sürekli (continuous) flotasyon deneyleri yapılmıştır. Kesikli flotasyon modeli olarak birinci dereceden kinetik model;

$$r = R (1 - \exp (-k * t)) \quad (2.4)$$

Sürekli model olarak birinci dereceden tapalı akış modeli kullanılmıştır.

$$r = 1 - \exp(-k * \tau_p) \quad (2.5)$$

τ_p = Minerallerin kolonda kalma süreleri

Kesikli ve sürekli olarak gerçekleştirilen flotasyon deneylerinde hava hızı, besleme hızı çalışılmış ve her deney için kümülatif verim–zaman eğrileri çizilerek her model için model uyarlamaları gerçekleştirilerek her parametre için Cu ve Ni için

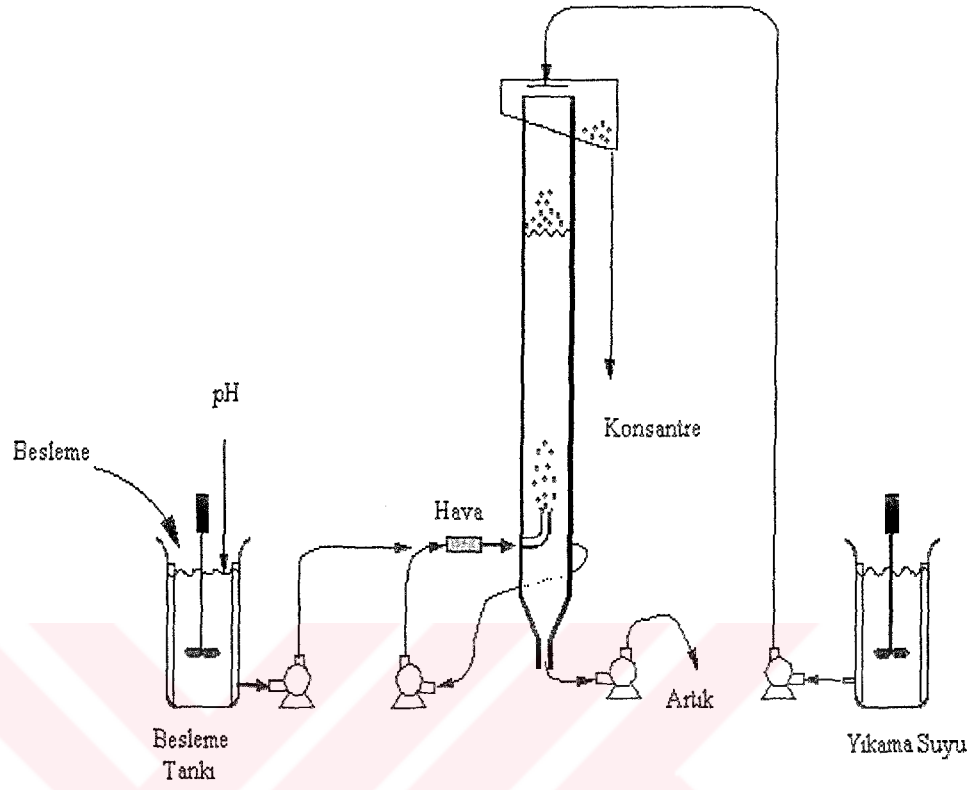
flotasyon hız sabitleri bulunmuştur. Bulunan bu hız sabitleri bölünerek (k_{Cu} / k_{Ni}) selektif indeksleri elde edilmiştir. Yüksek k_{Cu}/k_{Ni} oranı yüksek selektiviteyi göstermektedir. Sonuç olarak;

- Flotasyon hız sabiti ve selektivite hem kesikli hem de sürekli flotasyon modelleri için bulunmuştur.
- Sürekli flotasyon modelinden elde edilen flotasyon hız sabiti kesikli flotasyon modelinden daha büyüktür.
- Kesikli ve sürekli çalışmalar neticesinde benzer selektivite verileri elde edilmiştir.

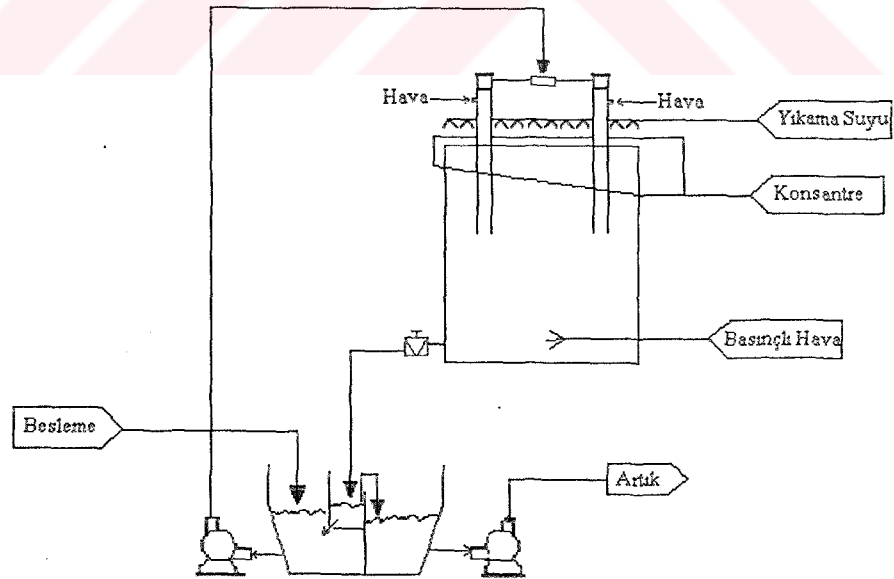
Kesikli kolon flotasyon sonuçları; genel kolon çalışmasında ve ölçek büyütmede kullanılabilir olduğu tespit edilmiştir.

Terblanche ve ark (1998), 1998 yılının ilk yarısında Türkiye'nin muhtelif tesislerinde (Ber Oner-Ergani Bakır Madeni, Karadeniz Bakır İşletmeleri Murgul Madeni) Şekil 2.5'de verilen pilot çapta turbo flotasyon kolonu ile testler yapmışlardır. İlk testler 160 mm çapındaki kolon ile yapılmış sonra tesislere gidilerek tesis şartlarında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Pilot çapta yapılan testlerin amacı kolon flotasyona ait veriler elde edilerek endüstriyel çapta kolon flotasyonun tasarımını yapmaktır. Yapılan bu pilot çaptaki testlerden başarılı sonuçlar alınmıştır

Xu (1998), modife flotasyon hız sabiti ve selektif indeksi başlığı altında yaptığı çalışmada; kinetik modellerin kesikli flotasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde sık sık kullanıldığını her bir zaman aralığı için verim ve kümülatif verim değerleri elde edilmekte bu verilerden doğrusal olmayan regrasyon yöntemlerden biri kullanılarak kullanılan modelin parametrelerinin sonsuz verim (R_{∞}) ve flotasyon hız sabiti (k) olmak üzere iki tane olduğunu belirtmektedir. R_{∞} ve k değerlerindeki değişiklikleri açıklamak ve anlamak zor olması ile birlikte sık sıkta yanlış anlaşılmaktadır. Flotasyon testlerinin karşılaştırılmasını basitleştirmek için flotasyon sistemindeki bütün mineraller için $R_{\infty} = 1$ alınması yoluna gidilmiş fakat. buda özellikle gang minerallerinde model fitlemelerini (uyarlamaları) bozduğu için pratik görülmemiştir. Bununla birlikte R_{∞} değerinin verdiği bilgilerde göz ardı edilmektedir.



Şekil 2.4. Flotasyon Kolonu (Xu ve Crawley, 1996)



Şekil 2.5. Turbo Flotasyon Kolon Sistemi (Terblanche ve ark, 1999)

R_{∞} ve k değerlerinin karşılaştırılmasında karşılaşılan bu problemin üstesinden gelebilmenin diğer bir yolu da hem sonsuz verimin (R_{∞}) hem de flotasyon hız sabitinin (k) içinde bulunduğu bir hesap olan modife hız sabitinin ortaya konması olmuştur. Bununla birlikte bir flotasyon sisteminden elde edilen farklı mineraller arasındaki bu modife hız sabitleri baz alınarak selektif indekslerine geçilebilmektedir.

$$K_m = R_{\infty} * k = \partial R / \partial t_{t=0} \quad (2.6)$$

Bir flotasyon sistemindeki mineral I' in mineral II' ye göre selektivite indeksi. mineral I' in modife flotasyon hız sabiti ile mineral II'nin modife flotasyon hız sabitinin oranı olarak tarif edilmektedir.

$$\text{Selektivite İndeksi (I/II)} = K_{m I} / K_{m II} \quad (2.7)$$

Yianatos ve ark (1998), tarafından gerçekleştirilen ve endüstriyel flotasyon kolonlarında köpük bölgesinin modellenmesine yönelik çalışmada, 2x8 m²'lik kare kesitli 14 m yüksekliğinde bir kolon kullanılmıştır. Kolon ürünü olarak %32 Cu tenörlü bir konsantre elde edilmiştir. Çalışmada; ortalama köpük derinliği 1 m., köpük bölgesinin hava tutunumu %80, 1.2-1.8 cm/sn hava hızı ve 0-0.1 cm/sn yıkama suyu hızı kullanılarak pozitif ve negatif biasla çalışılmıştır

Sirkeci ve ark (1999), tarafından Murgul Bakır Zenginleştirme Tesisine flotasyon kolonunun adaptasyonuna yönelik 10 cm çapında 6 m yüksekliğinde kolon ile gerçekleştirilen çalışmalarda önce laboratuvar bazında çalışılmış ve optimum besleme hızı, hava hızı, yıkama suyu hızı ve köpük derinliği tespit edilerek %73.5 bakır veriminde %27.49 Cu tenörlü nihai konsantre elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasını teşkil eden tesis çalışmalarında ise %51.10 bakır veriminde %28.61 Cu tenörlü nihai konsantre elde edilmiştir .

Bayrak ve Toroğlu (1999), Armutçuk toz kömürünün kolon flotasyonu ile zenginleştirilmesi amacıyla 7 cm çapında 130 cm boyunda bir kolonla flotasyon verimine etki eden parametreler araştırılmıştır. Armutçuk kömür yıkama tesisinden elde edilen şamların kazanılması için deneyler esnasında farklı koşullar ve parametre değerleri kullanılmıştır. Çalışmalar neticesinde; köpük kalınlığının 40 cm.

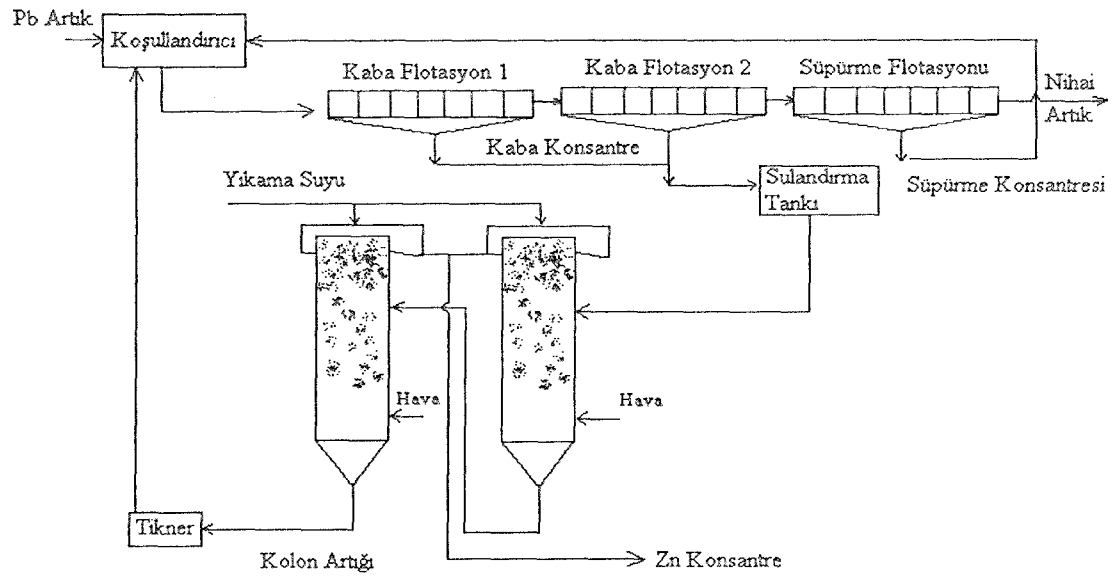
7.5 cm/sn hava hızının, 420 g/ton köpürtücünün, 990 g/ton gazyağının optimum sonuç verdiği ve şlam içerisinde bulunan ince kömürün kazanılmasında kolon flotasyonu yönteminin verimli ve etkin bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmışlardır.

Yekeler ve Yazar (1999), tarafından yapılan Gamma flotasyonu prosesinde düşük yüzey enerjili minerallerin kinetiğinin araştırılmasında, farklı derecelerde ıslanma eğilimi gösteren stibnit (Sb_2S_3), molibden (MoS_2), talk [$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$] ve kükürt'ün (S) flotasyonunda reaktif kullanılmadan çözelti yüzey geriliminden yararlanan gamma flotasyonundaki kinetiği araştırılmıştır. Deneyler esnasında 160 ml toplam sıvı hacmine sahip Partridge Smith hücresi kullanılmıştır. Sonuç olarak gamma flotasyonun birinci dereceden flotasyon kinetiğine uymadığı verim-yüzey gerilimi eğrilerinin eğimi flotasyon hız sabitinin belirlenmesinde çok iyi bir ölçüm olduğu, eğim değerlerinin yüksek olması yüksek flotasyon hızı demek olduğu ve gamma flotasyonunda flotasyon hız sabiti ile flotasyon derecesi arasında ters bir logaritmik ilişki söz konusu olduğu ortaya konmuştur.

Mittal ve ark (2000), Hindistan da Rajpura Dariba Madeninde çinko temizleme devresinde kolon flotasyonu uygulaması ile (Şekil 2.6), tesisin çinko konsantresinde en az %4'lük bir tenör artışın sağlandığını belirtmektedirler (%48-50 Zn'den %52-54 Zn'ye çıkılmıştır.)

Güney ve ark (2001), tarafından gerçekleştirilen pilot çaplı çalışmada ise Eti Holdig'e ait Karagedik kromit tesis artığının zenginleştirilmesine çalışılmıştır. %13-14 Cr_2O_3 tenöre sahip -0.038 mm tane iriliğindeki kromit artığı yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı + flotasyon kolonu zenginleştirilmesi ile %46-48 Cr_2O_3 tenörlü konsantre %60-65 verimle alındığı belirtilmektedir

Banisi ve Finch (2001) tarafından 5.5 m boyunda 26 cm çapında pilot çapta bir flotasyon kolonu Sarcheshmesh bakır madenine (İran) tesis edilmiştir. Söz konusu kolon temizleme devresinde altı flotasyon hücresi ile yer değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiş sonuç olarak konsantre tenöründe %2'lik, verimde ise %1'lik bir artış temin edilmiştir.



Şekil 2.6. Hindistan'da İlk Flotasyon Kolonu Uygulaması (Banisi ve Finch 2001)

Oliveira ve ark (2001), niobium (Nb_2O_5) mineralinin zenginleştirilmesine dönük olarak gerçekleştirilen flotasyon deney sonuçlarının değerlendirilmesinde aşağıda verilen kinetik modellerden Model 3 öngörülmüştür.

$$r = R_{\infty} [1 - \exp(-k_1 t)] \quad (2.8)$$

$$r = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{k_2 t} [1 - \exp(-k_2 t)] \right\} \quad (2.9)$$

$$r = R_f [1 - \exp(-k_f t)] + R_s [1 - \exp(-k_s t)] \quad (2.10)$$

r = t zamanındaki verim

R_{∞} = Sonsuz verim

R_f = Hızlı flotasyon aşamasının sonsuz verimi

R_s = Yavaş flotasyon aşamasının sonsuz verimi

k_f = Hızlı flotasyon aşamasının flotasyon hız sabiti

k_s = Yavaş flotasyon aşamasının flotasyon hız sabiti

Sripriya ve ark (2003), tarafından yapılan çalışmada -0.5 mm boyutuna öğütülen kömür numunesi üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmada; konvensiyonel flotasyon makinesi kullanarak farklı sürelerde toplamda 2 dakika konsantre alınarak köpürtücü miktarı, toplayıcı miktarı ve hava hızı parametreleri çalışılmıştır. Birinci dereceden kinetik model kullanılarak model parametrelerinden flotasyon hız sabiti (k) ve sonsuz verim R_{∞} değerleri elde edilerek buradan modife hız sabitine ($K_m=R_{\infty}*k$) oradan da selektif indeksine geçilmiştir. Sonuç olarak birinci dereceden kinetik modelin kesikli flotasyon çalışmasına çok uyum gösterdiği, modife flotasyon hız sabitinin (K_m) ve selektif indeksinin (SI) optimum flotasyon parametrelerinin belirlenmesinde yararlı olduğu sonucuna varılmıştır.



3. MATERYAL VE METOD**3.1. Materyal**

Deneyisel çalışmada kullanılmak üzere Çadırkaya/Yahyalı/Kayseri bölgesinde bulunan Postallı Madencilik Ltd. şirketi tarafından kapalı işletme metoduyla üretilen sülfürlü kurşun-çinko cevherinden yaklaşık 800 kg kadar temsili numune alınarak Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Maden Mühendisliği Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir.

Numunenin homojenleştirilmesi amacıyla cevher öncelikle harmanlanarak deneylerde kullanılmak üzere konileme-dörtleme metodu ile azaltılmıştır. Miktarı azaltılan cevher; kimyasal analiz, kırma-eleme, öğütme-eleme ve flotasyon deneylerinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır (Şekil 3.1).

Maden yatağından alınan sülfürlü kurşun-çinko cevherinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’de verilmiştir. Cevherin içerdiği ana elementlerden; %16.47 Zn, %0.87 Pb, ve %23.12 Fe seviyesindedir. Ayrıca cevherde %0.29 Cu, %0.007 Ag, %0.09 Cd bulunmakta olup cevherde altın mevcut değildir.

Cevher örneği üzerinde TÜBİTAK-MAM laboratuvarlarında yapılan XRD analizi (Şekil 3.2 ve Ek 1) neticesinde cevherin başlıca sfalerit (ZnS), pirit (FeS_2), kuvars (SiO_2) ve dolomit [$CaMg(CO_3)_2$] minerallerinden oluştuğu saptanmıştır. Ayrıca cevherin kimyasal analizler ve mikroskopik incelemeler neticesinde galen (PbS) mineralinin de çok az miktarda mevcut olduğu saptanmıştır.

3.2. Metod**3.2.1. Kimyasal Analiz**

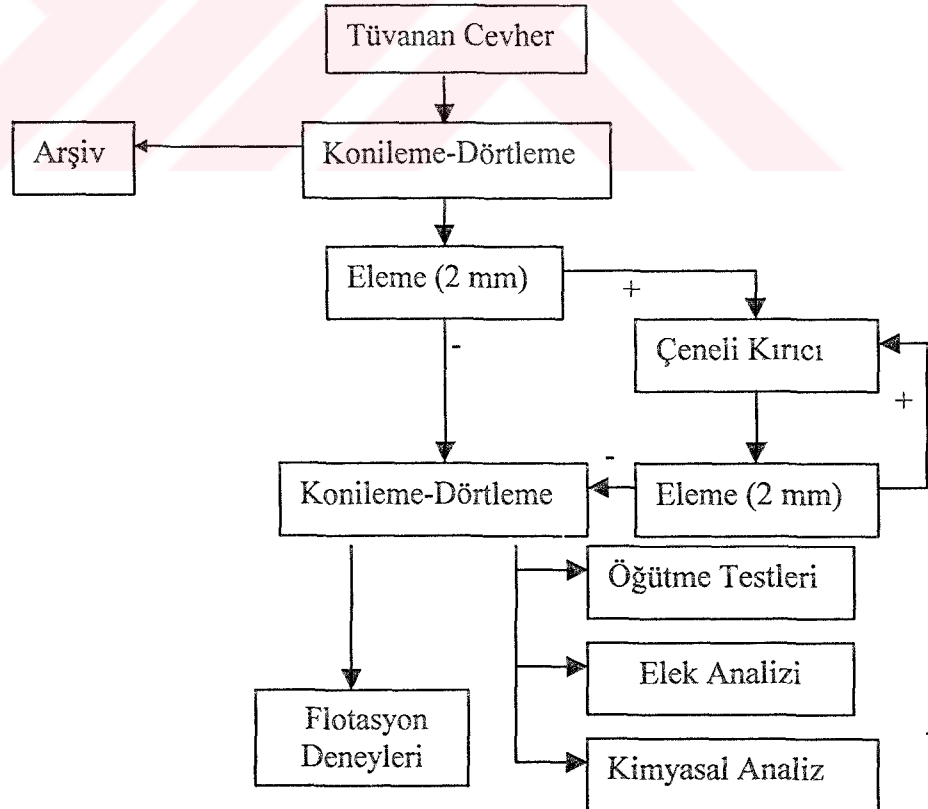
Kimyasal analizlerin yapılmasında PERKIN ELMER mikroprosesör gaz kontrollü 3100 Model Atomik Absorbsiyon Cihazı (AAS) kullanmıştır.

10-20 gram kadar örnek gerek görüldüğü durumlarda el havanı ile öğütülerek 105 °C’ de 1 gün etüvde kurutulmuştur. Desikatörde soğutulan örneklerden 0.5-1 g tartılmış ve teflon kroze 15 ml HF (Hidroflorik asit) ve 5 ml $HClO_4$ ile parçalanıp sıvıya aktarılmıştır. Ortamdaki silisyum SiF halinde ortamdan uzaklaştırılmış daha

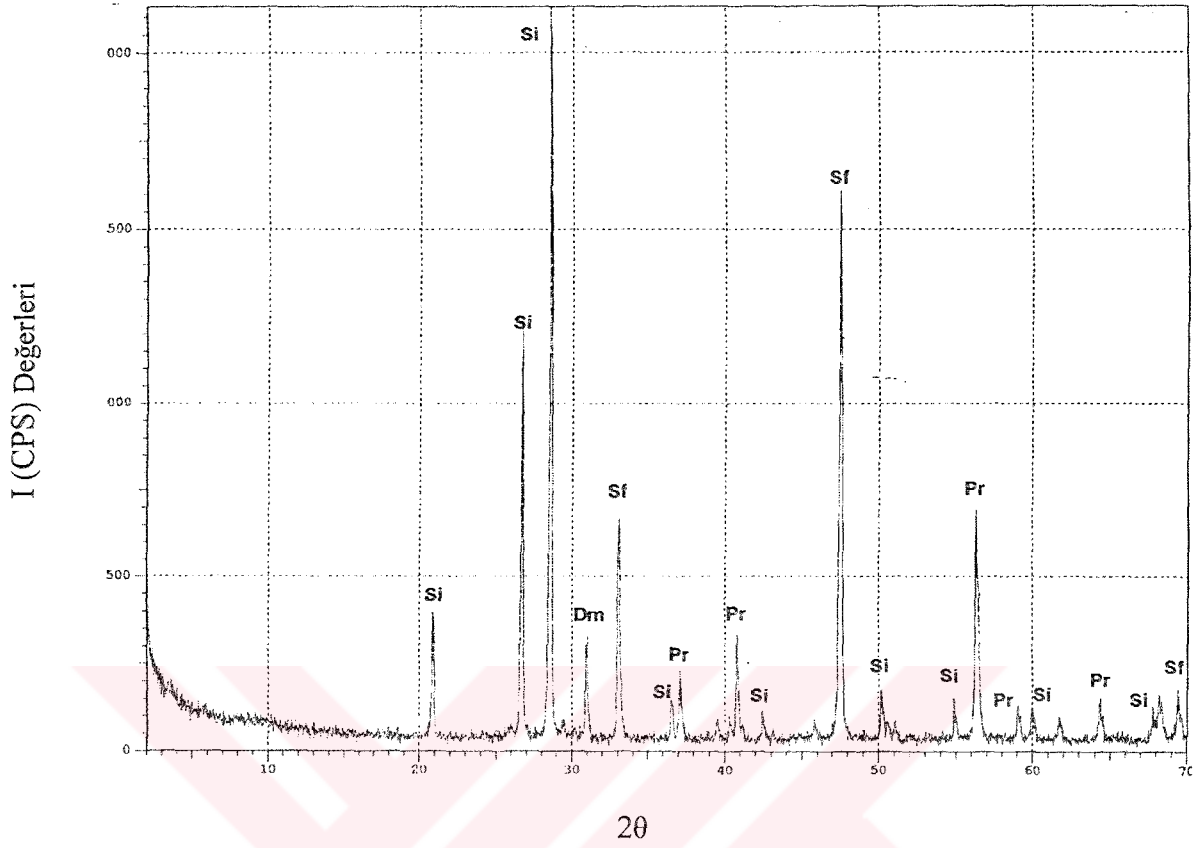
sonra diğer elementler HCl ile çözülüp balonjojede 100 ml saf su tamamlanarak Atomik Absorbsiyon Spektrometre cihazında Zn ve Fe elementleri okunmuştur.

Çizelge 3.1. Tüvenan Cevherin Kimyasal Analiz Sonuçları

Element	%
Pb	0.87
Zn	16.47
Fe	23.12
Cu	0.29
Cd	0.09
Mn	0.04
Au	-
Ag	0.007
SiO ₂	22.52
CaO	1.70
MgO	8.82
Kızdırma Kaybı	22.60
Diğerleri	26.07
Toplam	100.00



Şekil 3.1. Numune Almada İzlenen Yol



Şekil 3.2. Cevherin XRD Analiz Sonuçları (Si: Kuvars, Dm: Dolomit, Sf: Sfalerit, Pr: Pirit)

3.2.2. Mikroskobik Analizler

Mikroskopla yapılan incelemeler ve ölçümler cevher içindeki minerallerin cinsi, yapısı ve tane büyüklüğü hakkında bilgi verirler. Zenginleştirme öncesinde elde edilen bu bilgiler verimli bir zenginleştirme yapılabilmesi ve zenginleştirme yönteminin seçimine ışık tutması bakımından zorunlu olmaktadır (Ergin ve ark, 1996).

Mikroskobik çalışmalarda cevher mikroskobu kullanılmıştır. Mikroskopta öncelikle tane serbestleşme boyutunun belirlenmesine yönelik olarak çeneli kırıcı çıkışının elek analiz ürünleri incelenmiş daha sonra bu elek analizi fraksiyonlarının (+0.500, 0.500-0.300, 0.300-0.180, 0.180-0.125, 0.125-0.075, 0.075-0.063 ve 0.063-0.045 mm) saydam reçine ile hamur haline getirip sertleştirilmesi sonucu elde edilen

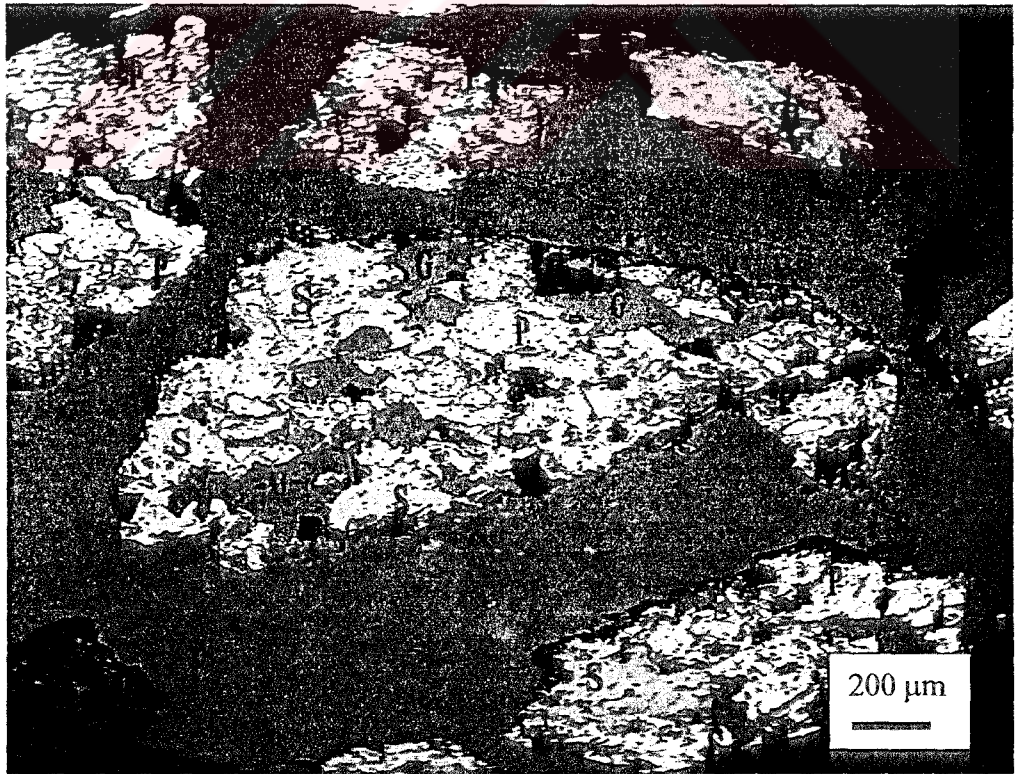
parlak kesitleri üzerinde mineralojik ve tane serbestleşme boyutunun tespitine dönük çalışma yapılarak her bir fraksiyona ait resimler çekilmiştir (Şekil 3.3–3.10).

Pirit, cevher numunesinin en yaygın minerali olup seçilen örneklerin hemen hemen hepsinde ve yapılan kesitlerde baskın mineral olduğu gözlenmektedir. Sfalerit ile birlikte kompakt bir yapı oluşturmaktadır. Çoğunlukla şekilli-yarı şekilli kristallerine hem sfalerit hem de kuvars içinde rastlanmaktadır. Kataklastik yapı özellikle büyük pirit kristallerinde görülmektedir. Sfalerit seçilen örneklerin hemen hemen hepsinde ve yapılan kesitlerde piritten sonra en yaygın mineral olduğu gözlenmektedir. Sfalerit siyahımsı ve koyu kahve renkli yarı şekilli-şekilsiz taneler halinde bulunup yer yer boşluklarda gelişmiş kristallerine rastlanmaktadır. Galen miktarca çok az olup yalnız mikroskobik incelemeler sırasında genellikle şekilsiz taneler halinde kısmen pirit içinde kısmen de sfalerit içinde değişen boyutlarda izlenmektedir. Cevhere eşlik eden gang minerallerinin çoğunluğu kuvars olmak üzere dolomitten oluşmaktadır. Kuvars camsı parlaklığa sahip olup yaygın bir şekilde pirit ve sfalerit mineralleri ile kompakt bir yapı arz ederken, dolomit donuk beyaz renkli masif bir görünümde olup boşluklarda gelişmiş kristalleri de gözlenmektedir.

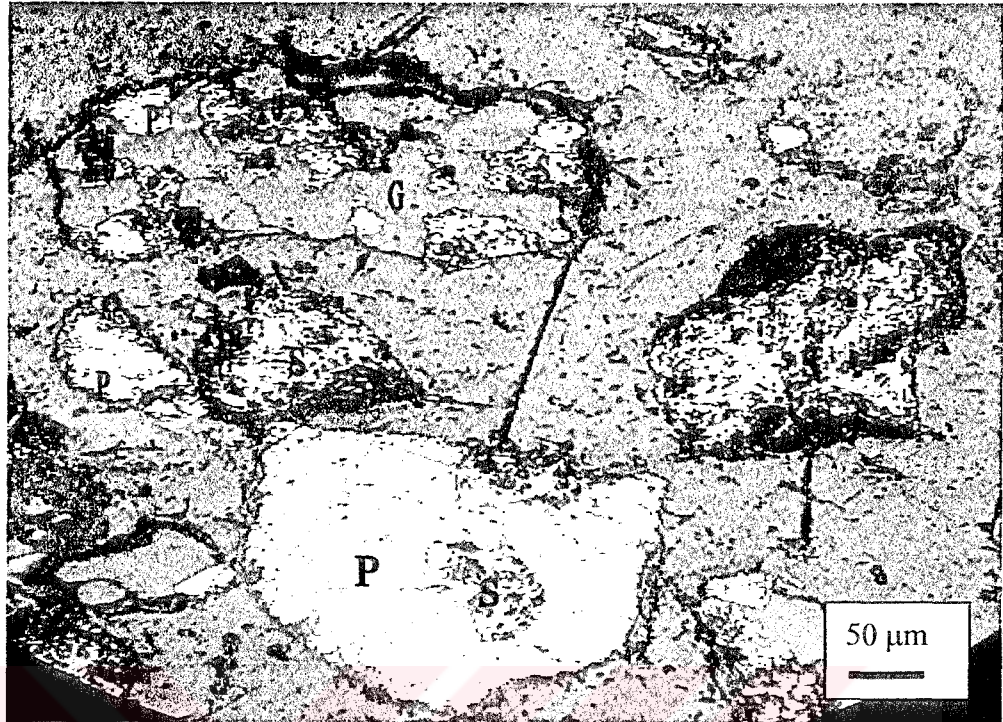
Elek fraksiyonlarının cevher mikroskobunda incelenmesi sonucu; +0.500 mm tane iriliğinde sfalerit-pirit-gang minerallerinin oluşturduğu bağlı taneler izlenirken, 0.500-0.300 mm tane iriliğinde ise iki mineralli ve üç mineralli bağlı taneler ile birlikte, mineraller arasında %20-30 oranında bir serbestleşmenin olduğu gözlenmektedir. 0.300-0.180 mm fraksiyonunda ikili bağlı taneler izlenirken mineraller arasında serbestleşmenin %40-50 seviyesine çıktığı ve 0.180-0.125 mm tane iriliğinde ise serbestleşme oranının %80'lere ulaştığı tespit edilmiştir. 0.125-0.075, 0.075-0.063 ve 0.063-0.045 mm fraksiyonlarında yer yer ikili bağlı taneler kendini gösterse de mineral serbestleşmesinin tamamen gerçekleştiği saptanmıştır. Bu durumda -0.180 mm tane iriliği serbestleşme tane boyutu olarak tespit edilmiştir.



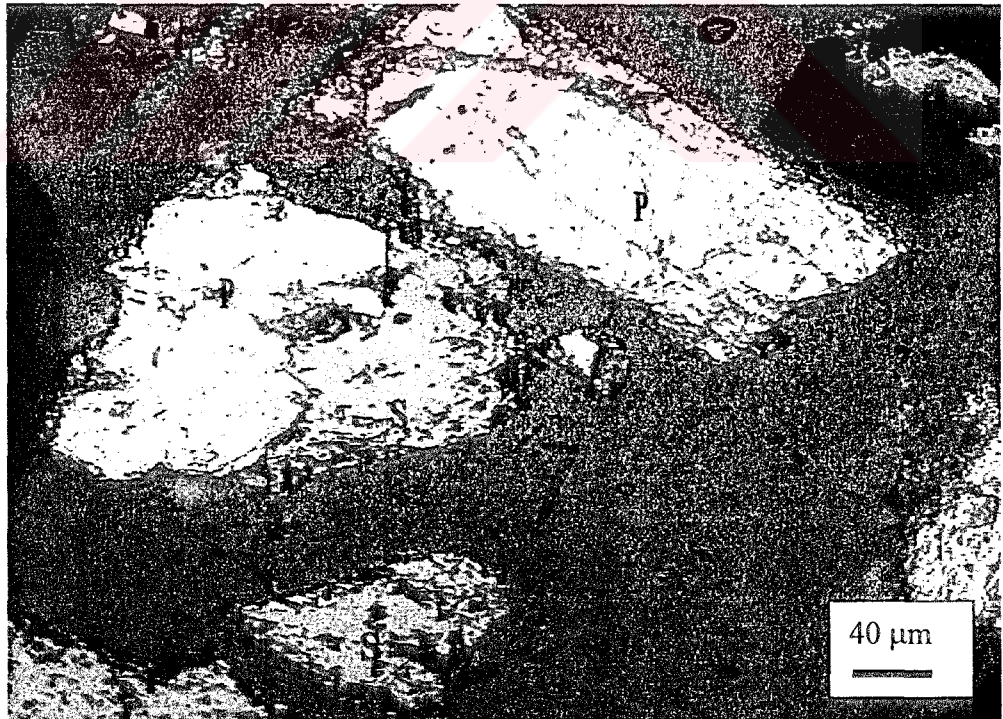
Şekil 3.3. Tüvenan cevherin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)



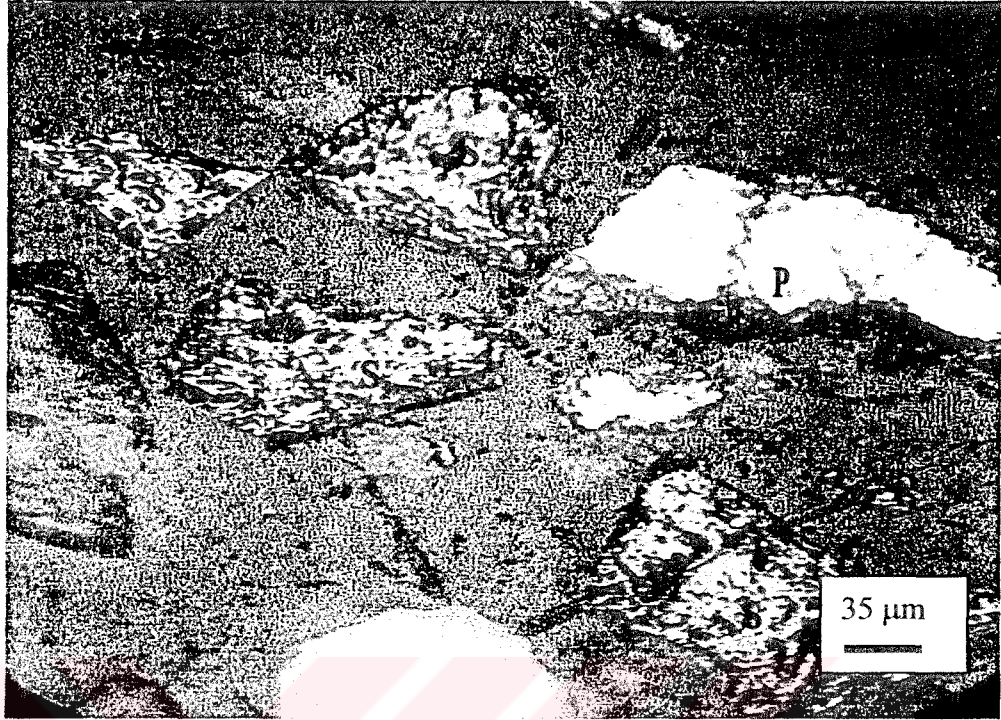
Şekil 3.4. +0.500 mm tane iriliğinin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)



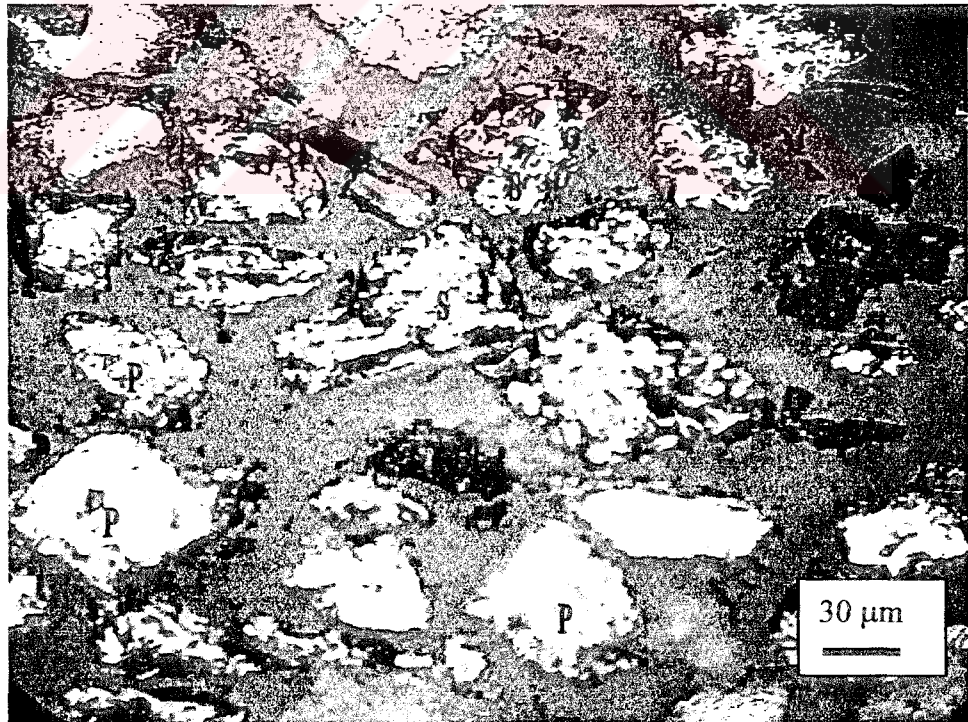
Şekil 3.5. 0.500-0.300 mm tane iriliğinin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)



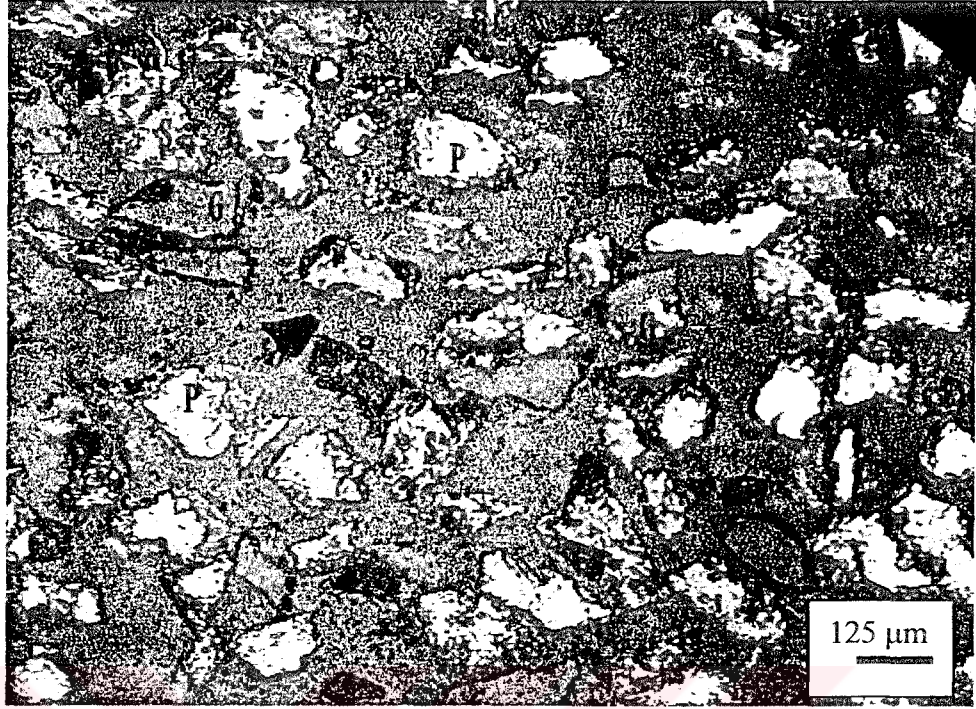
Şekil 3.6. 0.300-0.180 mm tane iriliğinin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)



Şekil 3.7. 0.180-0.125 mm tane iriliğinin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)



Şekil 3.8. 0.125-0.075 mm tane iriliğinin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)



Şekil 3.9. 0.075-0.063 mm tane iriliğinin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)



Şekil 3.10. 0,063-0,045 mm tane iriliğinin parlak kesiti (S: Sfalerit, P: Pirit, G: Gang)

3.2.3. Kırma-Eleme

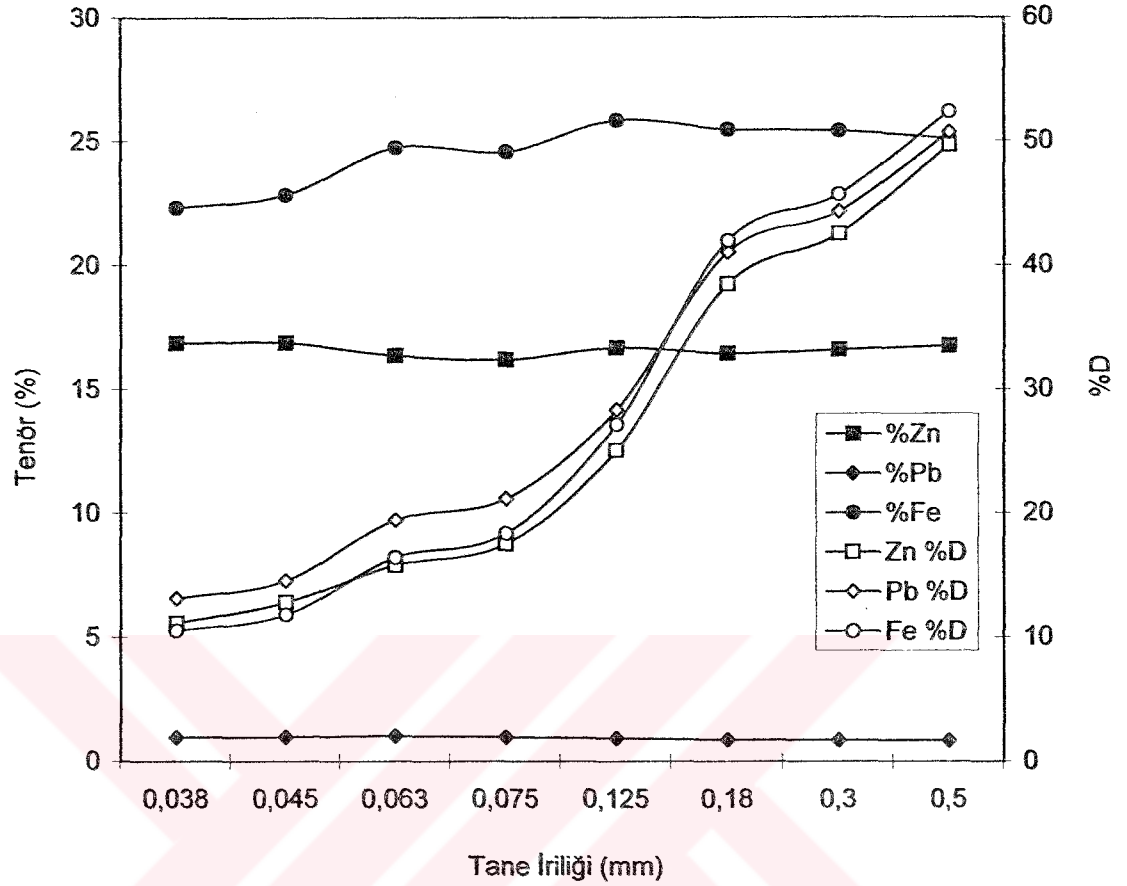
Temsili numuneden takriben 250 kg alınarak laboratuvar tipli çeneli kırıcı ile cevherin tamamı 2 mm'nin altına kırılmıştır. Ufalanmış numuneden elek analizi için temsili numune alınıp yaş elek analizi yapılmıştır. Elek analizinde 0.500, 0.300, 0.180, 0.125, 0.075, 0.063, 0.045 ve 0.038 mm'lik elek serisi kullanılmıştır. Çeneli kırıcı çıkışının kümülatif elek altı eğrisi Şekil 3.12'de verilmiştir.

Elek-metal analizi, çeneli kırıcı çıkışının (-2 mm) elek fraksiyonları kullanılarak yapılmış ve sonuçlar Şekil 3.11'de verilmiştir. Çinko tenörü ortalama %16 civarında olurken kurşun tenörünün %1'in altında kaldığı gözlenmektedir. Demir tenörünün ise 0.038 mm boyutundan 0.125 mm boyutuna kadar nispeten arttığı bundan sonra sabitlendiği ve tüm numune için ortalama %23 civarında olduğu tespit edilmiştir.

3.2.4. Öğütme-Eleme Deneyleri

Öğütme işlemlerinde öğütülecek malzemenin değirmen içinde kalma süresi öğütmeyi etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Malzemenin değirmen içinde öğütme süresini aşacak şekilde kalması enerji sarfiyatına neden olurken, bunun aksine öğütmenin gereğinden kısa tutulması öğütmenin tam olarak yapılmamasına neden olur.

Öğütme süresinin tespiti laboratuvarlarda çeşitli sürelerde öğütme deneylerinin yapılmasıyla elde edilir. Malzemenin öğünme durumu elek analizleri ile kontrol edilir. Bir değirmenin performansı; değirmen hızı, öğütücü ortam/cevher oranı, öğütme süresi, değirmen içi katı hacim oranı v.b. gibi faktörlere bağlıdır. Bu faktörler değirmenin çektiği enerji ve öğütülmüş ürünün tane irilik dağılımını da etkilemektedir. Buradan hareketle laboratuvarlarda optimum öğütme şartlarının belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalarda optimum; öğütme süresi, değirmen hızı, değirmen katı hacim oranı ve palp katı oranı tespit edilmiştir.



Şekil 3.11. Cevherin Kümülatif Elek Altı Tenör ve % Dağılımı

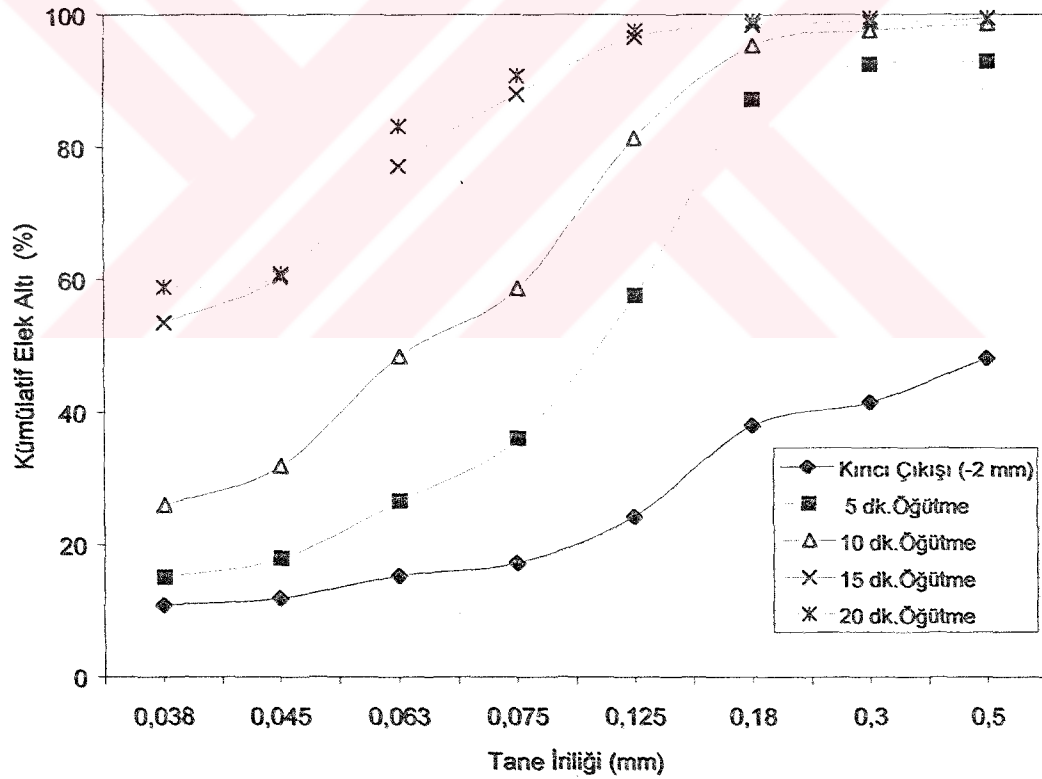
Bilyeli değirmende (20x20 cm) 5, 10, 15 ve 20 dakika olmak üzere aynı şartlarda dört farklı sürede yaş öğütme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Öğütme deneyleri 5 kg bilye kullanılarak (%20'si 4.5 cm, %30'su 2.5 cm ve %50'si 2 cm) yapılmıştır. Öğütme testleri neticesinde $d_{80}=0.180$ mm boyutuna; 5 dakikalık öğütme neticesinde; %87.18'i, 10 dakikalık öğütme neticesinde %95.35'i, 15 dakikalık öğütme neticesinde %98.42'si ve 20 dakikalık öğütme neticesinde ise %99.04'ü öğütülmüştür (Şekil 3.12).

Değirmen hızının etkisinin incelenmesinde kritik hızın %30, 60, 80 ve 90'ı, değirmen katı hacim oranının (öğütücü ortam:cevher) etkisinin incelenmesinde 2.5:0.250, 5:0.500, 10:1 ve 15:1.5 oranları, palp katı oranının etkisinin incelenmesinde %50, %70, %80 ve %90 oranları çalışılmıştır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde, parametrelere ait her bir öğütme ürünü, cevherin tane

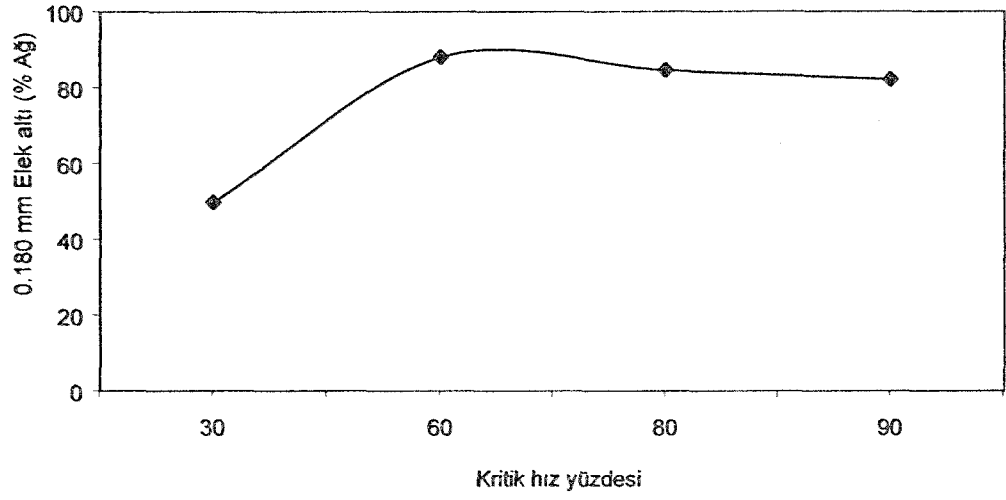
serbestleşme boyutunun -0.180 mm olması nedeni ile bu boyutlu elekten geçirilerek elek altı ve elek üstü değerleri (%Ağ) elde edilmiştir. Sonuçlar Şekil 3.13-3.15’de verilmiştir. Laboratuvarında optimum öğütme şartlarının belirlenmesine yönelik deneysel çalışmalar neticesinde aşağıda verilen öğütme şartları ortaya konmuştur:

Optimum Öğütme Şartları

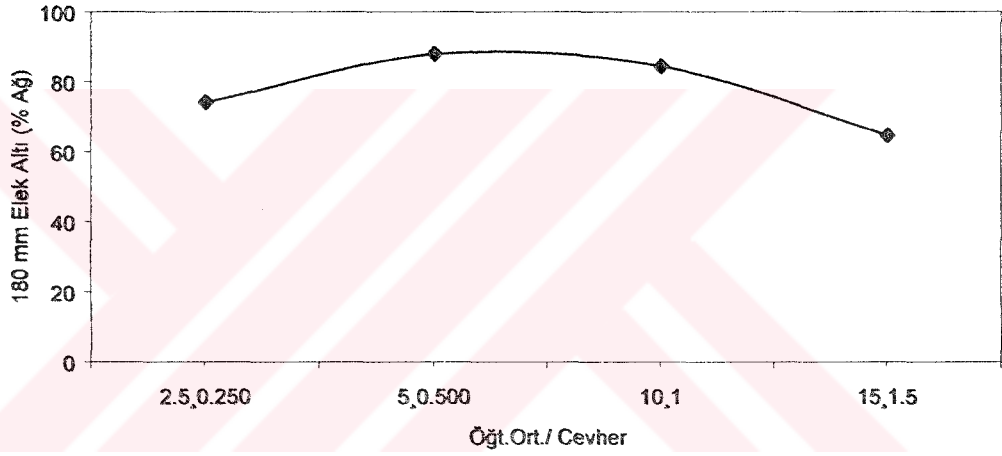
Değirmen tipi	: Bilyeli
Devir sayısı	: 60 d/d
Değirmen Katı Hacim Oranın:	5:0.5
Palp katı oranı	: %70
Öğütme tipi	: Yaş



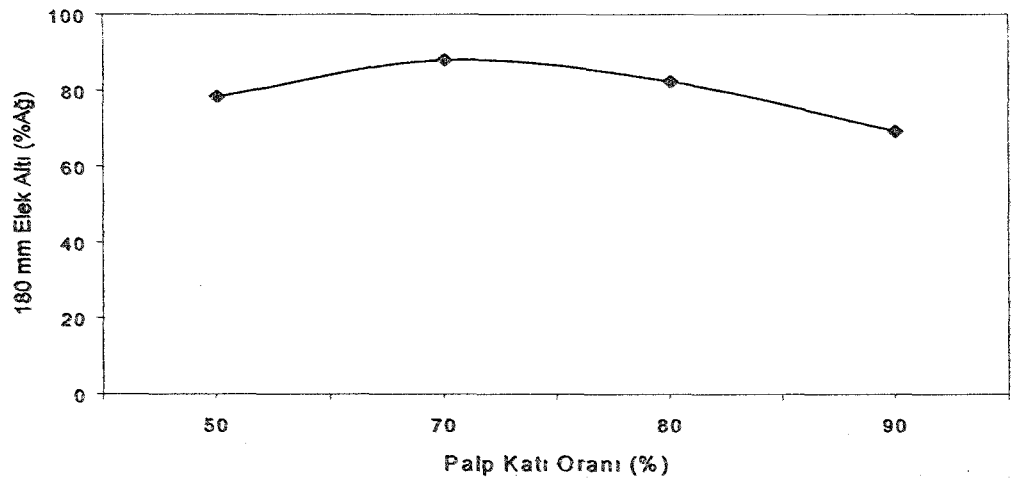
Şekil 3.12. Çeneli Kırıcı Çıkışı ve Öğütme Sürelerine Bağlı Olarak Elde Edilen Ürünlerin Kümülatif Elek Altı Eğrileri



Şekil 3.13. Öğütmede Değirmen Hızının Etkisi



Şekil 3.14. Değirmen Katı Hacim Oranının Etkisi



Şekil 3.15. Palp Katı Oranının Etkisi

3.3. Flotasyon Deneylerinde Kullanılan Reaktifler

Laboratuvarda gerçekleştirilen ön flotasyon deneylerinde pH ayarı kireçle yapılmış, gang bastırıcı olarak sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve canlandırıcı olarak ise bakır sülfat (CuSO_4) kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinde kullanılacak toplayıcı tipinin belirlenmesine dithiofosfat tipi (Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279) toplayıcı ile potasyum amil ksantat tipi (KAX) toplayıcılar laboratuvar ölçekli Denver tipi flotasyon makinesinde yapılan karşılaştırma deneyleri sonrası karar verilmiştir. Her iki toplayıcı reaktif tipi için Çizelge 3.2’de verilen flotasyon şartlarında 6’şar adet deney gerçekleştirilerek sonuçlar %Zn tenörü bazında Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Flotasyon Deney Şartları

Parametre	
Hız (d/dak.)	1400
Palp katı oranı (%)	25
d_{80} (mm)	0.180
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
CuSO_4 (g/t)	575
Aerofloat 7048+7279 (g/t) / KAX	220
Çamyağı (g/t) (Sadece KAX deneylerinde kullanılmıştır)	65
Flotasyon Süresi (sn)	50
Kondüsyon Süresi (dk.)	10

Çizelge 3.3. Toplayıcı Seçimi Flotasyonu Deney Sonuçları

Ksantat (KAX) % Zn	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+7279) % Zn
38.64	57.11
40.47	58.99
42.39	51.17
41.77	56.53
42.07	52.99
38.88	58.06

Her iki toplayıcının hangisinin daha etkin olduğuna t dağılımının iki ana kütle ortalamasına ilişkin hipotez testlerinden “Eşlenik Çift Örnekler Hali” hipotez testi kullanılarak karar verilmiştir. Söz konusu örnekleme hali aynı veya benzer denekler üzerinde birbirinden farklı iki muamelenin uygulanması sonucu elde edilen verilere eşlenik-çiftler denir. Bağımsız örneklerde, serideki her bir rakam diğerinden bağımsızdır. Bununla birlikte eşlenik örneklerde herhangi bir rakam ancak karşısındaki rakamla birlikte başka bir yere taşınabilir. Eşlenik-çiftlere uygulanan muamelelerin birbirinden farklı olup olmadığını eşlenik-çift örnek testi ile test edebiliriz. Eşlenik-çift örneklerde ikinci rakamlar birincisinden çıkarılarak bir fark serisi oluşturulur. Fark serisini D ile gösterilirse, bu serinin oluşturduğu ana kütle ortalaması μ_D ve standart sapması σ_D olur. Sınırlı sayıda eşlenik-çift üzerinden hesaplanan $\bar{D}$, μ_D ‘nin ve S_D , σ_D ‘nin nokta tahminidir. Fark serisinin ortalaması Eşitlik 3.1 ile hesaplanırken standart sapması Eşitlik 3.2 veya 3.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{D} = \sum D / n \quad (3.1)$$

$$S_D = [\sum (D - \bar{D})^2 / (n-1)]^{1/2} \quad (3.2)$$

$$S_D = [(\sum D^2 - (\sum D)^2 / n) / (n-1)]^{1/2} \quad (3.3)$$

Eşlenik-çift örnek testinde kurulabilecek muhtemel hipotez çiftleri aşağıdaki gibidir.

Çift Kuyruk Testi

$$H_0 : \mu_D = 0$$

$$H_1 : \mu_D \neq 0$$

Sol kuyruk Testi

$$H_0 : \mu_D \geq 0$$

$$H_1 : \mu_D < 0$$

Sağ Kuyruk Testi

$$H_0 : \mu_D \leq 0$$

$$H_1 : \mu_D > 0$$

Test istatistiği; $t_D = [(\bar{D} - \mu_D) / (S_D / n^{1/2})]$ formülü ile hesaplanır. Test sıfır hipotezinin doğruluğu faraziyesine göre yapıldığı için μ_D sıfır kabul edilir. Ancak örnek istatistiği D , μ_D 'nin sıfırdan farklı olabileceğini de ortaya koyabilir.

Çift kuyruk testi yapıldığında $v=n-1$ serbestlik derecesi ve $\alpha/2$ önem seviyesine göre t kritik değerleri hesaplanır. Test istatistiği bu iki t değerinin arasına düştüğünde H_0 hipotezi kabul, aksi halde reddedilir. Sol kuyruk testi yapıldığında, $v=n-1$ serbestlik derecesi ve α önem seviyesine göre t cetvelinden bulunacak değere eksi işaret verilir. Test istatistiği $-t$ kritik değerinden daha küçük olduğundan H_0 hipotezi reddedilir aksi halde kabul edilir. Sağ kuyruk testinde, $v=n-1$ serbestlik derecesi ve α önem seviyesine göre t cetvelinden bulunacak değer kritik değerdir. Test istatistiği kritik değerden daha büyük olduğunda H_0 hipotezi reddedilir aksi halde kabul edilir.

Ksantat tipi toplayıcılar ile dithiofosfat tipi toplayıcılar kullanılarak yapılan 6'şar adet flotasyon deneyi konsantrelerin tenör ortalamaları arasında bir farkın olup olmadığı %1 önem seviyesinde çift kuyruk testi ile araştırılmıştır.

$$H_0 : \mu_D = 0$$

$$H_1 : \mu_D \neq 0$$

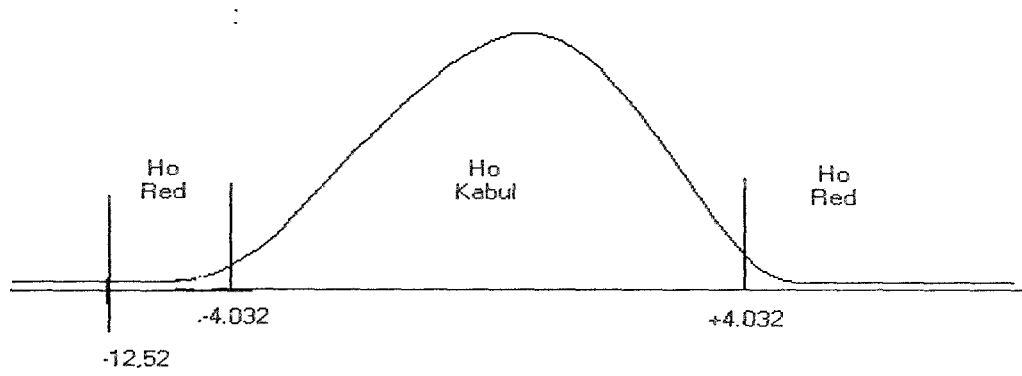
$V = n-1 = 6-1 = 5$ ve $\alpha/2 = 0.01/2 = 0.005$ için kritik t değeri ± 4.032 'dir.

$$D_{Zn} = -16.77$$

$$S_{Zn} = 3.28$$

$$t_{Zn} = -12.52$$

Flotasyon deney sonuçlarında ksantat (KAX) konsantrelere tenörleri ile dithiofosfat (Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279) konsantre tenörleri arasında büyük farklılıklarının olduğunu, eksi H_0 Ret bölgesinde yer alan değerlerin büyüklüğünden anlaşılmaktadır (Şekil 3.16). Ayrıca değerlerin eksi H_0 Ret bölgesinde yer alması dithiofosfat tipi toplayıcıların daha etkili olduklarını göstermektedir.



Şekil 3.16. Kritik t Değeri ve Test İstatistiğine Göre Karar Modeli

3.4. Flotasyon Kolonu

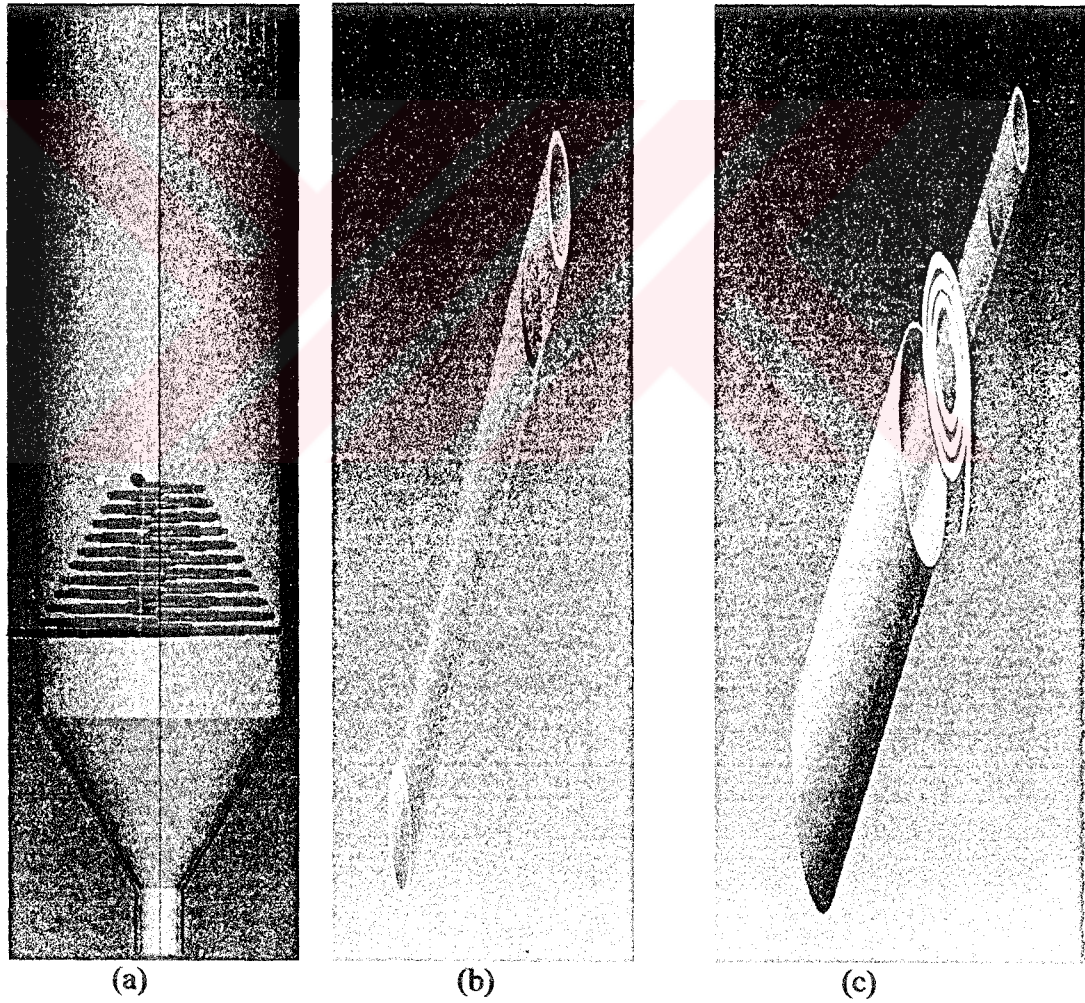
Pilot çaptaki flotasyon deneyleri, Şekil 3.18’de gösterildiği gibi dizayn edilerek imal edilen ve Ç.Ü. Müh. Mim. Fakültesi atölyesine kurulan pilot çapta turbo flotasyon kolonunda gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.19). Flotasyon kolonun mekanik özellikleri Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Kolonun downcomer kısmında 4.5 cm iç çaplı 100 cm boyunda paslanmaz krom çelik boru ve ana kolonda 13.5 cm iç çaplı 265 cm boyunda yine paslanmaz krom çelik boru kullanılmıştır. Kondisyon tankının, besleme tankının ve yıkama suyu tankının imalında ise 2 mm kalınlığa sahip galvanizli sac kullanılmıştır. Kondisyon tankında karıştırma işlemi 220 V’luk, 1.1 kw’lık 1400 devir hıza sahip bir elektrik motoru ile temin edilmiştir. Kolona palpın verilmesi 0.75 kw’lık, 1 inç giriş ve çıkış açıklığına sahip 220 V’luk bir motor ile temin edilirken, aynı özelliklere sahip ikinci bir motor da artığın tekrar besleme tankına verilmesinde kullanılmıştır. Yıkama suyu kolona 0.37 kw’lık, 1^{1/4} inçlik giriş ve çıkış açıklığına sahip 220 V’luk bir su motoru ile verilmiştir.

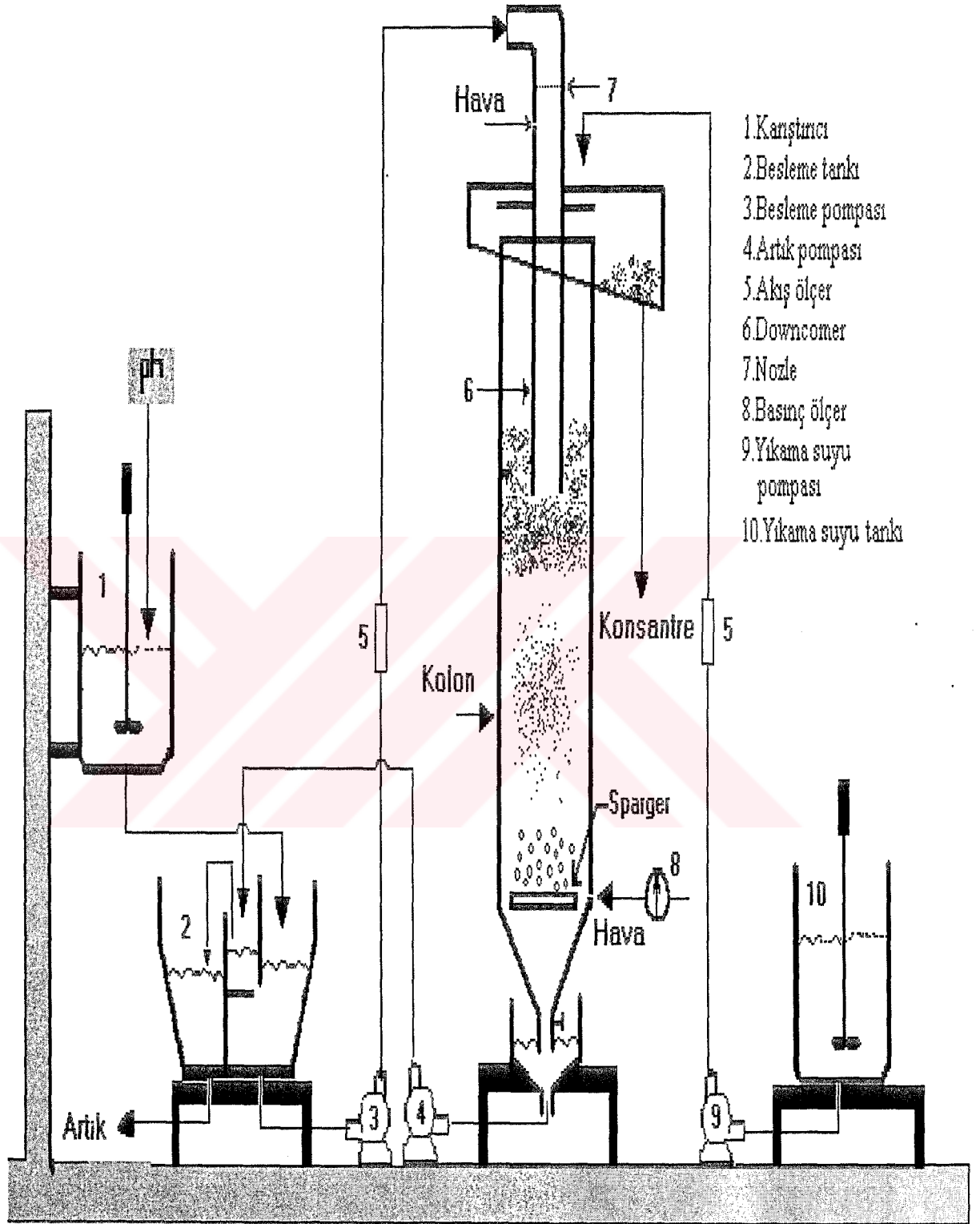
Kolonun sparger kısmı Şekil 3.17 (a)’da şematize edildiği şekilde üzerine çok küçük çaplı deliklerin açıldığı 3 mm çaplı bakır borudan imal edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.17 (b)’de downcomer içine yerleştirilen nozzle’nin şematik görünümü verilmiştir. Kolonun yıkama suyu sisteminde ise duş tipi yıkama şekli baz alınarak üzerinde delikler açılmış 8 mm çaplı bakır boru Şekil 3.17 (c)’deki gibi dizayn edilerek ana kolonun köpük taşma noktasından 10 cm yukarıya yerleştirilmiştir.

Çizelge 3.4. Flotasyon Kolonunun Mekanik Özellikleri

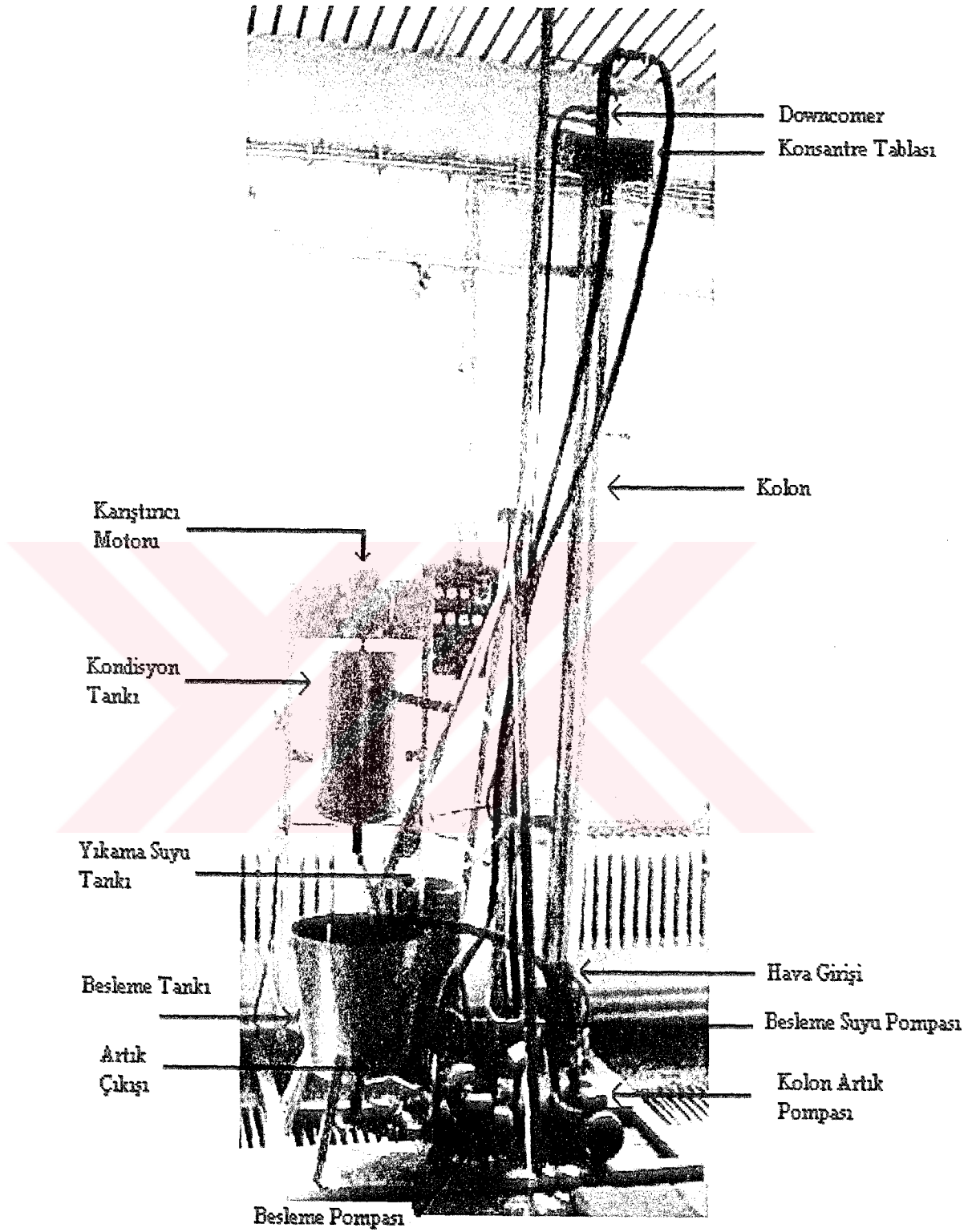
Özellik	
Downcomer çapı (cm)	4.5
Downcomer boyu (cm)	100
Kolon çapı (cm)	13.5
Kolon boyu (cm)	280
Toplama bölgesi yüksekliği (cm)	180
Toplam kolon yüksekliği (cm)	320
Sparger tipi	İnternal
Yıkama suyu tipi	Duş
Kondisyon tankı (L)	65
Besleme tankı (L)	50
Yıkama suyu tankı (L)	45



Şekil 3.17. Kolonda Kullanılan Sparger (a), Downcomerda Kullanılan Nozzle (b) ve Yıkama Suyu Sistemi'nin (v) Şematik Görünümü



Şekil 3.18. Pilot Çaplı Flotasyon Kolonu



Şekil 3.19. Flotasyon Kolonu

3.5. Kinetik Modelleme

Yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen veriler, flotasyon modellerinden en geniş olarak kullanılan (Xu, 1997) klasik birinci dereceden kinetik flotasyon model, özellikle sülfürlü cevherler için daha uygun olduğu belirtilen (Saklar ve ark, 1998) birinci dereceden dikdörtgen dağılım modeli ile tam karma reaktör modeli, geliştirilmiş gaz/katı adsorpsiyon modeli, ikinci dereceden kinetik model ve ikinci dereceden kinetik dikdörtgen dağılım modeli olmak üzere altı farklı kinetik flotasyon modeli kullanılarak değerlendirilmiştir (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Flotasyon Testlerinde Kullanılan Kinetik Modeller

No	Model	Formül
1	Klasik birinci dereceden flotasyon modeli	$R = R_{\infty} [1 - \exp(-k t)]$
2	Birinci dereceden dikdörtgen dağılımlı flotasyon modeli	$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{k t} [1 - \exp(-k t)] \right\}$
3	Tam karma reaktör modeli	$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{1 + t/k} \right\}$
4	Geliştirilmiş gaz/katı adsorpsiyon modeli	$R = R_{\infty} \left\{ \frac{k t}{1 + k t} \right\}$
5	Klasik ikinci dereceden flotasyon modeli	$R = \frac{R_{\infty}^2 k t}{1 + R_{\infty} k t}$
6	İkinci dereceden dikdörtgen dağılımlı flotasyon modeli	$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{k t} [\ln(1 + k t)] \right\}$

$R = t$ zamanındaki verim

R_{∞} = Sonsuz verim

k = Flotasyon hız sabiti

Yapılan deneysel çalışmalarda flotasyon deneyleri kinetik amaçlı süreye bağlı olarak konsantre alınmıştır. Konsantreler 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık sürelerde alınmıştır. Her deney neticesinde elde edilen konsantreler kurutulup tartılmış ve numunesi alınarak Zn ve Fe tenörlerine bakılması için kimyasal analiz laboratuvarına verilmiştir.

Kimyasal analiz sonuçları kullanılarak her deneyin Zn ve Fe için kümülatif verim-zaman eğrileri çizilmiştir. Söz konusu eğrilere Çizelge 3.5’de verilen flotasyon modellerine ait uyarlamalar (fitting) yapılarak modellere ait parametreler (k ve R_∞) ile korelasyon katsayıları (R^2) tespit edilmiştir. Bu çalışmalarda Microsoft Excell ve SPSS for Windows programlarından yararlanılmıştır. Her bir modele ait parametreler kullanılarak Zn ve Fe için modife hız sabitleri ($K_m=R_\infty*k$) hesaplanmış buradan da selektif indekslerine geçilmiştir. Deneylere ait konsantrelerin kümülatif kurşun tenör değerlerinin %2-2.5 Pb arasında küçük bir değere sahip olmasından dolayı kurşun (Pb) deneysel çalışmalarda kinetik modellemede ihmal edilmiştir. Model çalışmalarında; model uyarlamaları (fitting) ile model belirlemek için yapılan testler Zn ve Fe içinde yapılmış fakat model belirlemede Zn verileri baz alınmıştır.

Flotasyon kolon deneylerinde laboratuvar koşullarında yapılan ön flotasyon deneylerinde test edilen ve toplayıcı olarak seçilen dithiofosfat (Aerofloat 7048+ Aerofloat 7279) ve potasyom amil ksantat (KAX) karşılaştırmalı olarak tekrar test edilmiş ve sonuçları kinetik açıdan değerlendirilmiştir. Burada da dithiofosfat (Aerofloat 7048+7279) tipi toplayıcı en iyi sonucu vermiştir. Toplayıcı cinsi tespit edildikten sonra kolon flotasyon parametrelerinden; tane iriliği, hava hızı, toplayıcı miktarı, palp katı oranı ve yıkama suyu hızının tespitine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Kaba flotasyon optimum çalışma parametreleri tespit edildikten sonra kaba konsantre temizleme flotasyonuna tabi tutulmuş ve nihai (sonuç) konsantre elde edilmiştir. Temizleme flotasyonu da kinetik olarak irdelenmiştir.

3.5.1. Kinetik Modeli Değerlendirme

Model belirleme çalışmasında öncelikle model belirlemede faydalı olan (Yuan ve ark, 1996) korelasyon katsayılarından (R^2) faydalanılmıştır. Her bir parametrenin çalışılmasında Zn ve Fe için ayrı ayrı elde edilen altı modele ait dörder

R^2 değerlerinin ortalamaları arasında bir farklılık olup olmadığını anlamak için **Varyans analizi** yapılmıştır. Modellere ait korelasyon katsayıları ortalamaları arasında bir farkın olduğu tespit edilmesi durumunda, hangi model ortalamasının/ortalamalarının söz konusu farklılığı meydana getirdiğini anlamak için ise **Duncan testi** kullanılmıştır.

Model belirlemede ikinci olarak parametre çalışmalarından Zn ve Fe için ayrı ayrı elde edilen toplam deneysel veriler ile modellerden elde edilen veriler arasındaki model standart hataları altı model için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Bu iki çalışma sonrası; korelasyon katsayılarının ortalamaları farklılık gösteren modellerden R^2 değeri en yüksek olan model ile model standart hatası en düşük olan model söz konusu parametre için en uygun model olarak seçilmiştir (O. ARSLAN*).

Söz konusu çalışmalar Zn ve Fe için yapılmış, model belirlemede Zn baz alınırken, Fe'nin davranışı hakkında da bilgi edinilmiştir.

i) Varyans Analizi

k adet ana kütlelerden n hacimli bağımsız tesadüfi örnekler seçildiğinde, bu örneklerin ortalamalarından hareketle ana kütle ortalamalarının birbirinden farklı olup olmadığını test edebiliriz. Öncelikle k adet ana kütle için belirli kriterlere göre farklı muamele gruplarına ayırmak gerekir. Bu sınıflama şeklinde, veriler farklı muamele gruplarına ayrılırken muamele grubu içerisindeki veriler birbirinden bağımsız olur.

Test Hipotezleri

Kurulabilecek sıfır hipotezi ve alternatif hipotez aşağıdaki gibi olur.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$$

H_1 : En az iki ana kütle ortalaması birbirine eşit değil

* Sözlü görüşme, 2004. Ç.Ü Fen Edebiyat Fakültesi. İstatistik Bölümü

Test İstatistiği

Varyans analizinde temel maksat, ikiden fazla örnek için X_i 'lerin genel ortalama X_{ort} 'dan sapmalarının kareler toplamını, bu sapmalara sebep olan unsurlar itibarıyla kısımlara ayırmak ve analiz etmektir. Bu analiz sonucunda, örnekler arasında uygunluk olup olmadığı, yani söz konusu örneklerin aynı ana kütleye ait birer şans örneği olup olmadıkları da ortaya konulmuş olur.

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - X_{ort})^2 \quad (3.4)$$

değerinin yani örneklerdeki bütün X_{ij} değerlerinin genel ortalamadan gösterdikleri sapmaların kareler toplamının iki kaynağı vardır.

$$\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - X_{ort})^2 = n \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_i - X_{ort})^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - X_{iort})^2 \quad (3.5)$$

Eşitliğin sol tarafındaki ifadeye genel kareler toplamı (GKT) denir. Eşitliğin sağ kısmındaki ifadelerin birincisi örnek ortalamalarının genel ortalamadan gösterdiği sapmalar diğeri ise her bir örnekteki değerlerin kendi örnek ortalamalarından gösterdiği sapmalardır. Birincisine gruplar arası kareler toplamı (GAKT) ikincisine grup içi kareler toplamı (GİKT) denir. Eşit örnekler durumunda;

$$GKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij}^2 - \frac{T^2}{n*(k)} \quad (3.6)$$

$$GAKT = [(\sum_{i=1}^k T_i^2) / n - T^2 / n*(k)] \quad (3.7)$$

$$GiKT = GKT - GAKT \quad (3.8)$$

formülü ile hesaplanırken eşit olmayan örnekler durumunda. toplam müşahede sayısını N ile gösterirsek.

$$GKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij}^2 - \frac{T^2}{N} \quad (3.9)$$

$$GAKT = \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} - \frac{T^2}{N} \quad (3.10)$$

$$GİKT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{T_i^2}{n_i} \quad (3.11)$$

Bu eşitliklerdeki üç varyasyon kaynağının her biri uygun bir serbestlik derecesine bölünerek birer varyans elde edilir. k örnek sayısı. n ise örnek büyüklüğü olmak üzere genel kareler toplamı için serbestlik derecesi $k*(n)-1$ formülü ile elde edilir. Eşit olmayan örnekler durumunda genel kareler toplamının serbestlik derecesi $N-1$ olur. Gruplar arası kareler toplamının serbestlik derecesi örnek sayısının bir eksiği; yani $v_1 = k-1$ olarak ifade edilir. Grup içi kareler toplamının serbestlik derecesi, $v_2 = [k(n)-1] - (k-1) = k*(n-1)$ olur. Yani her örneğin serbestlik derecesi örnek sayısı ile çarpılır. Eşit olmayan örnekler durumunda grup içi kareler toplamının serbestlik derecesi, $v_2 = N-k$ olur. Gruplar arası kareler toplamı ilgili serbestlik derecesine bölündüğünde gruplar arası kareleri ortalaması, grup içi kareler toplamı da kendi serbestlik derecesine bölünerek grup içi kareler ortalaması veya hata kareler ortalaması elde edilir. Gruplar arası kareler ortalaması, s_f^2 gruplar içi kareler ortalaması s_2^2 ye bölünerek varyans analizinin test istatistiği olan F değeri elde edilir.

Eşit örnek hacimleri durumunda varyans analizi Çizelge 3.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 3.6. Varyans Analizi Çizelgesi

Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği
Gruplar Arası	GAKT	$v_1 = k-1$	$s_1^2 = \text{GAKT} / k-1$	$F = s_1^2 / s_2^2$
Gruplar İçi	GİKT	$v_2 = k*(n-1)$	$s_2^2 = \text{GİKT} / k*(n-1)$	
Toplam	GKT	$n*(k-1)$		

Çizelgede hesaplanan F değeri, F tablosundan elde edilen kritik değerden küçükse H_0 , büyük ise H_1 hipotezi geçerlidir.

ii) Duncan Testi

Varyans analizi örnek ortalamaları arasında herhangi bir farklılık bulunup bulunmadığını ortaya koymakla beraber bu farklılığa hangi örnek ortalamasının (veya ortalamalarının) sebep olduğu hususunda bir fikir vermez (Oktay ve Başar, 2000). Farklılık gösteren grupların tespiti için ayrı metotlar geliştirilmiştir. Burada bu metotlardan Duncan testinden yararlanılmıştır.

Duncan testi örnek ortalamaları arasındaki farkı tespit etmeyi sağlayan çoklu fark testidir. Bu testte, kendisine en yakın olandan başlayarak k adet örnek ortalaması birbiri ile eşleştirildiğinde bulunacak fark değeri asgari önem sayılacak fark ($A\ddot{O}F$) değerleri ile mukayese edilir. Bir örnek ortalamasının kendisine en yakın ortalamadan farkı incelendiğinde, $m=2$ olur. Bir örnek ortalamasının kendisine en yakın ikinci ortalamadan farkı incelendiğinde, $m=3$ olur. Bu şekilde k adet ortalamadan birbirine en uzak olanlarının farkı incelendiğinde $m=k$ olur.

Duncan testindeki asgari önemli standart farklar tablosunda verilen α önem seviyesi m yakınlık katsayısı $N-k$ serbestlik derecesine göre standart r_m değerlerini verir. Tablodan bulunan r_m değerlerine göre $A\ddot{O}F$ değeri Eşitlik 3.12 ile hesaplanır.

$$R_m = r_m * (S_p^2 / n)^{1/2} \quad (3.12)$$

$$S_p^2 = \text{Ortak varyans}$$

iii) Model Tahminin Standart Hatası

Bileşik bir seriyi en küçük kareler metoduna göre doğrusal ve eğrisel bir fonksiyon ile ifade ettikten sonra teorik ve fiili değerler arasında fark bulunması tabiidir (Köksal, 1998). Serpilme diyagramı ile regrasyon doğruları veya eğrileri arasındaki uyumun derecesini ve dolayısı ile doğru veya eğrilerin tahmin yapmadaki yeterliliklerini gözle bir noktaya kadar anlayabilmek mümkün olsa da bunun için matematiksel bir ölçüye ihtiyaç vardır. Fiili ve teorik Y değerleri arasındaki farklar regrasyon analizindeki hataları meydana getirmektedir. Örneğin X_1 için bu hata $e = Y - Y_1$ eşittir (Y_1 =teorik değer olmak üzere). Sapmaların karelerinin aritmetik ortalamasının bir serinin en önemli değişkenlik ölçüsü olan varyansı oluşturmaktadır. Benzer şekilde regrasyon doğrusundan sapmaların yani hataların karelerinin aritmetik ortalamasını Eşitlik 3.13 ile ifade edilebilir.

$$\sum_{i=1}^n e^2 / n \quad (3.13)$$

Bu ifadenin karekökü olan farkların kareli ortalaması ise tahminin standart hatasına eşittir (Köksal, 1998).

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Sfalerit Flotasyonunda Toplayıcı Cinsinin Etkisi

Tane serbestleşme boyutunun, mikroskobik çalışmalar neticesinde -0.180 mm olarak belirlenmesinden sonra cevher optimum öğütme şartlarında 5 dakika öğütme süresi kullanılarak, dithiofosfat tipi (Aerofloat 7049+Aerofloat 7279, %50; %50) ve Potasyum Amil Ksantat tipi (KAX) toplayıcıların flotasyon kolonu deneyleri için üçer kilo numune hazırlanmıştır. Flotasyon deneyleri Çizelge 4.1’de verilen flotasyon şartlarında gerçekleştirilmiştir. Konsantre alma süreleri olarak 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık yedi farklı süre kullanılmıştır.

Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)’tipi toplayıcının kullanıldığı deneyde, 20 dakikalık flotasyon neticesinde; %89.85 verimle %42.40 Zn tenörlü konsantre alınırken, Potasyum Amil Ksantatın (KAX) kullanıldığı deneyde ise 20 dakikalık flotasyon neticesinde; %88.44 verimle %31.45 Zn tenörlü konsantrede edilmiştir (Ek 2).

Çizelge 4.1. Toplayıcı Karşılaştırma Flotasyon Deney Şartları

Parametre	Değişken
Köpük derinliği (cm)	Değişken
Yıkama suyu hızı (cm/s)	Uygulanmadı
Bias (cm/sn)	0
Hava hızı (cm/sn)	1.30
d_{80} (mm)	0.180
Palp katı oranı (%)	7.5
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
CuSO_4 (g/t)	575
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 veya KAX (g/t)	600
Çamyacı (KAX flotasyonunda) (g/t)	90
Kondisyon Süresi (dk.)	15

Toplayıcı tipinin sfalerit flotasyonuna olan etkisi kinetik parametrelerin değişimi göz önüne alınarak incelenmiştir. Sfalerit cevheri pilot çapta yapılan flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen verim-zaman verilerine Çizelge 3.5’de verilen 6 farklı kinetik model uyarlanmıştır (Şekil 4.1-4.2). Her bir modele ait kinetik parametreler (k , R_{∞}), modife flotasyon hız sabiti (K_m) ve korelasyon katsayısı (R^2), Çizelge 4.2-4.7’de verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) tipi toplayıcının Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.2815, 0.7410, 2.0372, 0.4920, 0.0055 ve 1.3230 değerlerini verir iken, sonsuz verim (R_{∞}) değerleri ise Model 1 için 0.8952, Model 2 için 0.8379, Model 3, 4, 5 için 0.8156 ve Model 6 için 0.7860 değerlerini almıştır. Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_{∞}) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_{\infty}$) modife flotasyon hız sabiti için ise söz konusu toplayıcı bazında modeller için sırasıyla 0.2519, 0.6209, 1.6611, 0.4013, 0.0045 ve 1.0298 değerlerini almıştır.

Zn ve Fe’nin modife fotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerleri ise Çizelge 4.8’de verilmiştir. Burada dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) toplayıcı tipi; Model 1, 2, 3, 4,5 ve 6 için sırasıyla 7.99, 8.87, 1.83, 9.60, 2.64 ve 10.46 değerlerini alarak söz konusu 6 model için en iyi sonucu vermiştir.

Çizelge 4.2. Model 1’den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)		Potasyum Amil Ksantat (KAX)	
	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8952	0.2259	0.8735	0.4242
k	0.2815	0.1395	0.2200	0.1390
K_m	0.2519	0.0315	0.1922	0.0589
R^2	0.9926	0.9799	0.9908	0.9563

Çizelge 4.3. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)		Potasyum Amil Ksantat (KAX)	
	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8379	0.2055	0.8060	0.3858
k	0.7410	0.3420	0.5645	0.3400
K_m	0.6209	0.0700	0.4550	0.1311
R^2	0.9908	0.9616	0.9880	0.9628

Çizelge 4.4. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)		Potasyum Amil Ksantat (KAX)	
	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8154	0.1953	0.7784	0.3655
k	2.0372	4.6450	2.7240	4.7500
K_m	1.6611	0.9072	2.1204	1.7361
R^2	0.9866	0.9518	0.9843	0.9575

Çizelge 4.5. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)		Potasyum Amil Ksantat (KAX)	
	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8156	0.1951	0.7784	0.3653
k	0.4920	0.2145	0.3673	0.2100
K_m	0.4013	0.0418	0.2860	0.0767
R^2	0.9866	0.9518	0.9843	0.9575

Çizelge 4.6. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

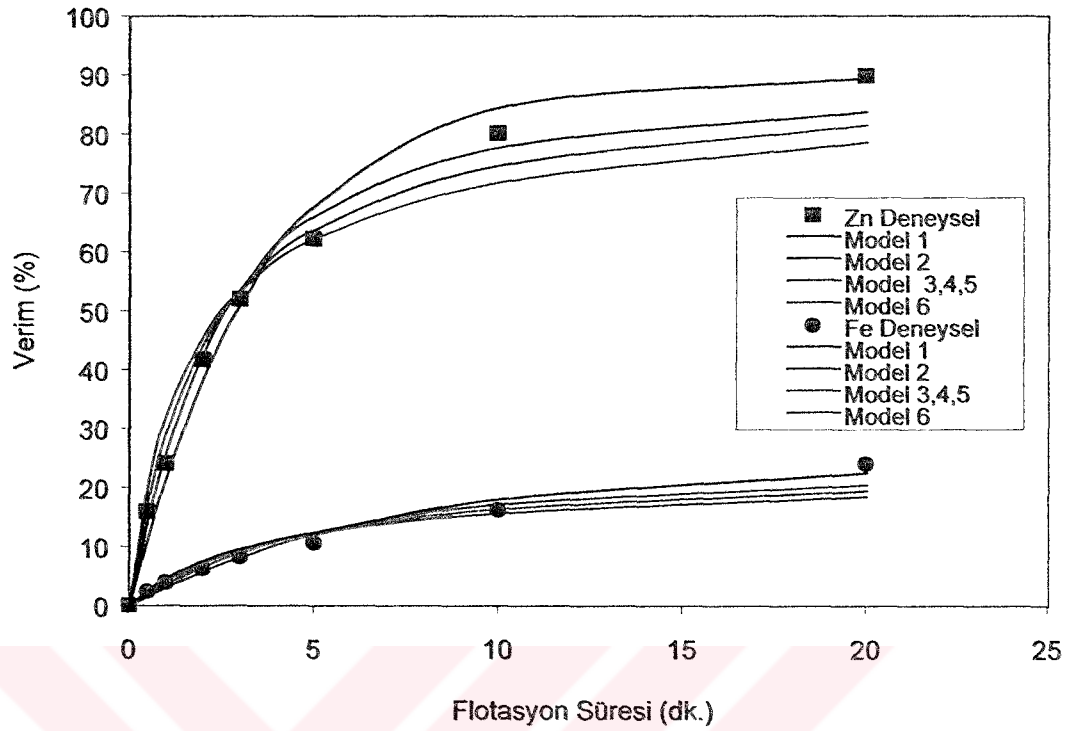
	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)		Potasyum Amil Ksantat (KAX)	
	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8156	0.1952	0.7784	0.3665
k	0.0055	0.0089	0.0042	0.0047
K_m	0.0045	0.0017	0.0032	0.0017
R^2	0.9866	0.9518	0.9843	0.9575

Çizelge 4.7. Model 6'dan Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

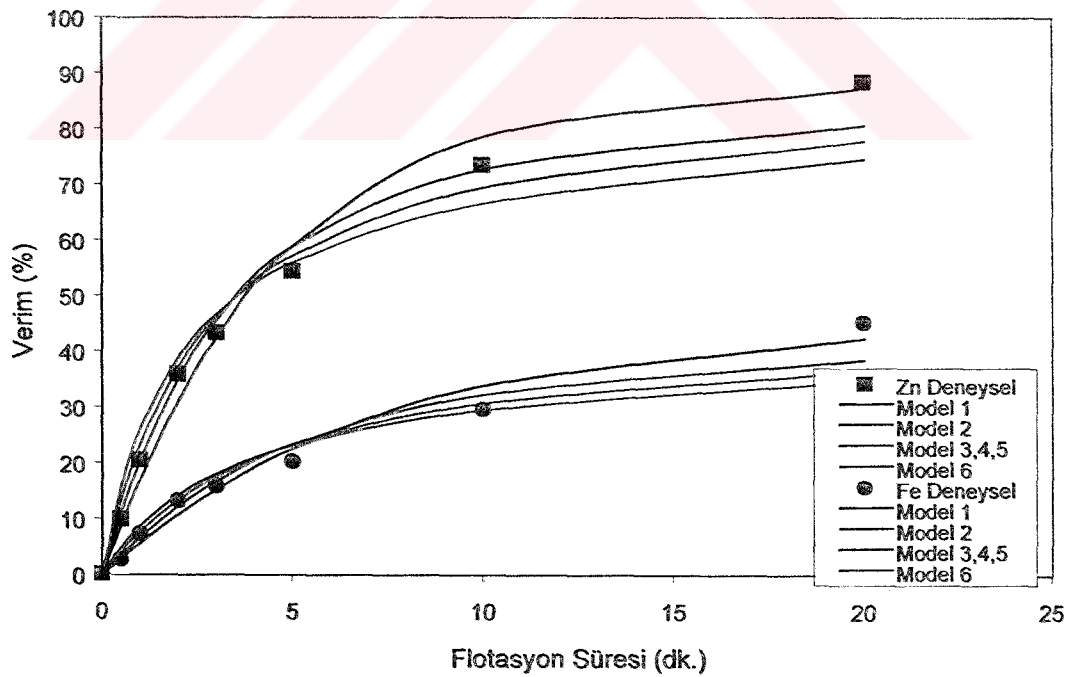
	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)		Potasyum Amil Ksantat (KAX)	
	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.7860	0.1854	0.7460	0.3482
k	1.3230	0.5360	0.9600	0.5340
K_m	1.0398	0.0994	0.7162	0.1859
R^2	0.9738	0.9364	0.9722	0.9434

Çizelge 4.8. Toplayıcı Tiplerine Ait Selektif İndeksleri

Model	Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279)	Potasyum Amil Ksantat (KAX)
1	7.99	3.26
2	8.87	3.47
3	1.83	1.23
4	9.60	3.73
5	2.64	1.88
6	10.48	3.86



Şekil 4.1. Dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) Tipi Toplayıcı Kullanılarak Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.2. Potasyum Amil Ksantat (KAX) Tipi Toplayıcı Kullanılarak Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları

4.2. Tane İriliğinin Tespiti

Optimum tane iriliğinin tespiti amacına yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada, dört farklı tane iriliği kullanılmıştır ($d_{80}=0.180, 0.125, 0.075$ ve 0.063 mm). Bu tane irilikleri, belirlenen öğütme şartlarında cevher sırasıyla; 5, 10, 15 ve 20 dakikalık öğütmeye tabi tutularak elde edilmiştir. Her bir boyuta için üçer kilo numune hazırlanarak Çizelge 4.9'da verilen şartlarda flotasyon kolonunda deneylere tabi tutulmuştur. Konsantre alma süreleri olarak 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık yedi farklı süre kullanılmıştır.

20 dakikalık köpük alma süresi neticesinde; $d_{80}=0.180$ mm tane iriliğinde %89.85 verimle %42.40 Zn tenörlü konsantre, %14.57 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %2.72 Zn olmuştur. $d_{80}=0.125$ mm tane iriliğinde, %95.39 verimle %38.03 Zn tenörlü konsantre %13.96 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.35 Zn olmuştur. $d_{80}=0.075$ mm tane iriliğinin flotasyonunda, %93.44 verimle %42.83 Zn tenörlü konsantre %13.98 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.73 Zn olmuştur. $d_{80}=0.063$ mm tane iriliğinin flotasyonunda ise; %89.11 verimle %45.61 Zn tenörlü konsantre, %12.57 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %2.41 Zn olmuştur (Ek 2).

Sfalerit cevheri pilot çapta yapılan flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen verim-zaman verilerine Çizelge 3.5'de verilen 6 farklı kinetik modele uyarlanmış (Şekil 4.3-4.6) ve her bir model için Zn ve Fe için elde edilen kinetik parametreleri (k, R_{∞}), modife flotasyon hız sabitleri (K_m) ve korelasyon katsayıları (R^2) Çizelge 4.10-4.15'de verilmiştir. Çizelgeler incelendiği zaman çalışılan tane irilikleri içinde $d_{80}=0.125$ mm tane iriliğinin Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.4087, 1.1235, 1.2950, 0.7725, 0.0081 ve 2.1760 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_{∞}) değerleri ise Model 1 için 0.9536, Model 2 için 0.9114, Model 3, 4, 5 için 0.8959 ve Model 6 için 0.8707 değerlerini almıştır. k değerleri açısından 0.125 mm tane iriliği için Model 3 hariç en iyi değerleri alırken, R_{∞} değerleri açısından ise bütün modeller için en iyi sonucu vermiştir.

Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_{∞}) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_{\infty}$) modifeye flotasyon hız sabiti için ise 0.125 mm tane iriliğinde modeller için sırasıyla; 0.3897, 1.0240, 1.1602, 0.6919 0.0073 ve 1.8946 değerleri ile Model 3 hariç diğer beş modelde yine en iyi sonuçlar bu tane boyutunda alınmıştır.

Zn ve Fe'nin modife fotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerleri ise Çizelge 4.16'da verilmiştir. Burada çalışılan tane irilikleri içinde 0.125 mm tane iriliği Model 1, 2 ,4, 5 ve 6 için sırasıyla 12.74, 14.18, 12.80, 3.84, ve 14.67 değerlerini alarak söz konusu beş model için en iyi sonucu verirken, Model 3 için en iyi sonuç 2.72 değerle 0.063 mm tane iriliği için elde edilmektedir

Çizelge 4.9. Tane İriliği Tespiti İçin Yapılan Flotasyon Deney Şartları

Parametre	
Köpük derinliği (cm)	Değişken
Yıkama suyu hızı (cm/s)	Uygulanmadı
Bias (cm/sn)	0
Hava hızı (cm/s)	1.30
d_{80} (mm)	0.063, 0.075, 0.125, 0.180
Palp katı oranı (%)	7.5
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
CuSO_4 (g/t)	575
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	300+300
Kondisyon süresi (dk.)	15

Çizelge 4.10. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

d_{80} (mm)	0.180		0.125		0.075		0.063	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8952	0.2259	0.9536	0.2592	0.9312	0.2364	0.8877	0.1588
k	0.2815	0.1395	0.4087	0.1180	0.2842	0.1280	0.2782	0.1456
K_m	0.2519	0.0315	0.3897	0.0305	0.2646	0.0302	0.2469	0.0231
R^2	0.9926	0.9799	0.9940	0.9815	0.9978	0.9920	0.9874	0.9682

Çizelge 4.11. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

d_{80} (mm)	0.180		0.125		0.075		0.063	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8379	0.2055	0.9114	0.2390	0.8720	0.2149	0.8301	0.1444
k	0.7410	0.3410	1.1235	0.3025	0.7485	0.3098	0.7310	0.3590
K_m	0.6209	0.0700	1.0240	0.0722	0.6527	0.0665	0.6068	0.0518
R^2	0.9908	0.961	0.9958	0.9653	0.9930	0.9750	0.9851	0.9475

Çizelge 4.12. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

d_{80} (mm)	0.180		0.125		0.075		0.063	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8154	0.1953	0.8959	0.2139	0.8491	0.2036	0.8078	0.1373
k	2.0372	4.6450	1.2950	4.4650	2.0100	5.1600	2.0610	4.4500
K_m	1.6611	0.9072	1.1602	0.9551	1.7067	1.0506	1.6649	0.6109
R^2	0.9868	0.9516	0.9884	0.9592	0.9831	0.9604	0.9835	0.9392

Çizelge 4.13. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

d_{80} (mm)	0.180		0.125		0.075		0.063	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8156	0.1951	0.8959	0.2351	0.8491	0.2036	0.8079	0.1374
k	0.4920	0.2145	0.7725	0.2300	0.4977	0.1934	0.4854	0.2257
K_m	0.4013	0.0418	0.6919	0.0540	0.4226	0.0393	0.3921	0.0310
R^2	0.9866	0.9518	0.9882	0.9571	0.9831	0.9604	0.9835	0.9392

Çizelge 4.14. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

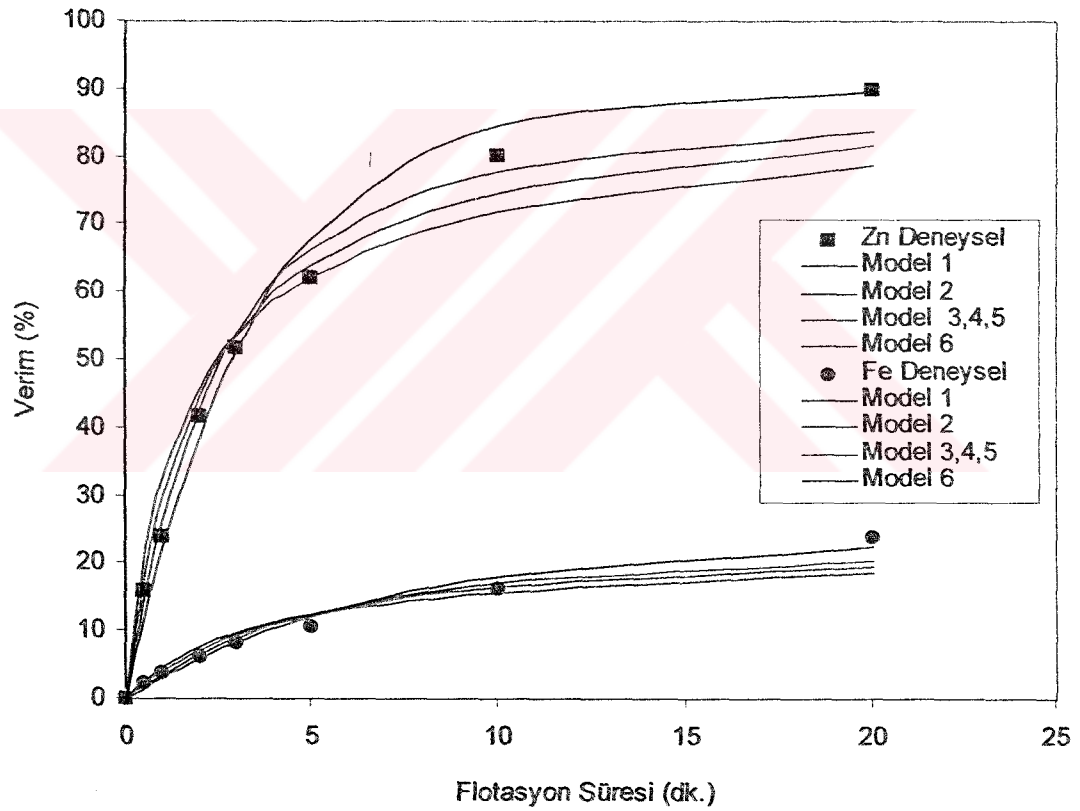
d_{80} (mm)	0.180		0.125		0.075		0.063	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8156	0.1952	0.8959	0.2352	0.8491	0.2036	0.8079	0.1375
k	0.0055	0.0089	0.0081	0.0080	0.0053	0.0076	0.0055	0.0135
K_m	0.0045	0.0017	0.0073	0.0019	0.0045	0.0015	0.0044	0.0019
R^2	0.9866	0.9518	0.9882	0.9571	0.9831	0.9604	0.9835	0.9392

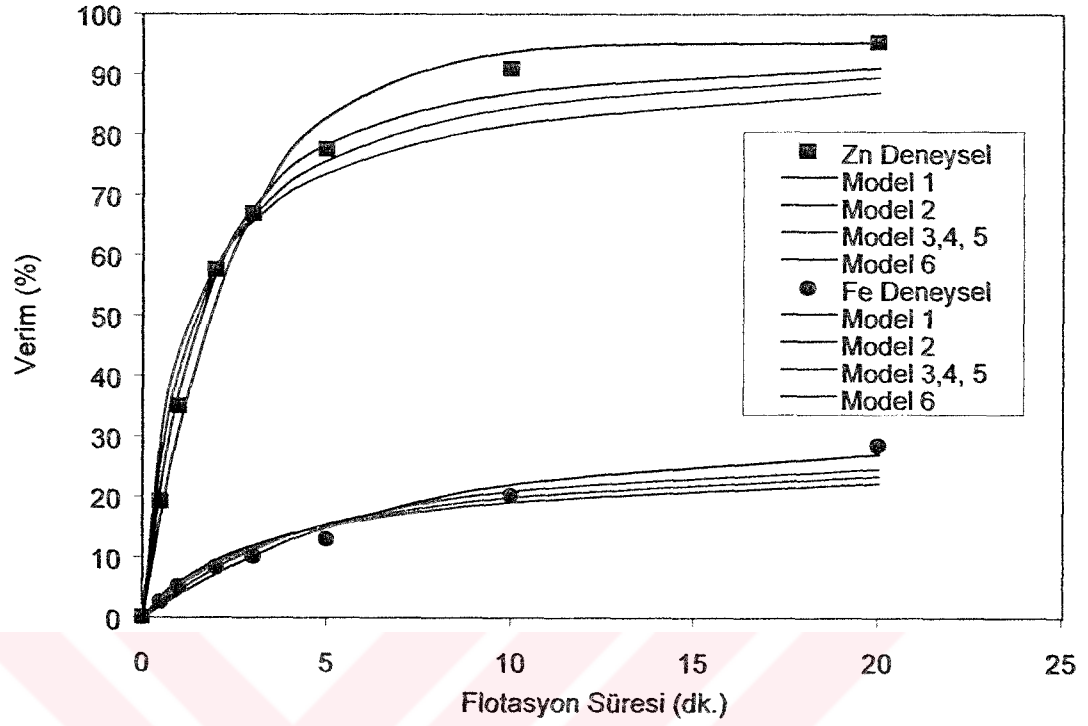
Çizelge 4.15. Model 6'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

d_{80} (mm)	0.180		0.125		0.075		0.063	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.7860	0.1854	0.8707	0.2235	0.8184	0.1931	0.7783	0.1306
k	1.3230	0.5360	2.1760	0.5780	1.3390	0.4790	1.3020	0.5665
K_m	1.0398	0.0994	1.8946	0.1291	1.0958	0.0925	1.0133	0.0740
R^2	0.9738	0.9364	0.9708	0.9425	0.9647	0.9334	0.9728	0.9247

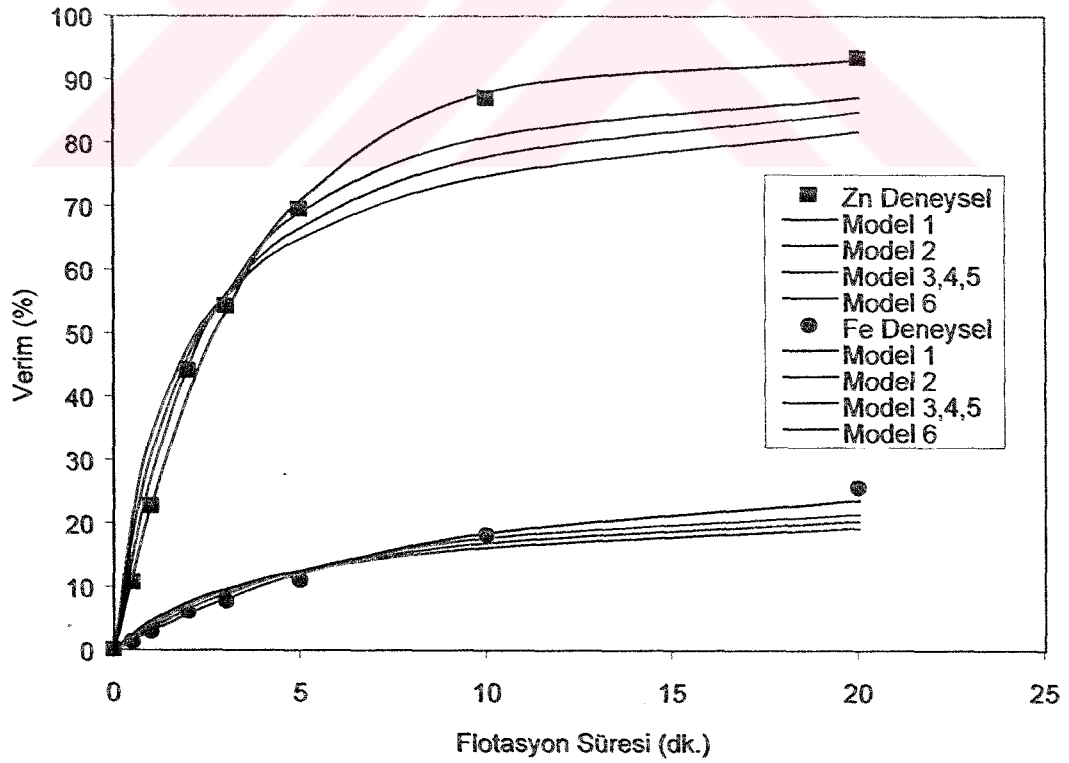
Çizelge 4.16. Tane İriğine Ait Selektif İndeksleri

Model	0.180 mm	0.125 mm	0.075 mm	0.063 mm
1	7.99	12.74	8.76	10.68
2	8.87	14.18	9.81	11.71
3	1.83	1.21	1.62	2.72
4	9.60	12.80	10.75	12.64
5	2.64	3.84	3.00	2.32
6	10.46	14.67	11.85	13.69

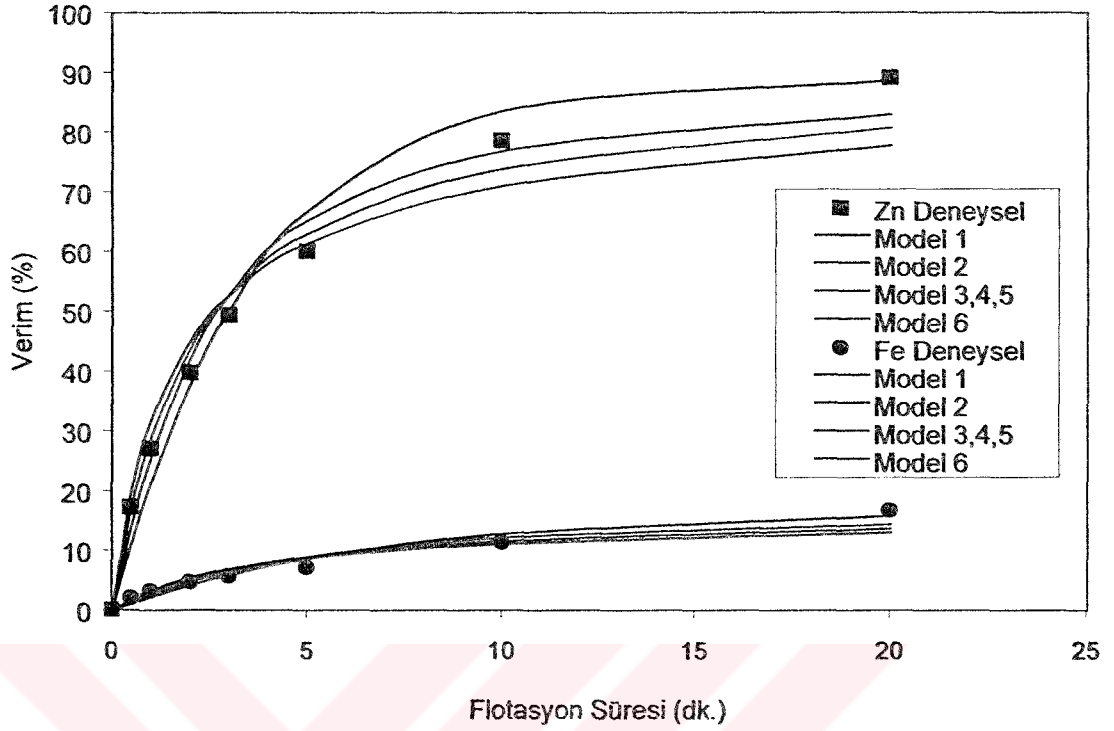
Şekil 4.3. $d_{80}=0.180$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.4. $d_{80}=0.125$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.5. $d_{80}=0.075$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.6. $d_{80}=0.063$ mm Tane İriliğinde Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları

Tane İriliği İçin Kinetik Model Belirleme

Model belirlemede ilk adım olarak dört farklı tane iriliği için altı farklı flotasyon kinetik modelinden Zn ve Fe için elde edilen korelasyon katsayıları (R^2) Çizelge 4.17’de toplu şekilde verilmiştir. Söz konusu katsayıların ortalamalarının birbirinden farklı olup olmadıkları Varyans analizinden yararlanılarak tespit edilmiş ve varyans analiz tablosu düzenlenmiştir (Çizelge 4.18). Varyans analizinde kurulabilecek sıfır hipotezi ve alternatif hipotez aşağıdaki gibi olup %5 ($\alpha=0.05$) önem seviyesine göre değerlendirilmiştir. Zn ve Fe için hesaplanan test istatistiği değerlerinin (25.12 ve 12.00) kritik F değerinden (3.95) büyük olması nedeniyle H_1 hipotezi geçerli olmuş ve modellerden elde edilen korelasyon katsayı ortalamalarının en az ikisinin korelasyon katsayısının ortalamasının birbirinden farklı olduğuna karar verilmiştir.

$$H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4$$

H_1 : En az iki ana kütle ortalaması birbirine eşit değildir.

Çizelge 4.17. Dört Farklı Tane İriliğinin 6 Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2)

Tane İriliği (mm)	Model 1		Model 2		Model 3, 4, 5		Model 6	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
0.180	0.9926	0.9799	0.9908	0.9616	0.9866	0.9518	0.9738	0.9364
0.125	0.9940	0.9894	0.9958	0.9781	0.9882	0.9571	0.9708	0.9425
0.075	0.9978	0.9920	0.9930	0.9750	0.9831	0.9604	0.9647	0.9334
0.063	0.9874	0.9683	0.9851	0.9475	0.9835	0.9392	0.9728	0.9249

Çizelge 4.18. Tane İriliği Dağılımı İçin Varyans Analizi

Element	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği (F)	F (%5)
Zn	Modeller Arası	1.25×10^{-3}	3	4.17×10^{-4}	24.87	3.49
	Modeller İçi	2.0×10^{-4}	12	1.66×10^{-5}		
	Toplam	1.45×10^{-3}	15			
Fe	Modeller Arası	4.5×10^{-3}	3	1.5×10^{-3}	12.00	
	Modeller İçi	1.5×10^{-3}	12	1.25×10^{-4}		
	Toplam	6.0×10^{-3}	15			

Varyans analizi örnek ortalamaları arasında herhangi bir farklılık bulunup bulunmadığını ortaya koymakla beraber bu farklılığa hangi örnek ortalamasının (veya ortalamalarının) sebep olduğu hususunda bir fikir vermez (Başar ve Oktay, 2000). Bu durumda farklılık gösteren grupların tespiti için Duncan'ın çoklu fark testinden yararlanılarak Çizelge 4.19 oluşturulmuştur.

Çizelge 4.19. Tane İriliği Dağılımı İçin Duncan Testi

m	2		3		4	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
r_m	3.082	3.082	3.225	3.225	3.313	3.313
R_m	6.05×10^{-3}	0.017	6.32×10^{-3}	0.017	6.49×10^{-3}	0.018

Zn için Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2 arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=6.05 \times 10^{-3}$ değeri ile mukayese edildiğinde anlamlı bulunurken, Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark yine $m=2$ için hesaplanan $R_2=6.05 \times 10^{-3}$ değeri ile mukayese edildiğinde aralarındaki fark anlamsız bulunmuştur. Model 6 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_2=6.32 \times 10^{-3}$ değeri ile mukayese edildiğinde ise aralarındaki fark anlamlı bulunurken, son olarak Model 6 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=6.49 \times 10^{-3}$ ile mukayese edildiğinde de söz konusu modeller arasında anlamlı bir fark olduğu tespit edilmiştir.

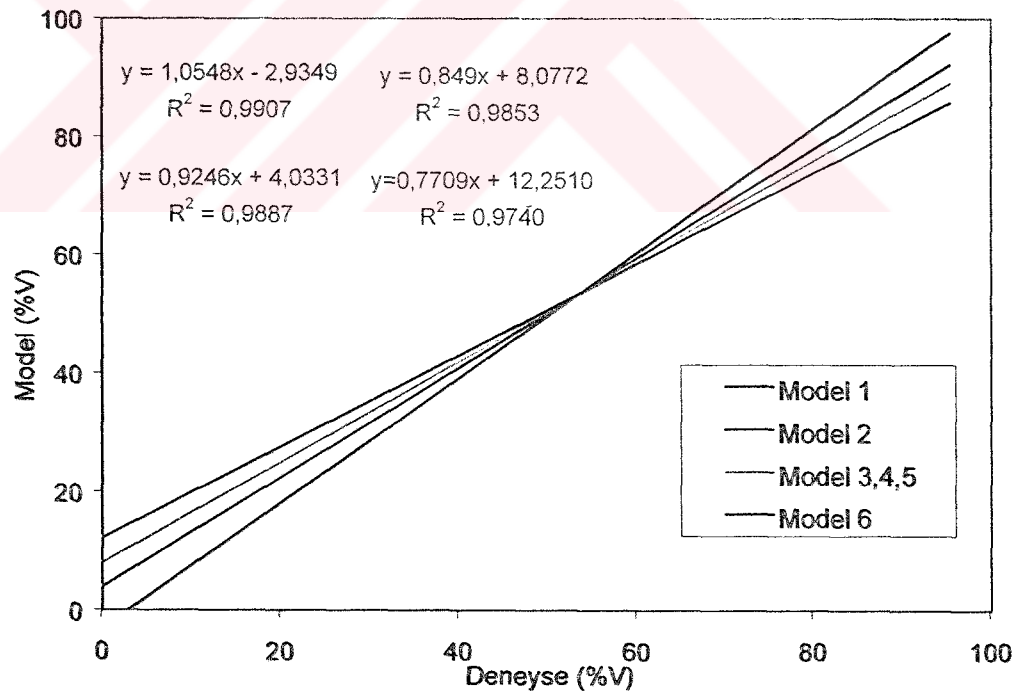
Fe için ise Model 6 ve Model 3, 4, 5 arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=0.017$ değeri ile mukayese edildiğinde anlamlı bulunurken, Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark yine $m=2$ için hesaplanan $R_2=0.017$ değeri ile mukayese edildiğinde aralarındaki fark anlamsız bulunmuştur. Model 6 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_2=0.017$ değeri ile mukayese edildiğinde aralarındaki fark anlamlı bulunurken son olarak Model 6 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=0.018$ ile mukayese edildiğinde söz konusu modeller arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

Dört farklı tane iriliğinin toplu deneysel %verim değerleri ile her bir model için elde edilen %verim değerlerinin (Ek 3) birlikte gösterilmesi için çizilen deneysel (%V)-model (%V) serpilme diyagramları lineer bir regrasyon serpilmesi şeklinde kendini göstermiş ve bu serpilmeye en iyi uyumu gösteren lineer doğruların Zn ve Fe için matematiksel denklemleri ve R^2 değerleri ile birlikte Şekil 4.7-4.8'de sırasıyla verilmiştir. Zn ve Fe için söz konusu bu toplam deneysel veriler ile model verileri arasındaki standart hata değerleri ise her bir model için Çizelge 4.20'de verilmiştir.

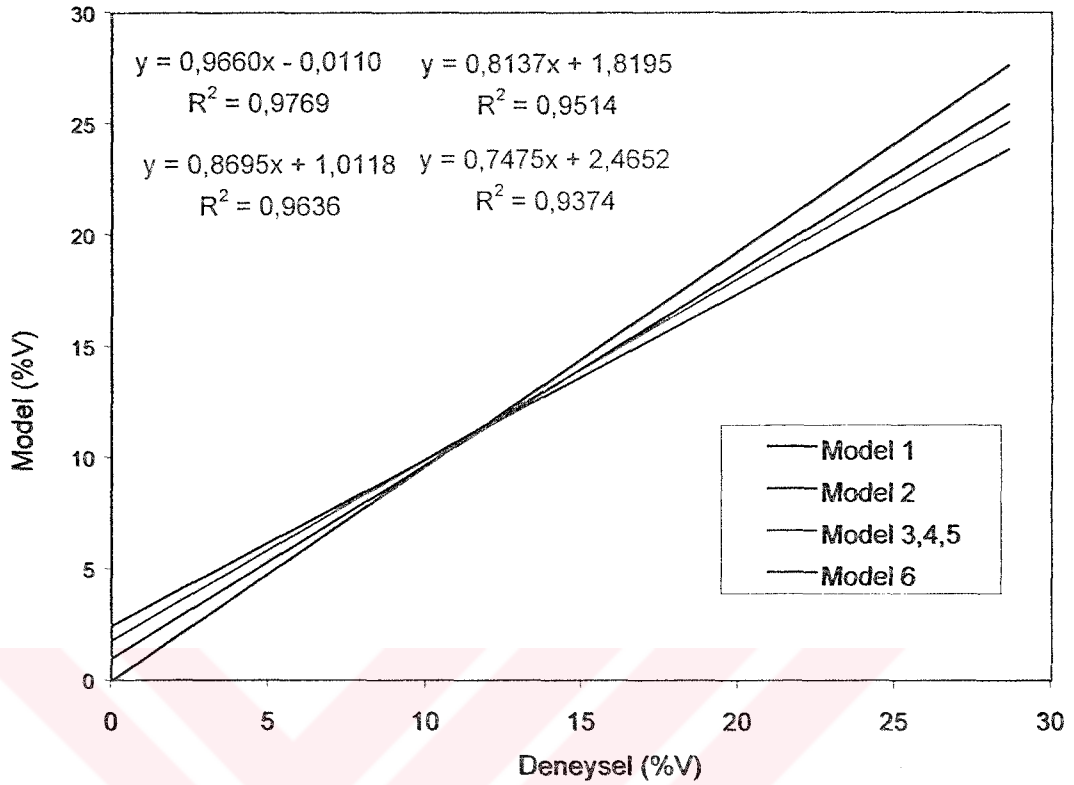
Çizelge 4.20. Tane İrilik Dağılım Modellerinin Standart Hataları

Model	Zn	Fe
1	3.26	1.20
2	3.49	1.63
3, 4, 5	5.14	1.97
6	7.34	2.40

Optimum tane iriliğini belirlemek için çalışılan dört farklı tane iriliğine ait 6 farklı modelin R^2 değerleri baz alınarak Duncan testi ile yapılan ikili karşılaştırma neticesinde; Zn için Model 1 ve Model 2 ortalamaları arasında bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda modeller içerisinde ortalama R^2 değeri en büyük ve model standart hatası en küçük olan Model 1 tane iriliği dağılımı için en ideal model olarak seçilmiştir. Fe için ise Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 arasında fark bulunmazken modeller içerisinde ortalama R^2 değeri en büyük, standart hatası en küçük model Fe içinde Model 1 olmuştur.



Şekil 4.7. Tane İrilik Dağılımına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.8. Tane İrilik Dağılımına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki

4.3. Hava Hızının Tespiti

Hava hızının sfalerit flotasyonuna olan etkisinin incelenmesi ve çalışılan flotasyon kolonu için optimum hava hızının tespiti amacıyla yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada dört farklı hava hızı kullanılmıştır (1.30, 1.80, 2.20 ve 3.00 cm/sn). Her bir hava hızı için -2 mm'lik cevher optimum şartlarda 10 dakika öğütülerek üçer kilo numune hazırlanarak Çizelge 4.21'de verilen şartlarda flotasyon kolonunda deneylere tabi tutulmuştur. Konsantre alma süreleri olarak; 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık yedi farklı süre kullanılmıştır.

Flotasyonun deneylerinde kümülatif bazda 20 dakikalık köpük alma süresi neticesinde; 1.30 cm/sn hava hızında; %95.39 verimle %38.03 Zn tenörlü konsantre %13.96 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.35 Zn olmuştur. 1.80 cm/sn hava hızının flotasyonunda; %94.91 verimle %35.52 Zn tenörlü konsantre

%17.31 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.46 Zn olmuştur. 2.20 cm/sn hava hızının flotasyonunda ise; %94.35 verimle %29.75 Zn tenörlü konsantre %17.24 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.47 Zn olmuştur. 3.00 cm/sn hava hızının flotasyonunda ise; %92.28 verimle %35.15 Zn tenörlü konsantre %17.39 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.82 Zn olmuştur (Ek 2).

Hava hızının sfalerit flotasyonuna olan etkisi kinetik parametrelerin değişimi göz önüne alınarak incelenmiştir. Sfalerit cevheri pilot çapta yapılan flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen verim-zaman verilerine Çizelge 3.5’de verilen 6 farklı kinetik model uyarlanmış (Şekil 4.9-4.12) ve her bir model için Zn ve Fe için elde edilen kinetik parametreler (k , R_∞) ile modife flotasyon hız sabiti değerleri (K_m) ve korelasyon katsayıları (R^2) Çizelge 4.22-4.27’de verilmiştir.

Çizelgeler incelendiği zaman çalışılan hava hızları içinde 1.30 cm/sn hava hızının Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.4087, 1.1235, 1.2950, 0.7725, 0.0081 ve 2.1760 değerlerini alır iken sonsuz verim (R_∞) değerleri ise Model 1 için 0.9536, Model 2 için 0.9114, Model 3, 4, 5 için 0.8959 ve Model 6 için 0.8707 değerlerini almıştır. k değerleri açısından 1.30 cm/sn hava hızı için Model 3 hariç en iyi değerleri alırken, R_∞ değerleri açısından ise bütün modeller için en iyi sonucu almıştır.

Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_∞) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_\infty$) modife flotasyon hız sabiti için ise 1.30 cm/sn hava hızı modeller için sırasıyla 0.3897, 1.0240, 1.1602, 0.6919, 0.0073 ve 1.8946 değerleri ile Model 3 hariç diğer beş modelde yine en iyi sonuçlar bu hava hızında alınmıştır.

Zn ve Fe’nin modife fotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerleri ise Çizelge 4.28’de verilmiştir. Burada 1.30 cm/sn hava hızı Model 1 2, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 12.74, 14.18, 12.80, 3.84, ve 14.67 değerlerini alarak söz konusu beş model için en iyi sonucu verirken, Model 3 için en iyi sonuç 1.41 değerle 3.00 cm/sn hava hızı için elde edilmektedir.

Çizelge 4.21. Hava Hızı İçin Yapılan Flotasyon Deney Şartları

Parametre	
Köpük derinliği (cm)	Değişken
Yıkama suyu hızı (cm/s)	Uygulanmadı
Bias (cm/sn)	0
Hava hızı (cm/s)	1.30, 1.80, 2.20 ve 3.00
d_{80} (mm)	0.125
Palp katı oranı (%)	7.5
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
CuSO_4 (g/t)	575
Aerofloat 7048 + Aerofloat 7279 (g/t)	600
Kondisyon Süresi (dk.)	15

Çizelge 4.22. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Hava Hızı (cm/sn)	1.30		1.80		2.20		3.00	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_∞	0.9536	0.2592	0.9484	0.2944	0.9418	0.3149	0.9213	0.2745
k	0.4087	0.1180	0.3637	0.1358	0.3165	0.1654	0.3803	0.2710
K_m	0.3897	0.0305	0.3449	0.0397	0.2986	0.0521	0.3504	0.0744
R^2	0.9940	0.9894	0.9880	0.9815	0.9930	0.9952	0.9903	0.9744

Çizelge 4.23. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Hava Hızı (cm/sn)	1.30		1.80		2.20		3.00	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_∞	0.9114	0.2390	0.9020	0.2714	0.8875	0.2872	0.8773	0.2563
k	1.1235	0.3025	1.0080	0.3585	0.8435	0.4120	1.0360	0.7110
K_m	1.0240	0.0722	0.9092	0.0973	0.7486	0.1183	0.9089	0.1822
R^2	0.9958	0.9781	0.9857	0.9807	0.9855	0.9828	0.9908	0.9777

Çizelge 4.24. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Hava Hızı (cm/sn)	1.30		1.80		2.20		3.00	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8959	0.2351	0.8832	0.2675	0.8669	0.2746	0.8609	0.2837
k	1.2950	4.350	1.4928	3.5790	1.7660	3.8060	1.4140	3.0450
K_m	1.1602	1.0216	1.3184	0.9563	1.5309	1.0451	1.2170	0.8638
R^2	0.9884	0.9573	0.9791	0.9775	0.9740	0.9712	0.9920	0.9586

Çizelge 4.25. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

	1.30		1.80		2.20		3.00	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8956	0.2351	0.8831	0.2675	0.8669	0.2745	0.8610	0.2837
k	0.7725	0.2300	0.6695	0.2500	0.5662	0.2620	0.7075	0.3285
K_m	0.6919	0.0540	0.5912	0.0669	0.4908	0.0719	0.6092	0.0932
R^2	0.9882	0.9571	0.9791	0.9775	0.9740	0.9714	0.9920	0.9586

Çizelge 4.26. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

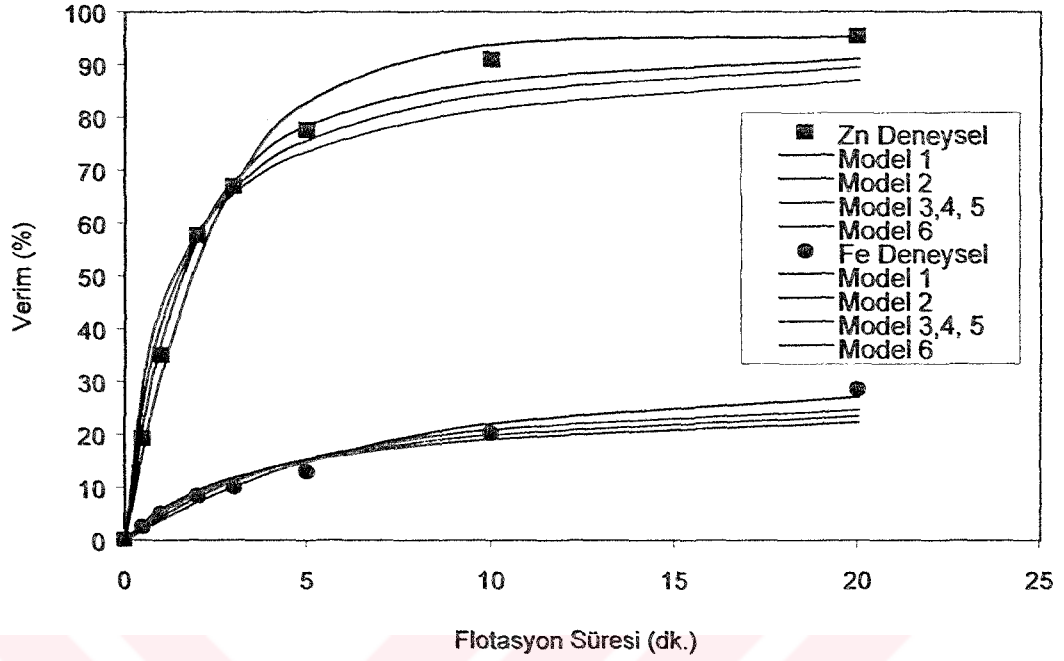
Hava Hızı (cm/sn)	1.30		1.80		2.20		3.00	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8959	0.2352	0.8847	0.2676	0.8669	0.2745	0.8609	0.2492
k	0.0081	0.0080	0.0072	0.0089	0.0060	0.0080	0.0077	0.0171
K_m	0.0073	0.0019	0.0064	0.0024	0.0052	0.0022	0.0066	0.0043
R^2	0.9882	0.9571	0.9793	0.9775	0.9740	0.9714	0.9920	0.9805

Çizelge 4.27. Model 6'den Zn Ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri Ve Korelasyon Katsayıları

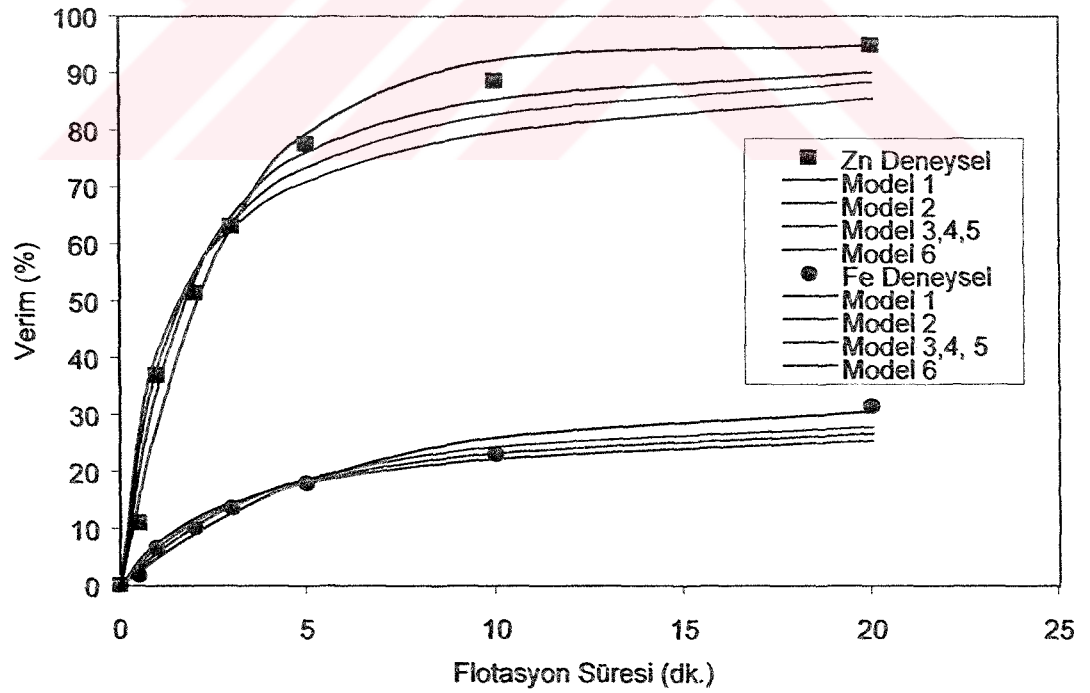
Hava Hızı (cm/sn)	1.30		1.80		2.20		3.00	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8707	0.2235	0.8560	0.2486	0.8377	0.2615	0.8353	0.2399
k	2.1760	0.5780	1.8570	0.6100	1.5430	0.6650	1.9720	1.2560
K_m	.8946	0.1291	1.5296	0.1529	1.2926	0.1738	1.6472	0.3013
R^2	0.9708	0.9425	0.9645	0.9665	0.9547	0.9541	0.9828	0.9736

Çizelge 4.28. Hava Hızlarına Ait Selektif İndeksleri

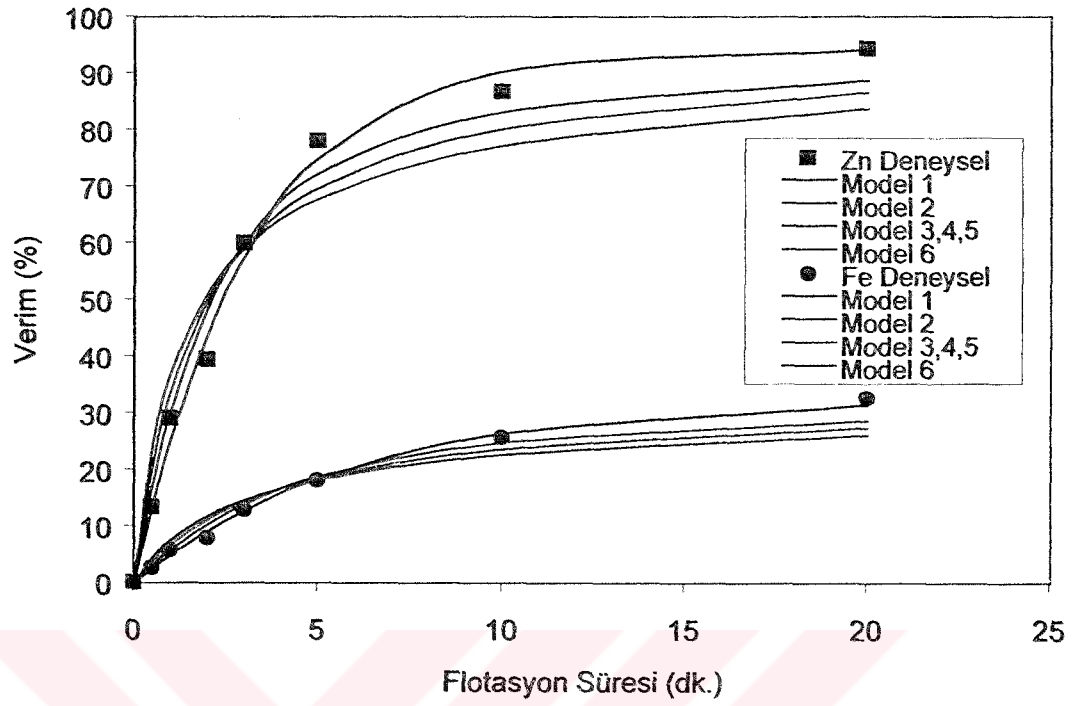
Model	1.30 cm/sn	1.80 cm/sn	2.20 cm/sn	3.00 cm/sn
1	12.74	8.69	5.732	4.71
2	14.18	9.35	6.33	4.99
3	1.14	1.38	1.46	1.41
4	12.80	8.84	6.83	6.53
5	3.84	2.67	2.36	1.53
6	14.67	10.03	7.43	5.46



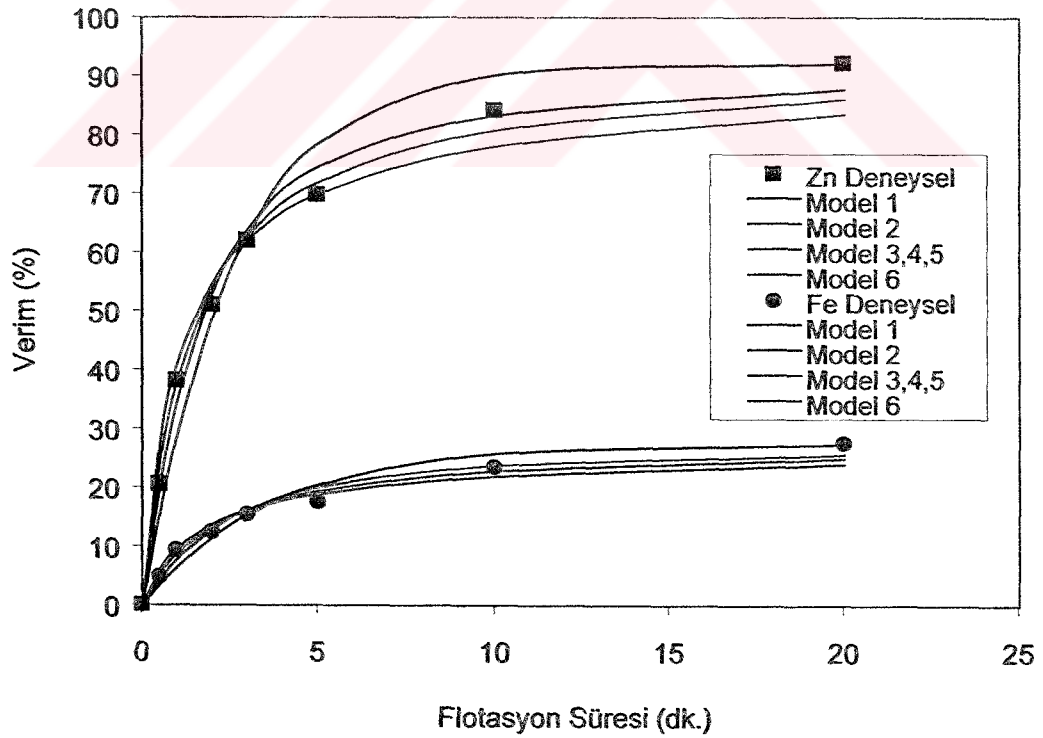
Şekil 4.9. 1.30 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.10. 1.80 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.11. 2.20 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.12. 3.00 cm/sn Hava Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları

Hava Hızı İçin Model Belirleme

Model belirlemede ilk adım olarak dört farklı hava hızı için altı farklı flotasyon kinetik modelinden Zn ve Fe için elde edilen korelasyon katsayıları Çizelge 4.29'da topluca verilmiştir. Söz konusu katsayıların ortalamalarının birbirinden farklı olup olmadıkları Varyans analizinden yararlanılarak tespit edilmiş ve varyans analiz tablosu düzenlenmiştir (Çizelge 4.30). Varyans analizinde kurulabilecek sıfır hipotezi ve alternatif hipotez aşağıdaki gibi olup %5 ($\alpha=0.05$) önem seviyesine göre değerlendirilmiştir. Zn ve Fe için hesaplanan test istatistiği değerlerinin (6.0 ve 6.50) kritik F değerinden (3.95) büyük olması nedeniyle H_1 hipotezi geçerli olmuş ve modellerden elde edilen korelasyon katsayılarının en az ikisinin korelasyon katsayısının ortalamasının birbirinden farklı olduğuna karar verilmiştir.

$$H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4$$

H_1 : En az iki ana kütle ortalaması birbirine eşit değildir.

Çizelge.4.29. Dört Farklı Hava Hızının Altı Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2)

Hava Hızı (cm/sn)	Model 1		Model 2		Model 3, 4, 5		Model 6	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
1.30	0.9940	0.9815	0.9958	0.9781	0.9884	0.9571	0.9708	0.9425
1.80	0.9880	0.9833	0.9857	0.9807	0.9821	0.9775	0.9645	0.9665
2.20	0.9930	0.9954	0.9855	0.9828	0.9740	0.9712	0.9547	0.9541
3.00	0.9807	0.9871	0.9908	0.9777	0.9920	0.9586	0.9825	0.9736

Çizelge 4.30. Hava Hızı Varyans Analizi

Element	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği (F)	F (%5)
Zn	Modeller Arası	1.20×10^{-3}	3	4.0×10^{-4}	6.00	3.49
	Modeller İçi	6.0×10^{-4}	12	6.7×10^{-5}		
	Toplam	1.80×10^{-3}	15			
Fe	Modeller Arası	1.8×10^{-3}	3	6.0×10^{-4}	6.50	
	Modeller İçi	1.1×10^{-3}	12	9.12×10^{-5}		
	Toplam	2.9×10^{-3}	15			

Yapılan Duncan testi neticesinde (Çizelge 4.31); Zn için Model 6 ve Model 3, 4, 5 arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=0.012$ değeri ile mukayese edildiğinde anlamlı bulunurken, Model 3, 4, 5 ve Model 1; Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark yine $m=2$ için hesaplanan $R_2=0.012$ değeri ile mukayese edildiğinde aralarındaki fark anlamsız bulunmuştur. Model 6 ve Model 1; Model 3, 4, 5 ve Model 2 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_2=0.013$ değeri ile mukayese edildiğinde ise aralarındaki fark anlamsız bulunurken son olarak Model 6 ve Model 2 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=0.013$ ile mukayese edildiğinde de söz konusu modeller arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

Fe için ise Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki, fark $m=2$ için hesaplanan $R_2=0.014$ değeri ile mukayese edildiğinde anlamsız bulunurken, Model 6 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_2=0.017$ değeri ile mukayese edildiğinde bulunmuştur. Son olarak Model 6 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=0.015$ ile mukayese edildiğinde de söz konusu modeller arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

Çizelge 4.31. Hava Hızı İçin Duncan Testi

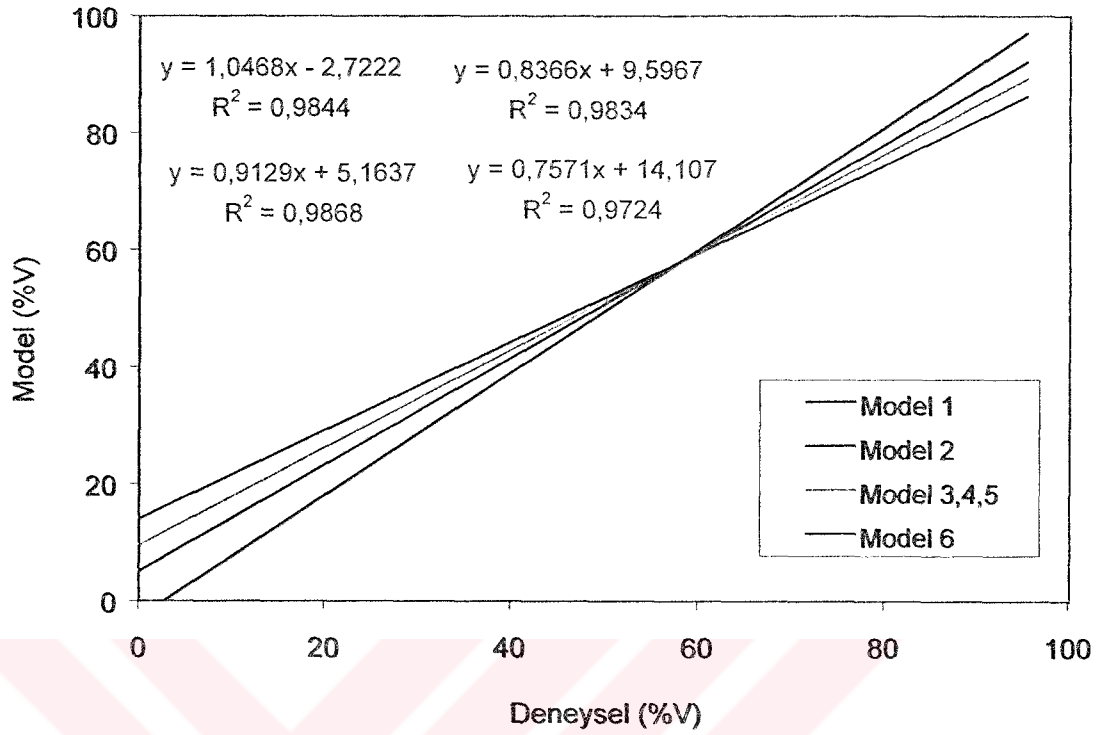
m	2		3		4	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
r_m	3.080	3.080	3.225	3.225	3.313	3.313
R_m	0.012	0.014	0.013	0.015	0.013	0.015

Dört farklı hava hızına ait toplu deneysel %verim değerleri ile her bir model için elde edilen %verim değerlerinin (Ek 3) birlikte gösterilmesi için çizilen deneysel (%V)-model (%V) serpilme diyagramları lineer bir regrasyon serpilmesi şeklinde kendini göstermiş ve bu serpilmeye en iyi uyumu gösteren lineer doğruların Zn ve Fe için matematiksel denklemleri ve R^2 değerleri ile birlikte Şekil 4.13-4.14'de sırasıyla verilmiştir. Zn ve Fe için söz konusu bu toplam deneysel veriler ile model verileri arasındaki standart hata değerleri ise her bir model için Çizelge 4.32'de verilmiştir.

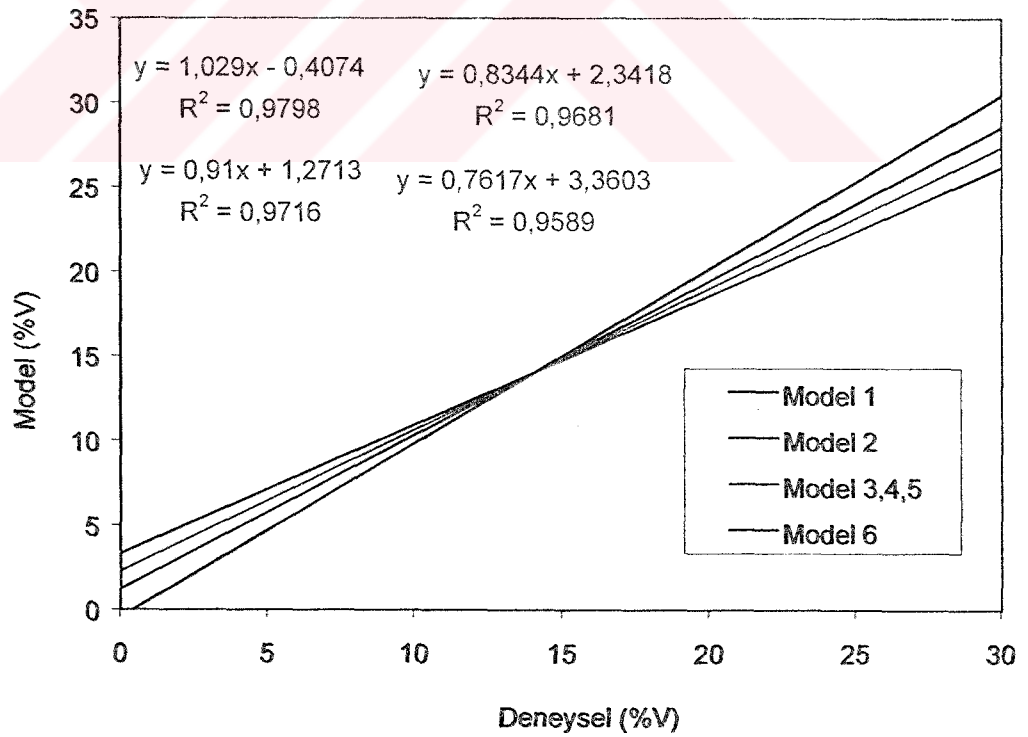
Çizelge 4.32. Hava Hızı İçin Modellerin Standart Hataları

Model	Zn	Fe
1	3.96	1.68
2	3.88	1.77
3, 4, 5	5.57	2.07
6	7.78	2.66

Optimum hava hızının belirlenmesi için çalışılan dört farklı hava hızına ait altı farklı modelin R^2 değerleri baz alınarak Duncan testi ile yapılan ikili karşılaştırma neticesinde; Zn için Model 3, 4, 5 ve Model 1; Model 1 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 2 arasında bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda modeller içerisinde R^2 değeri en büyük model ile standart hatası en küçük olan Model 2 hava hızı için en ideal model olarak seçilmiştir. Fe için ise Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasında bir farklılık olmadığı tespit edilmiş ve R^2 değeri en büyük ve model standart hatası en küçük olan model Fe için ise Model 1 olmuştur.



Şekil 4.13. Hava Hızlarına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.14. Hava Hızlarına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki

4.4. Toplayıcı Miktarının Tespiti

Toplayıcı miktarının sfalerit flotasyon kinetiğine olan etkisinin incelenmesi ve çalışılan flotasyon kolonu için optimum toplayıcı miktarının tespiti amacıyla yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada, dört farklı toplayıcı miktarı kullanılmıştır (400, 500, 600 ve 700 g/t). Her bir toplayıcı miktarının için cevher optimum şartlarda 10 dakika öğütölmek sureti ile üçer kilo numune hazırlanarak Çizelge 4.33’de verilen şartlarda flotasyon kolonunda deneylere tabi tutulmuştur. Konsantre alma süreleri olarak, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık yedi farklı süre kullanılmıştır.

Flotasyonun deneylerinde kümülatif bazda 20 dakikalık köpük alma süresi neticesinde; 400 g/t toplayıcı miktarı için; %91.66 verimle %39.05 Zn tenörlü konsantre %14.11 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.76 Zn olmuştur. 500 g/t toplayıcı miktarının flotasyonunda; %93.82 verimle %43.35 Zn tenörlü konsantre, %11.91 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.70 Zn olmuştur. 600 g/t toplayıcı miktarının flotasyonunda ise; %94.35 verimle %29.75 Zn tenörlü konsantre, %17.24 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.47 Zn olmuştur. 700 g/t toplayıcı miktarının flotasyonunda ise; %91.83 verimle %36.71 Zn tenörlü konsantre, %18.08 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %2.11 Zn olmuştur (Ek 2)

Toplayıcı miktarının sfalerit flotasyonuna olan etkisi kinetik parametrelerin değişimi göz önüne alınarak incelenmiştir. Sfalerit cevheri pilot çapta yapılan kesikli flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen verim-zaman verilerine Çizelge 3.5’de verilen 6 farklı kinetik model için uyarlanmış (Şekil 4.15-4.18) ve her bir model için Zn ve Fe için elde edilen kinetik parametreler (k , R_{∞}) ile modife flotasyon hız sabiti (K_m) ve korelasyon katsayıları Çizelge 4.34-4.39’da verilmiştir.

Çizelgeler incelendiği zaman; çalışılan toplayıcı miktarlarından 400 g/t Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.2530, 0.6580, 2.3080, 0.4335, 0.0037 ve 1.1500 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_{∞}) değerleri ise Model 1 için 0.9108, Model 2 için 0.8469, Model 3, 4, 5 için 0.8218 ve Model 6 için 0.7899 değerlerini almıştır.

Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_{∞}) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_{\infty}$) modife flotasyon hız sabiti için ise 400 g/t toplayıcı miktarı modeller için sırasıyla 0.2304, 0.5572, 1.8967, 0.3563, 0.0038 ve 0.9080 değerlerini almıştır. 500 g/t için ise Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.3156, 0.8814, 1.7725, 0.5644, 0.0060 ve 1.2370 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_{∞}) değerleri için ise Model 1 için 0.9365, Model 2 için 0.8824, Model 3, 4, 5 için 0.8618 ve Model 6 için 0.8150 değerlerini almıştır. Modife flotasyon hız sabiti için ise 500 g/t toplayıcı miktarı modeller için sırasıyla 0.2956, 0.7421, 1.5280, 0.4864, 0.0052 ve 1.0087 değerlerini almıştır. 600 g/t için ise Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.3165, 0.8435, 1.7660, 0.5662, 0.0060 ve 1.5430 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_{∞}) değerleri ise Model 1 için 0.9418, Model 2 için 0.8875, Model 3, 4, 5 için 0.8669 ve Model 6 için 0.8377 değerlerini almıştır. Modife flotasyon hız sabiti için ise 600 g/t toplayıcı miktarı modeller için sırasıyla 0.2986, 0.7486, 1.5309, 0.4906, 0.0052 ve 1.2926 değerlerini almıştır.

Çizelge 4.33. Toplayıcı Miktarı Flotasyon Deney Şartları

Patramtreler	Değişken
Köpük derinliği (m)	Uygulanmadı
Yıkama suyu hızı (cm/s)	0
Bias (cm/sn)	2.20
Hava hızı (cm/sn)	0.125
d_{80} (mm)	7.5
Paip katı oranı (%)	12
pH	250
Na_2SiO_3 (g/t)	575
CuSO_4 (g/t)	400, 500, 600, 700
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	15
Kondisyon Süresi (dk.)	

Zn ve Fe'nin modife flotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerleri ise Çizelge 4.40'da verilmiştir. Burada 400 g/t toplayıcı miktarı için Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 8.23, 8.72, 2.81, 9.30, 1.90 ve 9.85 değerlerini alırken, 500 g/t toplayıcı miktarı için 8.42, 9.13, 2.71, 9.68, 2.00 ve 8.210 değerlerini, 600 g/t toplayıcı miktarı ise 5.73, 6.33, 1.46, 6.83, 2.36 ve 7.43 değerlerini almıştır.

Flotasyon hız sabiti, sonsuz verim ve modife flotasyon hız sabiti açısından Zn için en yüksek değerleri Model 3 hariç en iyi değerleri 600 g/t toplayıcı miktarı verirken, selektif indeksi açısından 700 g/t'dan sonra en küçük değerleri vermektedir. Selektif indeksleri birbirine çok yakın olan 400 g/t ve 500 g/t toplayıcı miktarları içinde; flotasyon hız sabiti, sonsuz verim ve modife flotasyon hız sabiti açısından en büyük değerleri alan 500 g/t optimum toplayıcı miktarı olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.34. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Aerofloat (7048+7279) (g/t)	400		500		600		700	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.9108	0.1856	0.9365	0.1897	0.9418	0.3149	0.9141	0.3040
k	0.2530	0.1526	0.3156	0.1855	0.3165	0.1654	0.2697	0.1724
K_m	0.2304	0.0280	0.2956	0.0351	0.2986	0.0521	0.2465	0.0524
R^2	0.9926	0.9853	0.9970	0.9817	0.9930	0.9952	0.9940	0.9980

Çizelge 4.35. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Aerofloat (7048+7279) (g/t)	400		500		600		700	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8469	0.1691	0.8824	0.1737	0.8875	0.2872	0.8533	0.2769
k	0.6580	0.3780	0.8814	0.4680	0.8435	0.4120	0.7065	0.4323
K_m	0.5572	0.0639	0.7421	0.0813	0.7486	0.1183	0.6029	0.1197
R^2	0.9936	0.9754	0.9884	0.9833	0.9855	0.9828	0.9924	0.9890

Çizelge 4.36. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Aerofloat (7048+7279) (g/t)	400		500		600		700	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8218	0.1611	0.8618	0.1667	0.8669	0.2746	0.8295	0.2657
k	2.3080	4.1900	1.7725	3.3800	1.7660	3.8060	2.1400	3.6350
K_m	1.8967	0.6750	1.5280	0.5634	1.5309	1.0451	1.7751	0.9658
R^2	0.9847	0.9683	0.9742	0.9795	0.9740	0.9712	0.9818	0.9786

Çizelge 4.37. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Aerofloat (7048+7279) (g/t)	400		500		600		700	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8218	0.1610	0.8618	0.1668	0.8669	0.2745	0.8296	0.2658
k	0.4335	0.2385	0.5644	0.3010	0.5662	0.2620	0.4675	0.2755
K_m	0.3563	0.0383	0.4864	0.0502	0.4908	0.0719	0.3878	0.0732
R^2	0.9847	0.9685	0.9742	0.9795	0.9740	0.9714	0.9818	0.9785

Çizelge 4.38. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

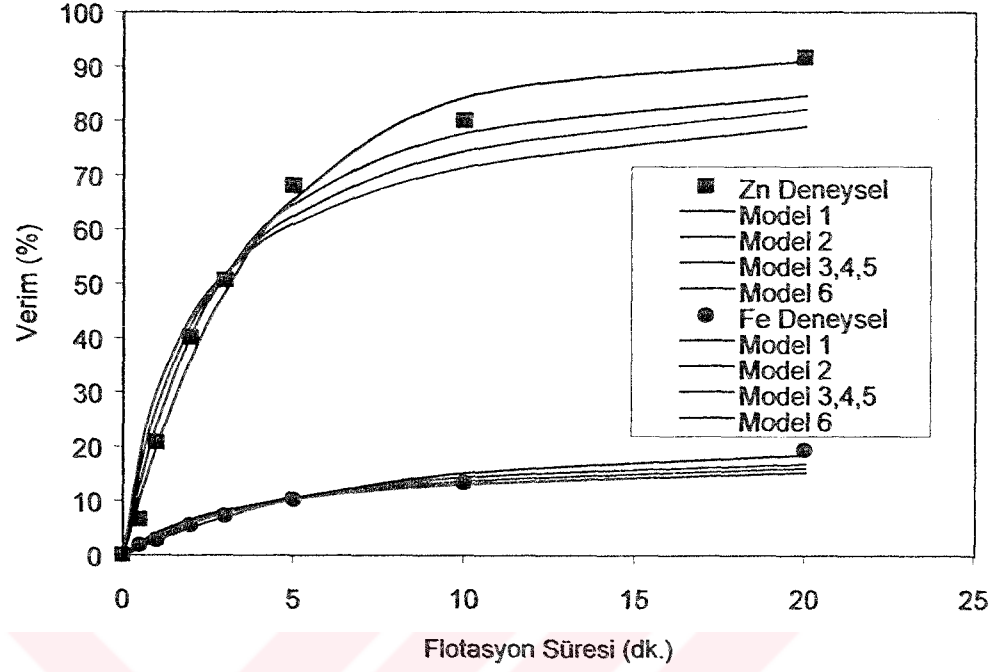
Aerofloat (7048+7279) (g/t)	400		500		600		700	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8218	0.1611	0.8618	0.1667	0.8669	0.2745	0.8296	0.2659
k	0.0047	0.0123	0.0060	0.0155	0.0060	0.0080	0.0051	0.0088
K_m	0.0038	0.0020	0.0052	0.0026	0.0052	0.0022	0.0042	0.0023
R^2	0.9847	0.9683	0.9742	0.9795	0.9740	0.9714	0.9819	0.9781

Çizelge 4.39. Model 6'dan Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

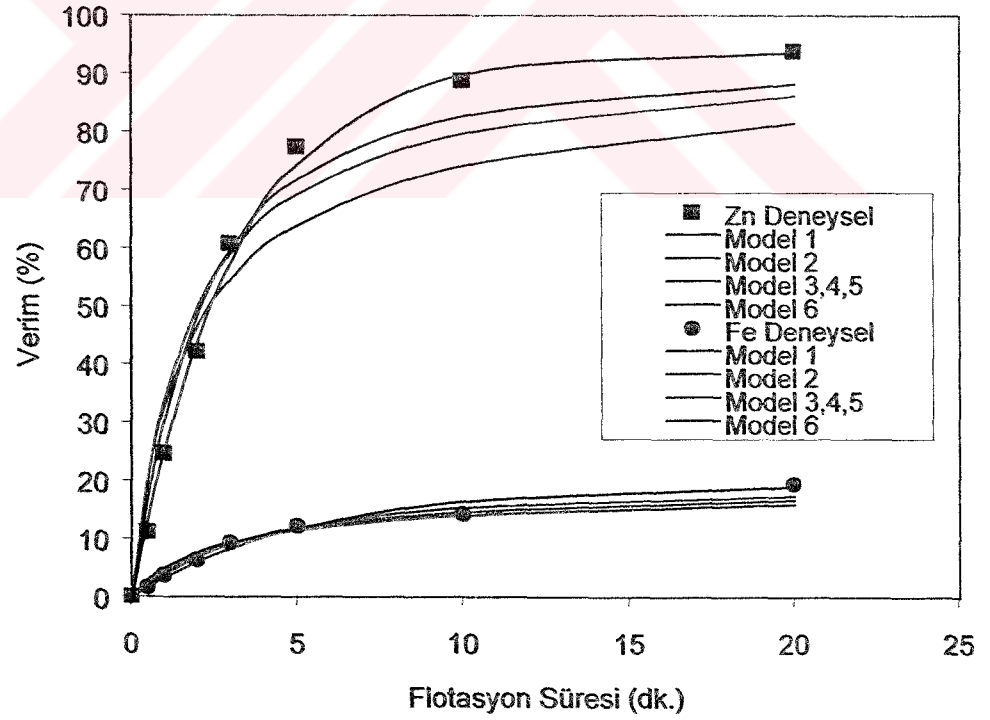
Aerofloat (7048+7279) (g/t)	400		500		600		700	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.7899	0.1532	0.8150	0.1592	0.8377	0.2615	0.7986	0.2533
k	1.1500	0.6020	1.2370	0.7722	1.5430	0.6650	1.2500	0.7010
K_m	0.9080	0.0922	1.0087	0.1229	1.2926	0.1738	0.9983	0.1776
R^2	0.9683	0.9543	0.9683	0.9679	0.9547	0.9541	0.9633	0.9618

Çizelge 4.40. Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Ait Selektif İndeksleri

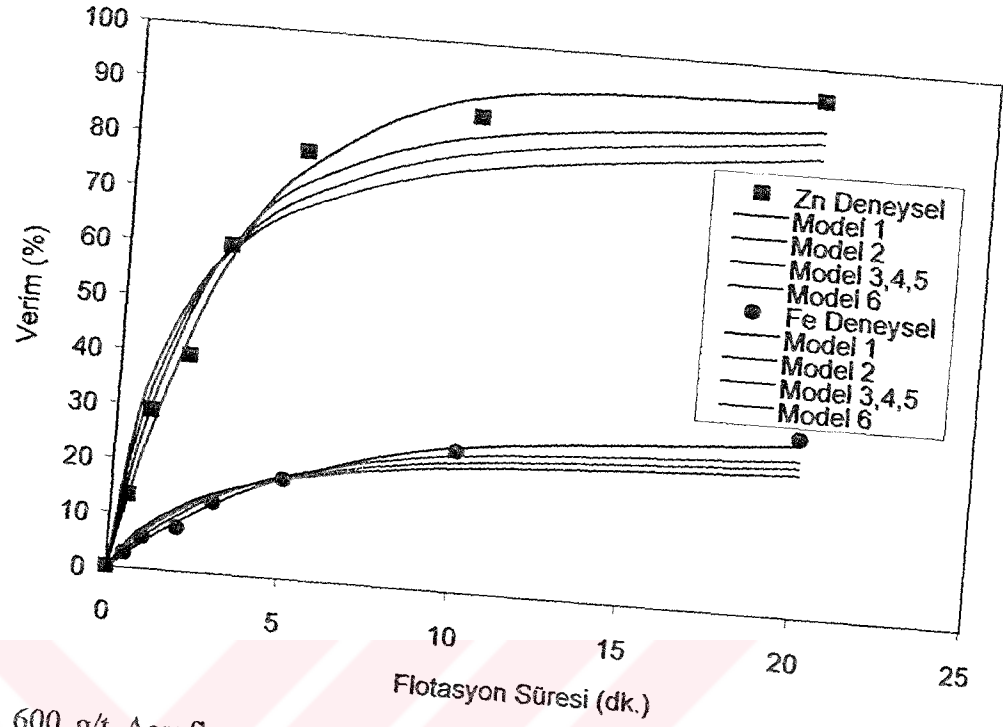
Model	400 g/t	500 g/t	600 g/t	700 g/t
1	8.23	8.42	5.73	4.70
2	8.72	9.13	6.33	5.04
3	2.81	2.71	1.46	1.84
4	9.30	9.68	6.83	5.29
5	1.90	2.00	2.36	1.83
6	9.85	8.20	7.43	5.62



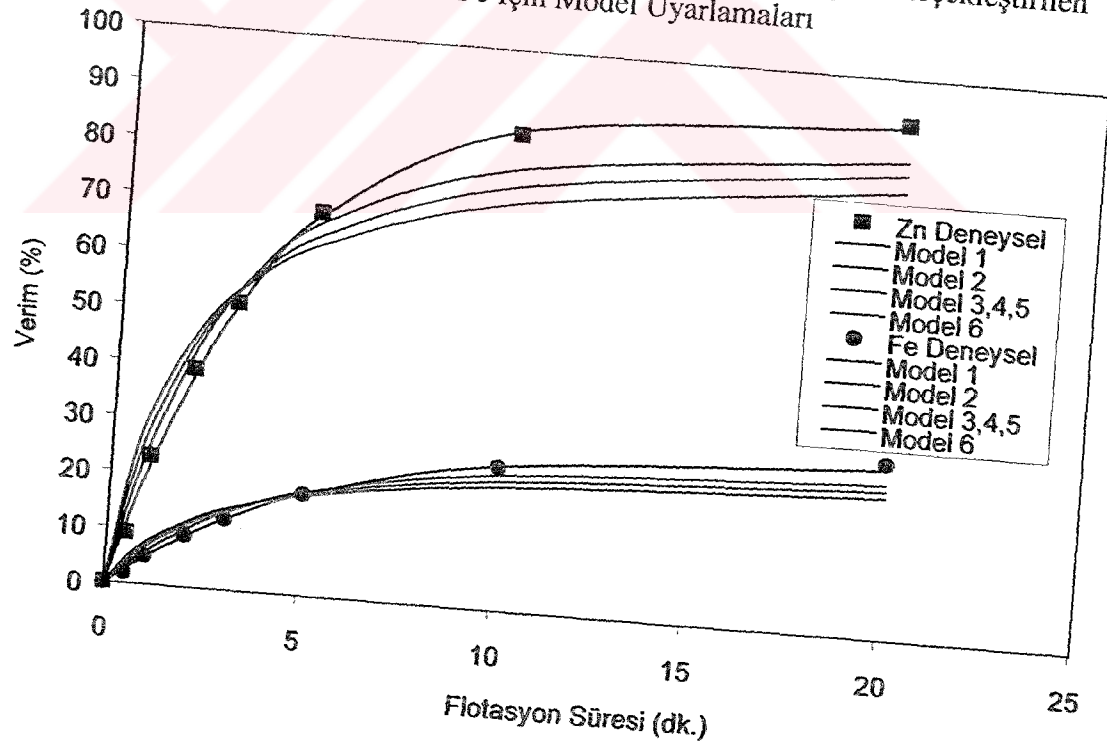
Şekil 4.15. 400 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.16. 500 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.17. 600 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.18. 700 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları

Toplayıcı Miktarı İçin Model Belirleme

Model belirlemede ilk adım olarak dört farklı Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 miktarı için altı farklı flotasyon kinetik modelinden Zn ve Fe için elde edilen korelasyon katsayıları Çizelge 4.41’de topluca verilmiştir. Söz konusu katsayıların birbirinden farklı olup olmadıkları Varyans analizinden yararlanılarak tespit edilmiş ve varyans analiz tablosu düzenlenmiştir (Çizelge 4.42). Varyans analizinde kurulabilecek sıfır hipotezi ve alternatif hipotez aşağıdaki gibi olup % 5 ($\alpha=0.05$) önem seviyesine göre değerlendirilmiştir. Zn ve Fe için hesaplanan test istatistiği değerlerinin (29.32 ve 13.86) kritik F değerinden (3.95) büyük olması nedeniyle H_1 hipotezi geçerli olmuş ve modellerden elde edilen korelasyon katsayılarının birbirinden farklı olduğuna karar verilmiştir.

$$H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4$$

H_1 : En az iki ana kütle ortalaması birbirine eşit değildir.

Çizelge 4.41. Dört Farklı Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarının Altı Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2)

Aerofloat (7048+7279) Miktarı (g/t)	Model 1		Model 2		Model 3, 4, 5		Model 6	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
400	0.9926	0.9853	0.9936	0.9754	0.9847	0.9683	0.9683	0.9543
500	0.9970	0.9817	0.9884	0.9833	0.9742	0.9795	0.9683	0.9679
600	0.9930	0.9954	0.9855	0.9829	0.9740	0.9716	0.9547	0.9541
700	0.9940	0.9980	0.9924	0.9890	0.9819	0.9781	0.9633	0.9618

Çizelge 4.42. Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Varyans Analizi

Element	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği (F)	F (%1)
Zn	Modeller Arası	2.2×10^{-3}	3	7.33×10^{-4}	29.32	3.49
	Modeller İçi	3.0×10^{-4}	12	2.5×10^{-5}		
	Toplam	2.5×10^{-3}	15			
Fe	Modeller Arası	2.08×10^{-3}	3	6.93×10^{-4}	13.86	
	Modeller İçi	6.0×10^{-4}	12	5.0×10^{-5}		
	Toplam	2.68×10^{-3}	15			

Yapılan Duncan testi neticesinde (Çizelge 4.43); Zn için Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve 2; Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=7.10 \cdot 10^{-3}$ ile mukayese edildiğinde, Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2 arasındaki fark anlamlı bulunurken, Model 2 ve Model 1 arasındaki fark anlamsız bulunmuştur. Model 6 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_3=7.42 \cdot 10^{-3}$ değeri ile karşılaştırıldığında bu ikililerin ortalamaları arasında anlamlı bir fark görülmüştür. Son olarak Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=7.62 \cdot 10^{-3}$ ile mukayese edildiğinde ise söz konusu modeller arasında da anlamlı bir fark ortaya çıkmıştır.

Fe için Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=9.90 \cdot 10^{-3}$ ile mukayese edildiğinde; Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2 arasındaki fark anlamlı bulunurken, Model 2 ve Model 1 arasındaki fark anlamsız bulunmuştur. Model 6 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_3=0.010$ değeri ile karşılaştırıldığında bu ikililerin ortalamaları arasında anlamlı bir fark görülmüştür. Son olarak Model 3, 4, 5 ve

Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=0.011$ ile mukayese edildiğinde söz konusu modeller arasında da anlamlı bir fark ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.43. Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Duncan Testi

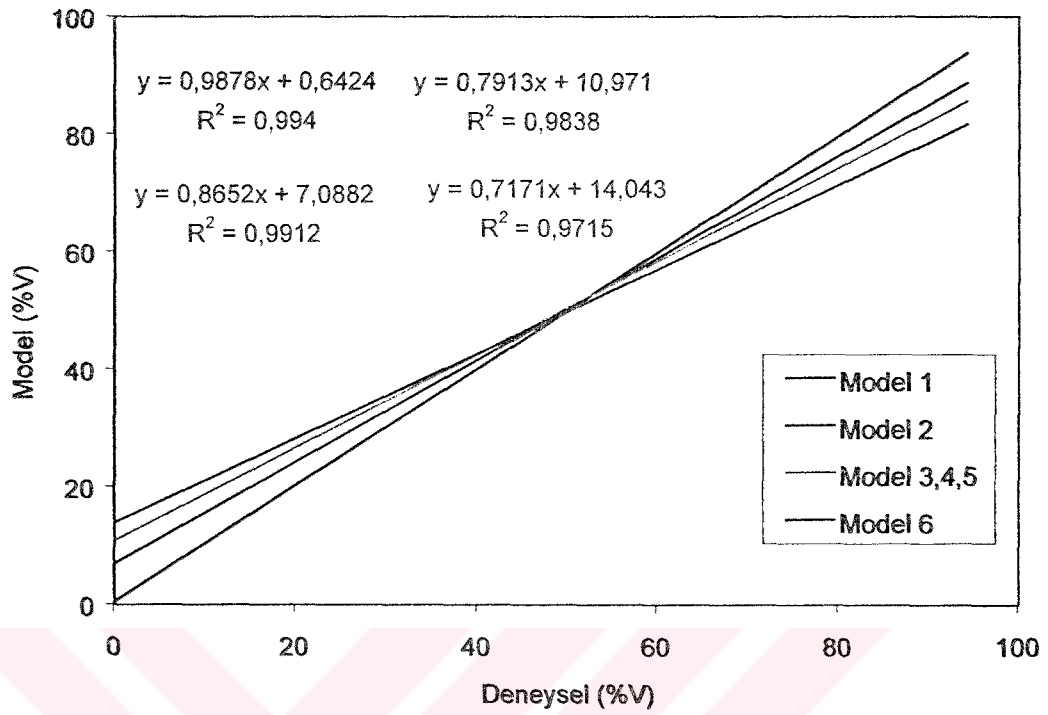
m	2		3		4	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
r_m	3.080	3.080	3.225	3.225	3.313	3.313
R_m	7.10×10^{-3}	9.90×10^{-3}	7.42×10^{-3}	0.010	7.62×10^{-3}	0.011

Dört farklı toplayıcı miktarının toplu deneysel %verim değerleri ile her bir model için elde edilen %verim değerlerinin (Ek 3) birlikte gösterilmesi için çizilen deneysel (%V)-model (%V) serpilme diyagramları lineer bir regresyon serpilmesi şeklinde kendini göstermiş ve bu serpilmeye en iyi uyumu gösteren lineer doğruların Zn ve Fe için matematiksel denklemleri ve R^2 değerleri ile birlikte Şekil 4.19-4.20'de sırasıyla verilmiştir. Zn ve Fe için söz konusu bu toplam deneysel veriler ile model verileri arasındaki standart hata değerleri ise her bir model için Çizelge 4.44'de verilmiştir.

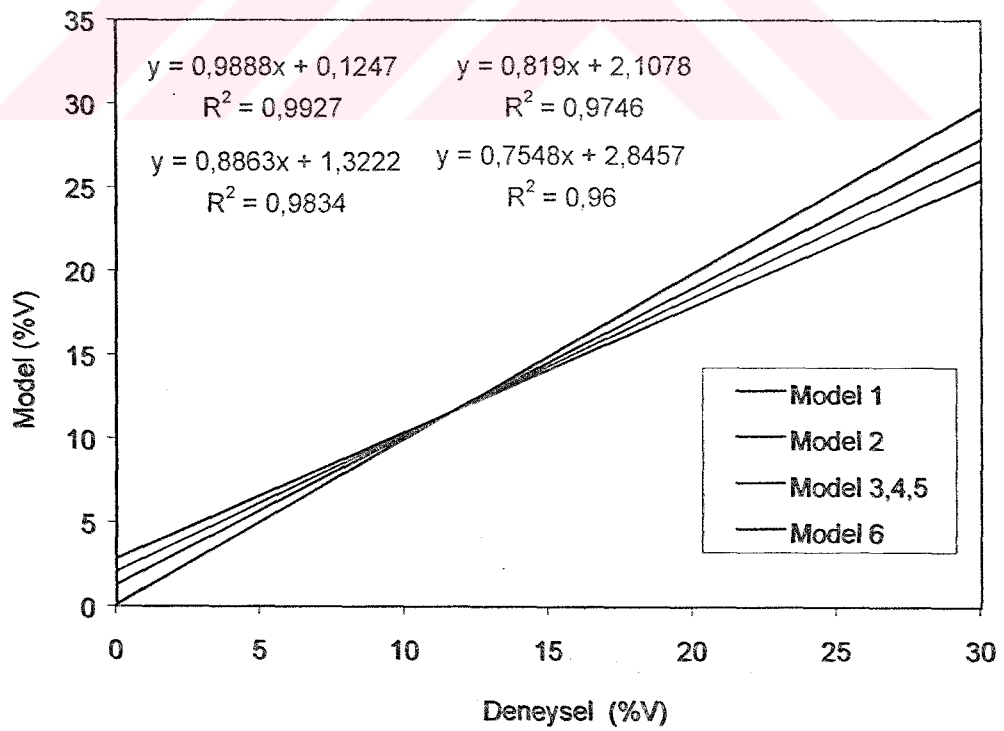
Çizelge 4.44. Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 İçin Modellerin Standart Hataları

Model	Zn	Fe
1	2.36	0.76
2	4.76	1.43
3.4.5	7.02	1.99
6	9.36	2.57

Optimum toplayıcı miktarını belirlemek için çalışılan dört farklı tane iriliğine ait 6 farklı modelin R^2 değerleri baz alınarak Duncan testi ile yapılan ikili karşılaştırma neticesinde; Zn için Model 1 ve Model 2 ortalamaları arasında bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda modeller içerisinde ortalama R^2 değeri en büyük, model standart hatası en küçük olan Model 1 toplayıcı miktarı için en ideal model olarak seçilmiştir. Fe için ise yine Model 1 ve Model 2 arasında fark bulunmaz iken. modeller içerisinde ortalama R^2 değeri en büyük, standart hatası en küçük model Fe içinde Model 1 olmuştur.



Şekil 4.19. Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarlarına Ait Zn İçin Deneyisel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.20. Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarlarına Ait Fe İçin Deneyisel-Model Verileri Arasındaki İlişki

4.5. Palp Katı Oranının Tespiti

Palp katı oranının sfalerit flotasyon kinetiğine olan etkisinin incelenmesi ve çalışılan flotasyon kolonu için optimum palp katı oranının tespiti amacıyla yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada, dört farklı palp katı oranı kullanılmıştır (%7.5, 10, 15 ve 20). Her bir palp katı oranı için cevher optimum şartlarda 10 dakika öğütülerek, %7.5 palp katı oranı deneyi için 3 kilo, %10 palp katı oranı deneyi için 4 kilo, %15 palp katı oranı deneyi için 6 kilo ve %20 palp katı oranı deneyi için ise 8 kilo numune hazırlanarak Çizelge 4.45’de verilen şartlarda flotasyon kolonunda deneylere tabi tutulmuştur. Konsantre alma süreleri olarak, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık yedi farklı süre kullanılmıştır.

Flotasyonun deneylerinde kümülatif bazda 20 dakikalık köpük alma süresi neticesinde; %7.5 palp katı oranının flotasyonunda; %94.35 verimle %29.75 Zn tenörlü konsantre, %17.24 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.47 Zn olmuştur. %10 palp katı oranının flotasyonunda; %90.98 verimle %39.42 Zn tenörlü konsantre, %12.48 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %2.25 Zn olmuştur. %15 palp katı oranının flotasyonunda; %88.04 verimle %42.58 Zn tenörlü konsantre, %11.67 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %2.39 Zn olmuştur. %20 palp katı oranının flotasyonunda ise; %91.20 verimle %43.12 Zn tenörlü konsantre, %1.78 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.91 Zn olmuştur (Ek 2).

Toplayıcı miktarının sfalerit flotasyonuna olan etkisi kinetik parametrelerin değişimi göz önüne alınarak incelenmiştir. Sfalerit cevheri pilot çapta yapılan kesikli flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen verim-zaman verilerine Çizelge 3.5’de verilen 6 farklı kinetik model için uyarlanmış (Şekil 4.21-4.24) ve her bir model için Zn ve Fe için elde edilen kinetik parametreler (k , R_∞), modife flotasyon hız sabiti (K_m) ve korelasyon katsayıları (R^2), Çizelge 4.46-4.51’de verilmiştir.

Çizelge 4.45. Palp Katı Oranın Tespiti İçin Yapılan Flotasyon Deney Şartları

Parametreler	
Köpük derinliği (cm)	Değişken
Yıkama suyu hızı (cm/sn)	Uygulanmadı
Bias (cm/sn)	0
Hava hızı (cm/sn)	2.20
d_{80} (mm)	0.125
Palp katı oranı (%Ağ)	7.5, 10, 15, 20
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
CuSO_4 (g/t)	575
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	300+300
Kondisyon Süresi (dk.)	15

Çizelgeler incelendiği zaman çalışılan palp katı oranları içinde %7.5 palp katı oranın Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.3165, 0.8435, 1.7660, 0.5662, 0.0060 ve 1.5430 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_∞) değerleri ise Model 1 için 0.9418, Model 2 için 0.8877, Model 3, 4, 5 için 0.8669 ve Model 6 için 0.8377 değerlerini almıştır. Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_∞) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_\infty$) modife flotasyon hız sabiti için ise %7.5 palp katı oranı modeller için sırasıyla 0.2986, 0.7486, 1.5309, 0.4908, 0.0052 ve 1.2926 değerlerini alırken, %20 palp katı oranın Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.3027, 0.8025, 1.8650, 0.5364, 0.0059 ve 1.1707 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_∞) değerleri ise Model 1 için 0.9098, Model 2 için 0.8552, Model 3, 4, 5 için 0.8342 ve Model 6 için 0.8052 değerlerini almıştır. Modife flotasyon hız sabiti için ise %20 palp katı oranı modeller için sırasıyla 0.2754, 0.6863, 1.5556, 0.4475, 0.0049 ve 1.1707 değerlerini almıştır.

Zn ve Fe' nin modife fotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerler değerleri ise Çizelge 4.52'de verilmiştir. Burada %7.5 palp katı oranı için Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 5.73, 6.33, 1.46, 6.83, 2.36

ve 7.43 değerlerini alırken, %20 palp katı oranı için 12.03, 13.07, 3.38, 14.03, 2.72 ve 15.20 değerlerini almıştır.

Flotasyon hız sabiti (k), sonsuz verim ve modife flotasyon hız sabiti açısından Zn için en yüksek değerleri Model 3 hariç %7.5 g/t palp katı oranı verirken, selektif indeksi açısından en küçük değerleri vermektedir. Selektif indeks değerleri açısından ise en iyi sonuçlar %20 palp katı oranında elde edilmiştir. Bu durumda optimum palp katı oranı olarak %20 oranı tespit edilmiştir.

Çizelge 4.46. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Palp Katı Oranı (%)	7.5		10		15		20	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.9418	0.3149	0.9053	0.2021	0.8702	0.1244	0.9098	0.1385
k	0.3165	0.1654	0.2655	0.1685	0.2229	0.1415	0.3027	0.1659
K_m	0.2986	0.0521	0.2404	0.0341	0.1939	0.0176	0.2754	0.0229
R^2	0.9930	0.9952	0.9992	0.9930	0.9978	0.9972	0.9982	0.9944

Çizelge 4.47. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Palp Katı Oranı (%)	7.5		10		15		20	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8875	0.2872	0.8443	0.1844	0.8035	0.1132	0.8552	0.1265
k	0.8435	0.4120	0.6945	0.4200	0.5725	0.3470	0.8025	0.4150
K_m	0.7486	0.1183	0.5864	0.0774	0.4600	0.0393	0.6863	0.0525
R^2	0.9855	0.9828	0.9918	0.9835	0.9893	0.9819	0.9908	0.9801

Çizelge 4.48. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Palp Katı Oranı (%)	7.5		10		15		20	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8669	0.2745	0.8205	0.1763	0.7764	0.1076	0.8342	0.1208
k	1.7660	3.8060	2.1760	3.7410	2.6800	4.5800	1.8650	3.8000
K_m	1.5309	1.0451	1.7854	0.6595	2.0807	0.4928	1.5556	0.4590
R^2	0.9740	0.9712	0.9804	0.9758	0.9771	0.9670	0.9825	0.9704

Çizelge 4.49. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Palp Katı Oranı (%)	7.5		10		15		20	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8669	0.2745	0.8205	0.1764	0.7763	0.1075	0.8342	0.1209
k	0.5662	0.2620	0.4595	0.2680	0.3730	0.2180	0.5364	0.2635
K_m	0.4908	0.0719	0.3770	0.0472	0.2896	0.0234	0.4475	0.0319
R^2	0.9740	0.9714	0.9804	0.9758	0.9771	0.9670	0.9825	0.9704

Çizelge 4.50. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

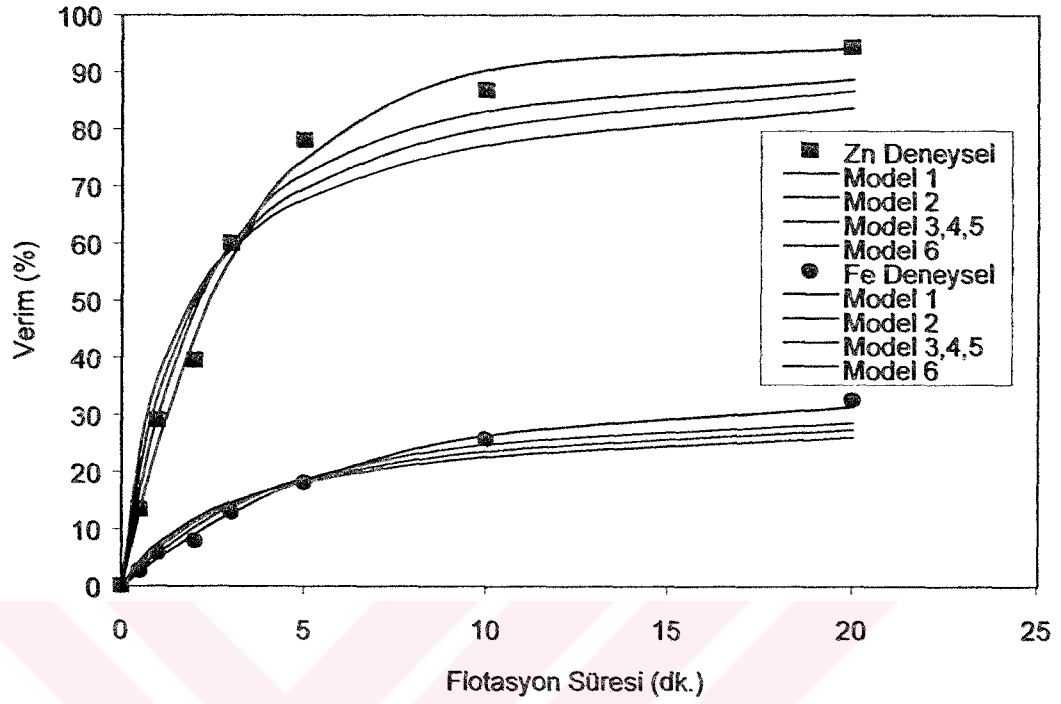
Palp Katı Oranı (%)	7.5		10		15		20	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8669	0.2745	0.8203	0.1764	0.7763	0.1075	0.8342	0.1209
k	0.0060	0.0080	0.0050	0.0128	0.0042	0.0165	0.0059	0.0183
K_m	0.0052	0.0022	0.0041	0.0023	0.0033	0.0018	0.0049	0.0022
R^2	0.9740	0.9714	0.9804	0.9758	0.9771	0.9670	0.9825	0.9704

Çizelge 4.51. Model 6'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

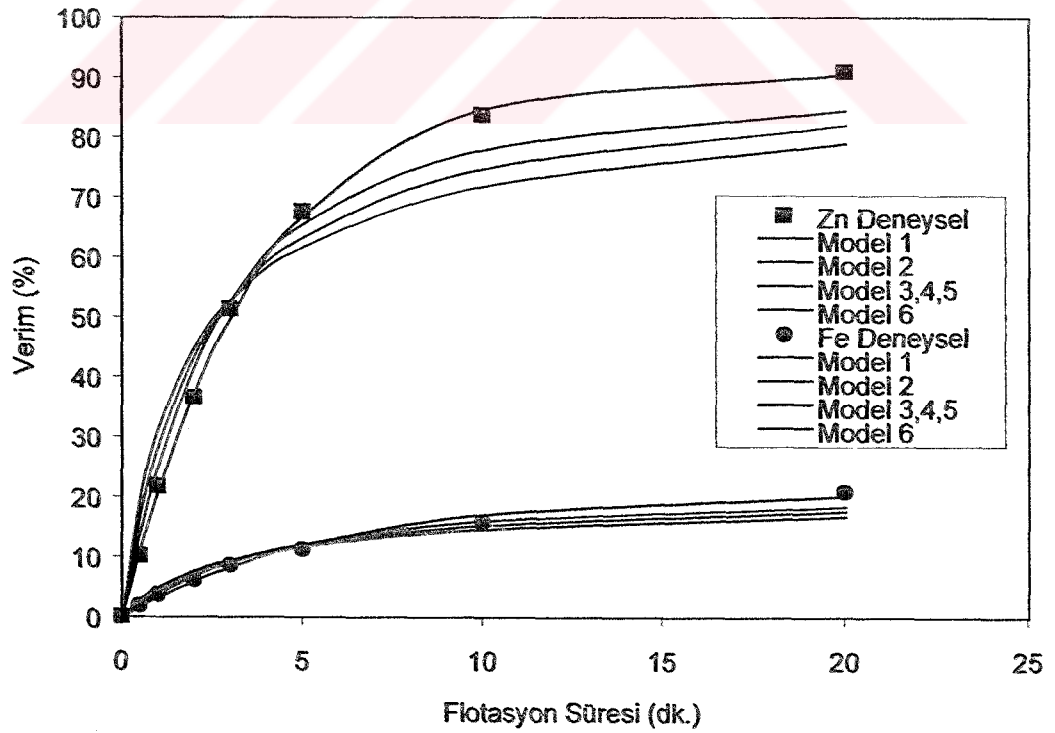
Palp Katı Oranı (%)	%7.5		%10		%15		%20	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8377	0.2615	0.7895	0.1680	0.7441	0.1021	0.8052	0.1151
k	1.5430	0.6650	1.2250	0.6800	0.9760	0.5450	1.4540	0.6690
K_m	1.2926	0.1738	0.9671	0.1152	0.7262	0.0556	1.1707	0.0770
R^2	0.9547	0.9541	0.9618	0.9616	0.9586	0.9475	0.9654	0.9543

Çizelge 4.52. Palp Katı Oranlarına Ait Selektif İndeksleri

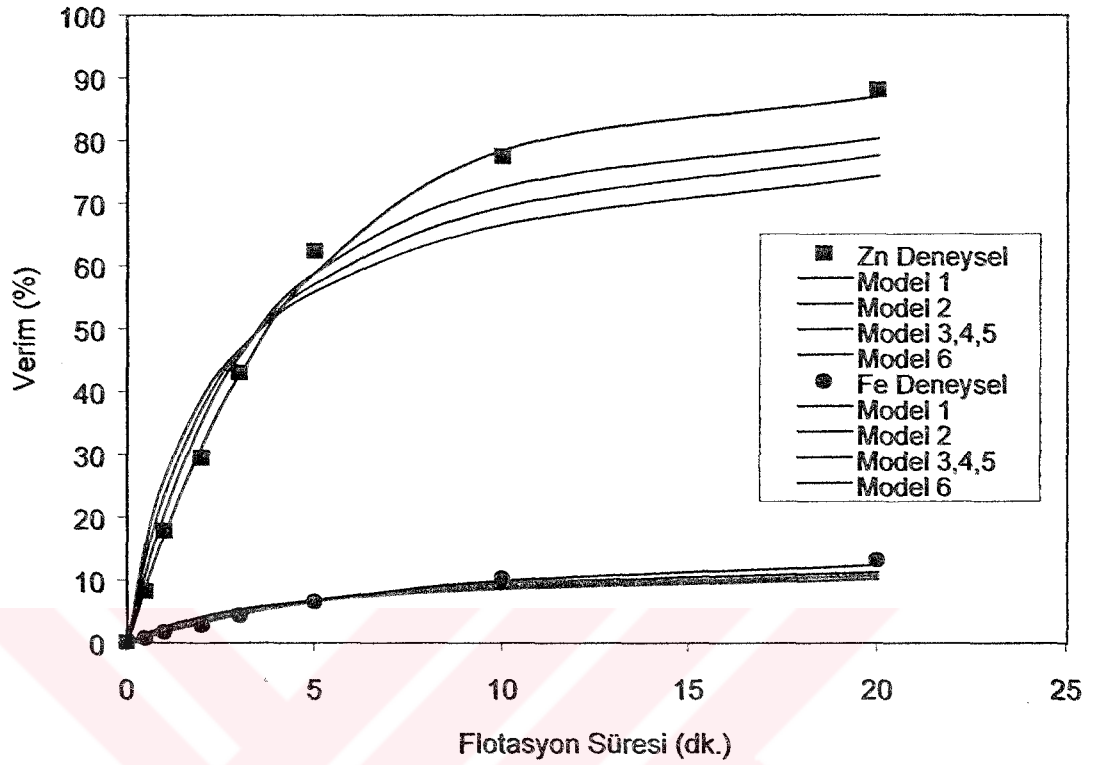
Model	%7.5	%10	%15	%20
1	5.73	7.05	11.02	12.03
2	6.33	7.58	11.70	13.07
3	1.46	2.71	4.22	3.38
4	6.83	7.98	12.38	14.03
5	2.36	1.78	1.83	2.72
6	7.43	8.46	13.06	15.20



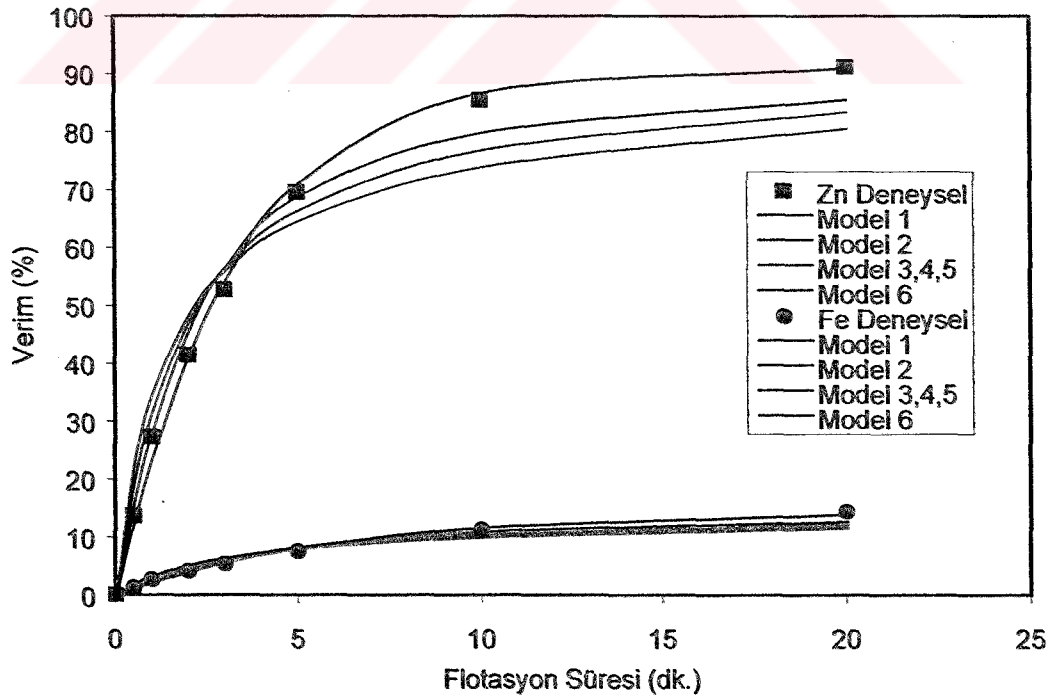
Şekil 4.21. %7.5 Palp Katı Oranı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.22. %10 Palp Katı Oranı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.23. %15 Palp Katı Oranı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.24. %20 Palp Katı Oranı İçin Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları

Palp Katı Oranı İçin Model Belirleme

Model belirlemede ilk adım olarak dört farklı palp katı oranı için, altı farklı flotasyon kinetik modelinden Zn ve Fe için elde edilen korelasyon katsayıları Çizelge 4.53’de topluca verilmiştir. Söz konusu katsayı ortalamalarının birbirinden farklı olup olmadıkları Varyans analizinden yararlanılarak tespit edilmiş ve varyans analiz tablosu düzenlenmiştir (Çizelge 4.54). Varyans analizinde kurulabilecek sıfır hipotezi ve alternatif hipotez aşağıdaki gibi olup %5 ($\alpha=0.05$) önem seviyesine göre değerlendirilmiştir. Zn ve Fe için hesaplanan test istatistiği değerlerinin (66.37 ve 75.00) kritik F değerinden (3.95) büyük olması nedeniyle H_1 hipotezi geçerli olmuş ve modellerden elde edilen korelasyon katsayılarının birbirinden farklı olduğuna karar verilmiştir.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

H_1 : En az iki ana kütle ortalaması birbirine eşit değildir.

Çizelge 4.53. Dört Farklı Palp Katı Oranın Altı Model İçin Korelasyon Katsayıları (R^2)

Palp Katı Oranı (%)	Model 1		Model 2		Model 3, 4, 5		Model 6	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
7.5	0.9930	0.9954	0.9855	0.9829	0.9740	0.9714	0.9548	0.9541
10	0.9992	0.9930	0.9918	0.9835	0.9804	0.9758	0.9618	0.9616
15	0.9978	0.9972	0.9893	0.9819	0.9771	0.9670	0.9586	0.9475
20	0.9982	0.9944	0.9908	0.9801	0.9825	0.9704	0.9653	0.9543

Çizelge 4.54. Palp Katı Oranı İçin Varyans Analizi

Element	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği (F)	F (%5)
Zn	Modeller Arası	3.1×10^{-3}	3	1.03×10^{-3}	66.37	3.49
	Modeller İçi	2.0×10^{-4}	12	1.6×10^{-5}		
	Toplam	3.3×10^{-3}	15			
Fe	Modeller Arası	3.6×10^{-3}	3	1.2×10^{-3}	75.00	
	Modeller İçi	2.0×10^{-4}	12	1.6×10^{-5}		
	Toplam	4.9×10^{-4}	15			

Yapılan Duncan testi neticesinde (Çizelge 4.55); Zn ve Fe için Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=5.5 \times 10^{-3}$ ile mukayese edildiğinde ortalamalar arasındaki fark anlamlı bulunurken, Model 4 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_3=5.5 \times 10^{-3}$ değeri ile karşılaştırıldığında bu ikililerin ortalamaları arasında anlamlı bir fark görülmüştür. Son olarak Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=6.0 \times 10^{-3}$ ile mukayese edildiğinde söz konusu modeller arasında da anlamlı bir fark ortaya çıkmıştır.

Çizelge 4.55. Palp Katı Oranı İçin Duncan Testi

m	2		3		4	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
r_m	3.080	3.080	3.225	3.225	3.313	3.313
R_m	5.5×10^{-3}	5.5×10^{-3}	5.8×10^{-3}	5.8×10^{-3}	6.0×10^{-3}	6.0×10^{-3}

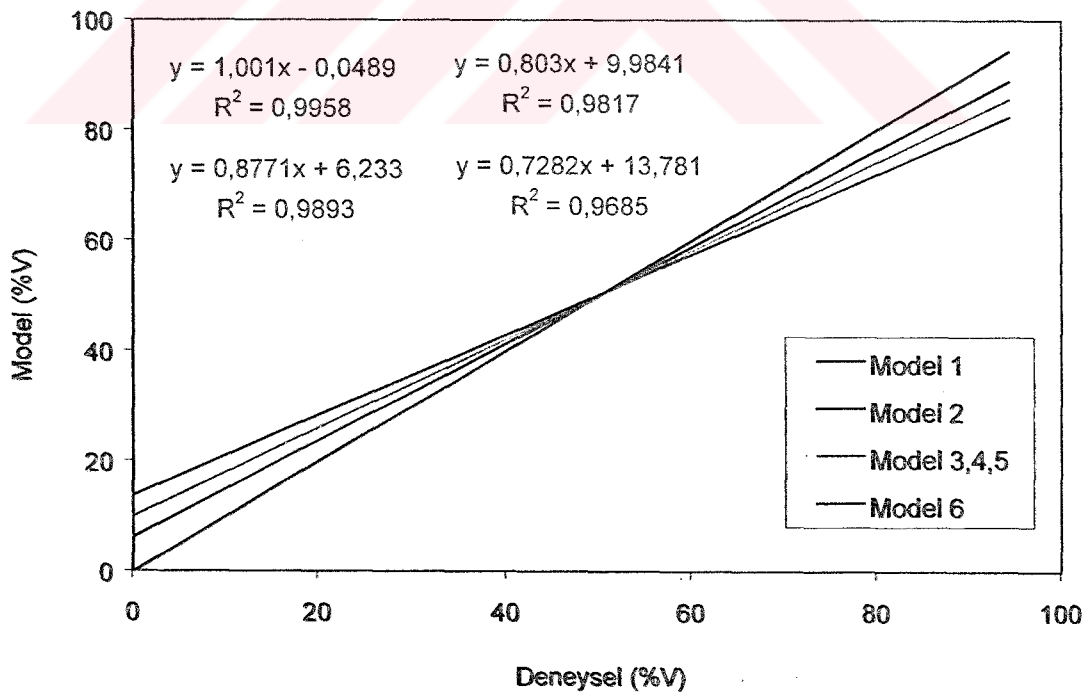
Dört farklı palp katı oranına ait toplu deneysel % verim değerleri ile her bir model için elde edilen % verim değerlerinin (Ek 3) birlikte gösterilmesi için çizilen deneysel (%V)-model (%V) serpilme diyagramları lineer bir regresyon serpilmesi şeklinde kendini göstermiş ve bu serpilmeye en iyi uyumu gösteren lineer doğruların

Zn ve Fe için matematiksel denklemleri ve R^2 değerleri ile birlikte Şekil 4.25-4.26'da sırasıyla verilmiştir. Zn ve Fe için söz konusu bu toplam deneysel veriler ile model verileri arasındaki standart hata değerleri ise her bir model için Çizelge 4.56'da verilmiştir.

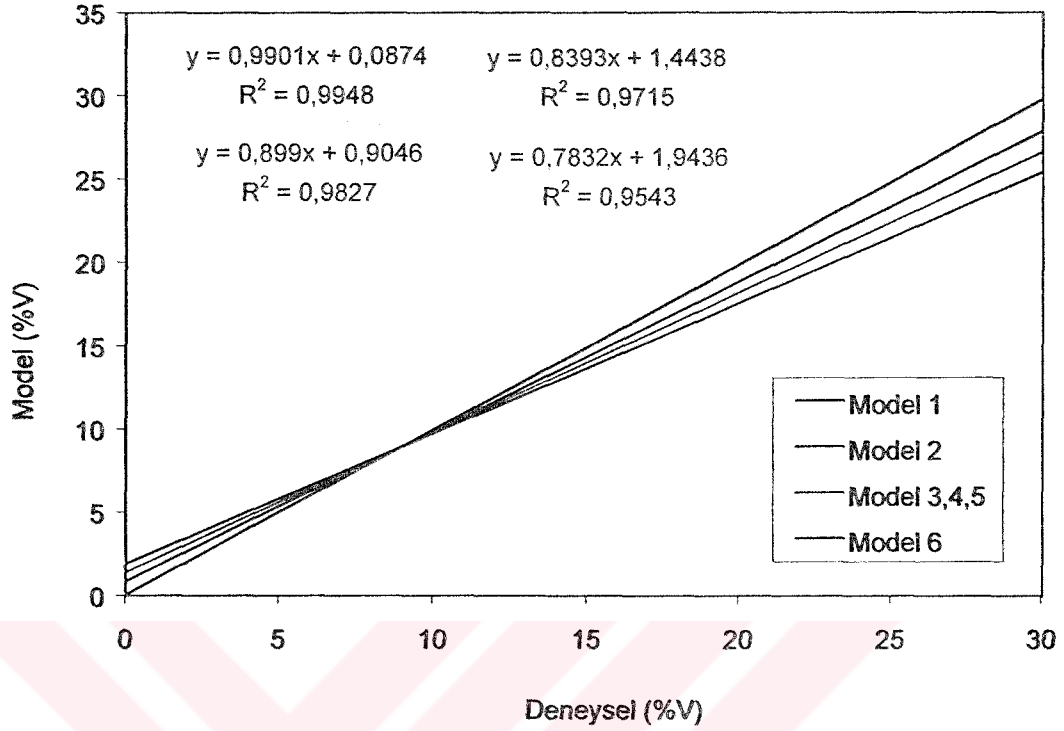
Çizelge 4.56. Palp Katı Oranı İçin Modellerin Standart Hataları

Model	Zn	Fe
1	1.91	0.56
2	4.50	1.21
3, 4, 5	6.64	1.67
6	8.89	2.14

Optimum palp katı oranını belirlemek için çalışılan dört farklı palp katı oranı için altı farklı modelin R^2 değerleri baz alınarak Duncan testi ile yapılan ikili karşılaştırma neticesinde; Zn için bütün model ortalamalarının birbirinden farklı olduğu tespit edilmiştir. Bu durumda modeller içerisinde ortalama R^2 değeri en büyük, model standart hatası en küçük olan Model 1 palp katı oranı için en ideal model olarak seçilmiştir. Fe'de Zn'den elde edilen sonucun aynısı elde edilmiştir.



Şekil 4.25. Palp Katı Oranlarına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.26. Palp Katı Oranlarına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki

4.6. Yıkama Suyu Hızının Tespiti

Yıkama suyu hızının sfalerit flotasyon kinetiğine olan etkisinin incelenmesi ve çalışılan flotasyon kolonu için optimum yıkama suyu hızının tespiti amacıyla yönelik olarak gerçekleştirilen çalışmada, dört farklı yıkama suyu hızı kullanılmıştır (0, 0.5, 0.75 ve 1.25 L/dk.) Her bir yıkama suyu hızı için optimum şartlarda 10 dakika öğütülerek üçer kilo numune hazırlanarak Çizelge 4.57’de verilen şartlarda flotasyon kolonunda deneylere tabi tutulmuştur. Konsantre alma süreleri olarak 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık yedi farklı süre kullanılmıştır.

Flotasyon deneylerinde kümülatif bazda 20 dakikalık köpük alma süresi neticesinde; 0 L/dk. yıkama suyu hızında; %94.35 verimle %29.35 Zn tenörlü konsantre %17.24 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.47 Zn olmuştur. 0.5 L/dk. yıkama suyu hızında flotasyonunda; %94.65 verimle %38.71 Zn tenörlü konsantre, %11.38 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %0.97 Zn olmuştur. 0.75 L/dk. yıkama suyu hızının flotasyonunda ise; %91.57 verimle %36.70

Zn tenörlü konsantre, %11.65 Fe tenörlü olarak alınırken artığın çinko tenörü %1.78 Zn olmuştur (Ek 2). 1.25 L/dk. yıkama suyu hız deneyinde; flotasyonun 3. dakikasından sonra konsantre alınamamış ve deney tekrar edilmiş fakat yine aynı sonuç elde edilmiştir.

Yıkama suyu hızının sfalerit flotasyonuna olan etkisi kinetik parametrelerin değişimi göz önüne alınarak incelenmiştir. Sfalerit cevheri pilot çapta yapılan flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen verim-zaman verilerine Çizelge 3.5'deki 6 farklı kinetik model uyarlanmış (Şekil 4.27-4.29) ve her bir model için Zn ve Fe için elde edilen kinetik parametreler (k , R_∞) ile modife flotasyon hız sabiti (K_m) ve korelasyon katsayıları (R^2) Çizelge 4.58-4.63'de verilmiştir.

Çizelgeler incelendiği zaman çalışılan yıkama suyu hızları içinde 0.5 L/dak. yıkama suyu hızının Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.4477, 1.2456, 1.1574, 0.8645, 0.0091 ve 2.4640 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_∞) ise Model 1 için 0.9463, Model 2 için 0.9085, Model 3, 4, 5 için 0.8947 ve Model 6 için 0.8713 değerlerini almıştır. k değerleri açısından söz konusu yıkama suyu hızı için Model 3 hariç en iyi değerleri alırken, R_∞ değerleri açısından ise bütün modellerde en iyi sonucu almıştır.

Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_∞) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_\infty$) modife flotasyon hız sabiti için ise 0.5 L/dk yıkama suyu hızı modeller için sırasıyla 0.4236, 1.1316, 1.0355, 0.7736, 0.0081 ve 2.1469 değerleri ile Model 3 hariç diğer beş modelde yine en iyi sonuçlar bu yıkama suyu hızında alınmıştır.

Zn ve Fe'nin modife fotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerleri ise Çizelge 4.64'de verilmiştir. Burada 0.5 L/dk. yıkama suyu hızı Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 12.91, 14.98, 2.41, 16.45, 2.79 ve 18.46 değerlerini alarak Model 5 hariç diğer beş model için en iyi sonucu vermiştir. Bu durumda optimum yıkama suyu hızı olarak 0.5 L/dk. yıkama suyu hızı belirlenmiştir.

Çizelge 4.57. Yıkama Suyu İçin Flotasyon Deney Şartları

Parametreler	
Köpük derinliği (m)	Değişken
Yıkama suyu hızı (L /dk.)	0, 0.5, 0.75 ve 1.25
Bias (cm/sn)	0, 0.06, 0.09, 0.15
Hava hızı (cm/sn)	2.20
d_{80} (mm)	0.125
Palp katı oranı (%)	7.5
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
CuSO_4 (g/t)	575
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	300+300
Kondisyon süresi (dk.)	15

Çizelge 4.58. Model 1'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Yıkama Suyu Hızı (L/dk.)	0		0.5		0.75	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_∞	0.9418	0.3149	0.9463	0.1607	0.9133	0.1786
k	0.3165	0.1654	0.4477	0.2015	0.3049	0.1396
K_m	0.2986	0.0521	0.4236	0.0328	0.2785	0.0249
R^2	0.9930	0.9952	0.9978	0.9925	0.9973	0.9903

Çizelge 4.59. Model 2'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Yıkama Suyu Hızı (L/dk.)	0		0.5		0.75	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8875	0.2872	0.9085	0.1477	0.8588	0.1625
k	0.8435	0.4120	1.2456	0.5130	0.8090	0.3420
K_m	0.7486	0.1183	1.1316	0.0755	0.6948	0.0573
R^2	0.9855	0.9828	0.9944	0.9877	0.9880	0.9708

Çizelge 4.60. Model 3'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Yıkama Suyu Hızı (L/dk.)	0		0.5		0.75	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8669	0.2746	0.8947	0.1421	0.8380	0.1544
k	1.7660	3.8060	1.1574	3.0200	1.8460	4.6500
K_m	1.5309	1.0451	1.0355	0.4291	1.5469	0.7178
R^2	0.9740	0.9712	0.9827	0.9822	0.9789	0.9571

Çizelge 4.61. Model 4'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

Yıkama Suyu Hızı (L/dk.)	0		0.5		0.75	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8669	0.2745	0.8947	0.1421	0.8380	0.1544
k	0.5662	0.2620	0.8645	0.3310	0.5415	0.2150
K_m	0.4908	0.0719	0.7736	0.0470	0.4538	0.0332
R^2	0.9740	0.9714	0.9827	0.9822	0.9789	0.9571

Çizelge 4.62. Model 5'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

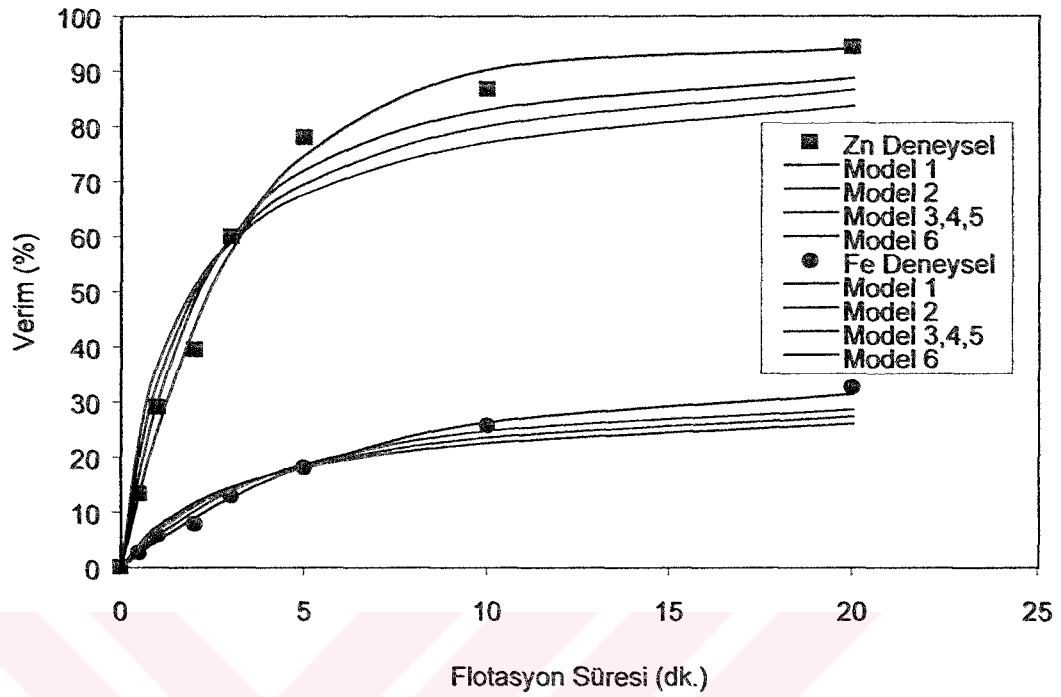
Yıkama Suyu Hızı (L/dk.)	0		0.5		0.75	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8669	0.2745	0.8947	0.1421	0.8380	0.1544
k	0.0060	0.0080	0.0091	0.0203	0.0059	0.0113
K_m	0.0052	0.0022	0.0081	0.0029	0.0049	0.0014
R^2	0.9740	0.9714	0.9827	0.9822	0.9789	0.9571

Çizelge 4.63. Model 6'den Zn ve Fe İçin Elde Edilen Model Parametreleri ve Korelasyon Katsayıları

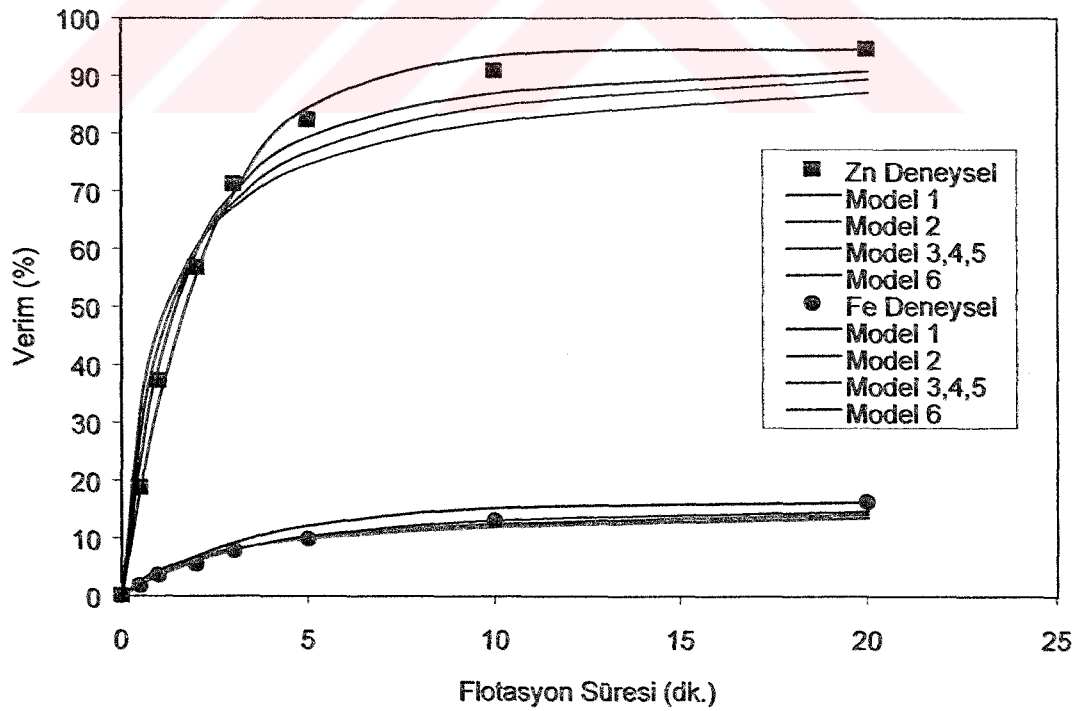
Yıkama Suyu Hızı (L/dk.)	0		0.5.		0.75	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0.8377	0.2615	0.8713	0.1359	0.8090	0.1467
k	1.5430	0.6650	2.4640	0.8560	1.4690	0.5370
K_m	1.2926	0.1739	2.1469	0.1163	1.1884	0.0788
R^2	0.9547	0.9541	0.9614	0.9692	0.9616	0.9387

Çizelge 4.64. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Selektif İndeksleri

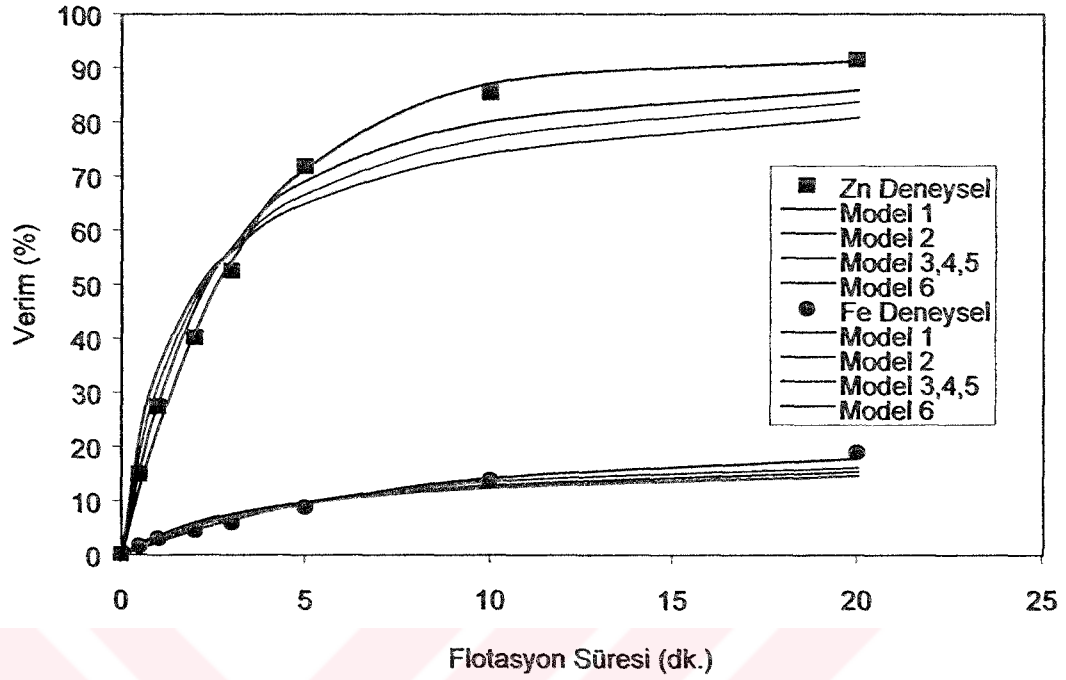
Model	0 L/dk.	0.5 L/dk.	0.75 L/dk.
1	5.73	12.91	11.18
2	6.32	14.98	12.12
3	1.46	2.41	2.15
4	6.83	16.45	13.67
5	2.36	2.79	3.50
6	7.43	18.46	15.08



Şekil 4.27. 0 L/dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.28. 0.50 L/dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



Şekil 4.29. 0.75 L/dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları

Yıkama Suyu Hızı İçin Model Belirleme

Model belirlemede ilk adım olarak üç farklı yıkama suyu hızı için altı farklı flotasyon kinetik modelinden Zn ve Fe için elde edilen korelasyon katsayıları Çizelge 4.65’de topluca verilmiştir. Söz konusu katsayıların ortalamalarının birbirinden farklı olup olmadıkları Varyans analizinden yararlanılarak tespit edilmiş ve varyans analiz tablosu düzenlenmiştir (Çizelge 4.66). Varyans analizinde kurulabilecek sıfır hipotezi ve alternatif hipotez aşağıdaki gibi olup %5 ($\alpha=0.05$) önem seviyesine göre değerlendirilmiştir. Zn ve Fe için hesaplanan test istatistiği değerlerinin (64.00 ve 6.40) kritik F değerinden (3.95) büyük olması nedeniyle H_1 hipotezi geçerli olmuş ve modellerden elde edilen korelasyon katsayılarının en az ikisinin korelasyon katsayısının ortalamasının birbirinden farklı olduğuna karar verilmiştir.

$$H_0: \mu_1=\mu_2=\mu_3=\mu_4$$

H_1 : En az iki ana kütle ortalaması birbirine eşit değildir.

Çizelge 4.65. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Korelasyon Katsayıları (R^2)

Yıkama Suyu Hızı (L/dk)	Model 1		Model 2		Model 3, 4, 5		Model 6	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
0.	0.9930	0.9954	0.9855	0.9828	0.9740	0.9714	0.9548	0.9541
0.5	0.9978	0.9925	0.9944	0.9877	0.9827	0.9822	0.9614	0.9692
0.75	0.9973	0.9903	0.9880	0.9708	0.9789	0.9571	0.9616	0.9387

Çizelge 4.66. Yıkama Suyu Hızı İçin Varyans Analizi

Element	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	Test İstatistiği (F)	F (%5)
Zn	Modeller Arası	2.4×10^{-3}	3	8.0×10^{-4}	64.00	3.49
	Modeller İçi	1.0×10^{-4}	8	1.25×10^{-5}		
	Toplam	2.5×10^{-3}	11			
Fe	Modeller Arası	2.40×10^{-3}	3	8.0×10^{-3}	6.40	
	Modeller İçi	1.0×10^{-3}	8	1.25×10^{-4}		
	Toplam	3.4×10^{-4}	11			

Yıkama suyu hızı için yapılan Duncan testi neticesinde (Çizelge 4.67); Zn için Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalamalarının arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=7.5 \times 10^{-3}$ değeri ile mukayese edildiğinde Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2 ortalamaları arasındaki fark anlamlı bulunurken, Model 2 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır. Model 6 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_3=7.7 \times 10^{-3}$ mukayese edilmesi sonucu bunlar arasında da anlamlı bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Son olarak Model 6 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=8.0 \times 10^{-3}$ ile mukayese edildiğinde de söz konusu modeller arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

Fe için ise Model 6 ve Model 3, 4, 5; Model 3, 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalamalarının arasındaki fark, $m=2$ için hesaplanan $R_2=0.021$ değeri ile mukayese edildiğinde Model ortalamaları arasındaki fark anlamlı bulunmamıştır. Model 3 ve Model 2; Model 3, 4, 5 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=3$ için hesaplanan $R_3=0.021$ mukayese edilmesi sonucu bunlar arasında da anlamlı bir farkın olduğu tespit edilmiştir. Son olarak Model 6 ve Model 1 ortalamaları arasındaki fark, $m=4$ için hesaplanan $R_4=0.022$ ile mukayese edildiğinde de söz konusu modeller arasında anlamlı bir fark tespit edilmiştir.

Çizelge 4.67. Yıkama Suyu Hızı İçin Duncan Testi

m	2		3		4	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
r_m	3.261	3.261	3.339	3.339	3.475	3.475
R_m	7.5×10^{-3}	0.021	7.7×10^{-3}	0.021	8.0×10^{-3}	0.022

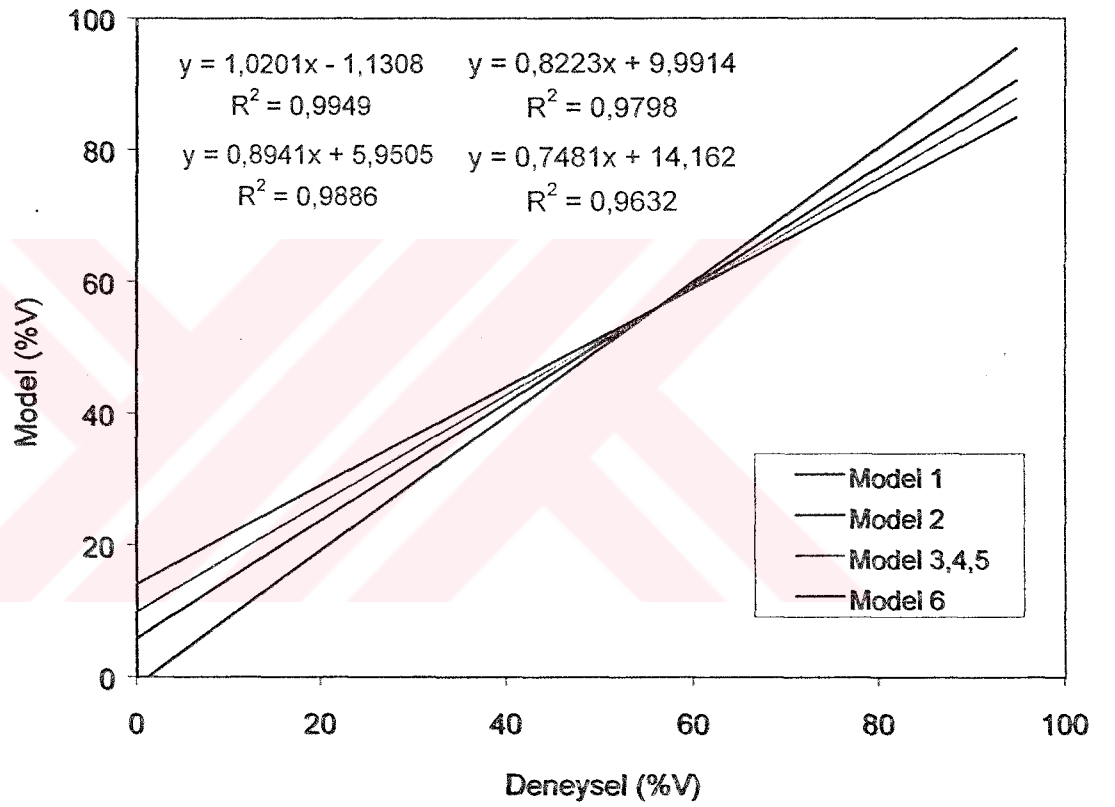
Üç farklı yıkama suyu hızının toplu deneysel %verim değerleri ile her bir model için elde edilen %verim değerlerinin (Ek 3) birlikte gösterilmesi için çizilen deneysel (%V)-model (%V) serpilme diyagramları lineer bir regresyon serpilmesi şeklinde kendini göstermiş ve bu serpilmeye en iyi uyumu gösteren lineer doğruların Zn ve Fe için matematiksel denklemleri ve R^2 değerleri ile birlikte Şekil 4.30-4.31’de sırasıyla verilmiştir. Zn ve Fe için söz konusu bu toplam deneysel veriler ile model verileri arasındaki standart hata değerleri ise her bir model için Çizelge 4.68’de verilmiştir.

Çizelge 4.68. Yıkama Suyu Hızı İçin Modellerin Standart Hataları

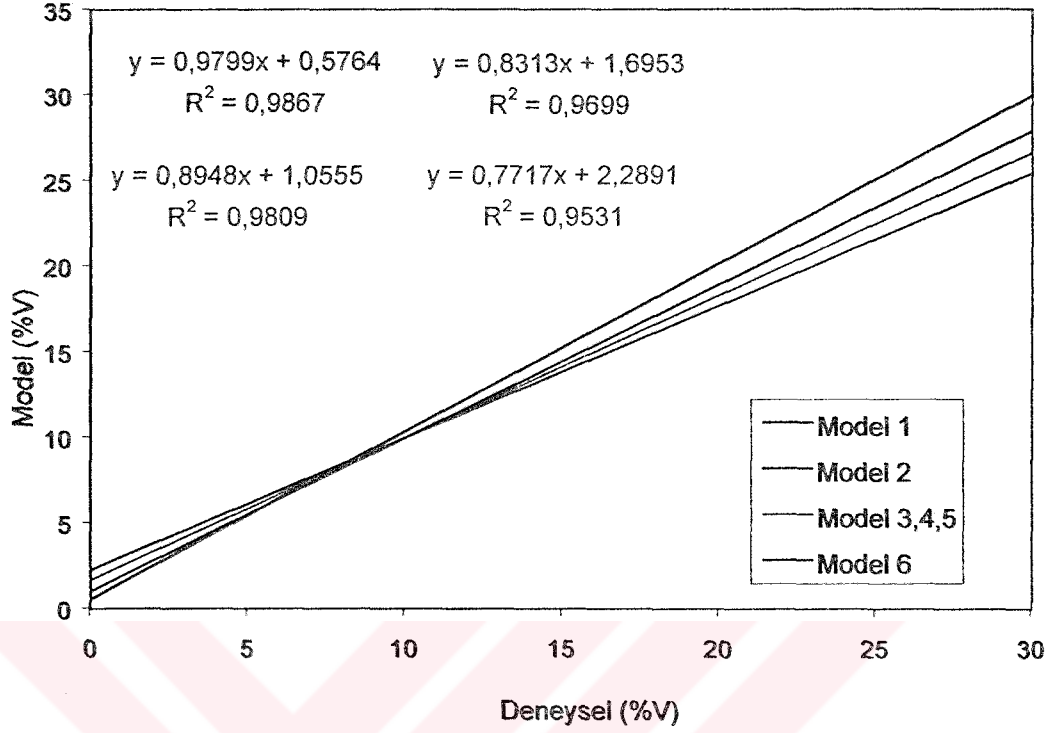
Model	Zn	Fe
1	1.96	0.88
2	3.70	1.16
3, 4, 5	5.12	1.39
6	7.53	2.03

Optimum yıkama suyu hızının belirlenmesi için çalışılan üç farklı yıkama suyuna ait altı farklı modelin R^2 değerleri baz alınarak Duncan testi ile yapılan ikili

karşılaştırma neticesinde; Zn için Model 1 ve Model 2 ortalamaları arasında arasında bir farklılığın olmadığı tespit edilmiştir. Bu durumda modeller içerisinde ortalama R^2 değeri en büyük, model standart hatası en küçük olan Model 1 yıkama suyu hızı için en ideal model olarak seçilmiştir. Fe için ise yine Model 6 ve Model 3 4, 5; Model 3 4, 5 ve Model 2; Model 2 ve Model 1 ortalama R^2 değerleri arasında fark bulunmaz ikeniken modeller içerisinde ortalama R^2 değeri en büyük, standart hatası en küçük model Fe içinde Model 1 olmuştur.



Şekil 4.30. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.31. Yıkama Suyu Hızlarına Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki

4.7. Temizleme Flotasyonu

Kaba flotasyon deneysel çalışmaları neticesinde belirlenen toplayıcı cinsi ve miktarı, tane iriliği, hava hızı, palp katı oranı ve yıkama suyu hızı değerleri Çizelge 4.69’da verilmiştir. Optimum kaba flotasyon şartlarında iki adet flotasyon deneyi gerçekleştirilmiş ve bu iki deneyin konsantreleri birleştirilerek temizleme flotasyonuna tabi tutulmuştur. Cevher $d_{80}=0.125$ mm boyutuna öğütülerek her bir deney için 8’er kilo numune hazırlanmıştır. Konsantre alma süreleri olarak 0.5, 1, 2, 3, 5, 10 ve 20 dakikalık süreler kullanılmıştır. Optimum şartlarda yapılan flotasyon deney sonuçlarının değerlendirilmesi iki deney sonucunun aritmetik ortalamaları alınarak yapılmıştır. Bu sonuca göre; 20 dakikalık flotasyon neticesinde; %93.26 verimle %46.15 Zn tenörlü konsantre, %10.97 Fe tenörlü olarak alınmıştır (Ek 2).

Optimum şartlarda gerçekleştirilen sfalerit flotasyonun kinetik parametrelerinin incelenmesi flotasyon deneyleri neticesinde elde edilen verim-zaman verilerine Çizelge 3.5’de verilen 6 farklı kinetik modelin uyarlanması ile

yapılmıştır (Şekil 4.33). Her bir modele ait kinetik parametre değerleri (k , R_{∞}), modife flotasyon hız sabitleri (K_m), korelasyon katsayıları (R^2) ve selektif indeks değerleri Çizelge 4.70-4.71’de verilmiştir.

Çizelgeler incelendiği zaman, optimum şartlarda yapılan flotasyon deney sonucunda Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.3762, 1.0905, 1.4350, 0.6978, 0.0075 ve 1.9440 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_{∞}) değerleri ise Model 1 için 0.9336, Model 2 için 0.8913, Model 3, 4, 5 için 0.8716 ve Model 6 için 0.8456 olmuştur. Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_{∞}) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_{\infty}$) modife flotasyon hız sabiti için ise; modeller için sırasıyla 0.3512, 0.9720, 1.2507, 0.6082 0.0065 ve 1.6438 değerleri almıştır. Zn ve Fe’nin modife fotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerleri ise Model 1, 2, 3 ,4, 5 ve 6 için sırasıyla 13.86, 14.87, 2.67, 14.21, 2.50 ve 15.56 olmuştur.

Çizelge 4.69. Optimum Kaba Flotasyon Deney Şartları

Parametre	Değişken
Köpük derinliği (cm)	
Yıkama suyu hızı (L/dak.)	0.5
Palp katı oranı (%)	20
d_{80} (mm)	0.125
Bias (cm/s)	+0.06
Hava hızı (cm/s)	1.30
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
CuSO_4 (g/t)	575
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	500
Kondisyon süresi (dk.)	15

Çizelge 4.70. Optimum Şartlarda Yapılan Flotasyon Deney Sonuçlarının Model 1, 2, 3'e Ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri

	Model 1		Model 2		Model 3	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0,9336	0,1612	0,8913	0,1476	0,8716	0,1417
k	0,3762	0,1572	1,0905	0,4430	1,4350	3,300
K_m	0,3512	0,0253	0,9720	0,0665	1,2507	0,4676
R^2	0,9956	0,9906	0,9870	0,9823	0,9827	0,9755
SI	13.86		14.87		2.67	

Çizelge 4.71. Optimum Şartlarda Yapılan Flotasyon Deney Sonuçlarının Model 4, 5, 6'ya Ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri

	Model 4		Model 5		Model 6	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_{∞}	0,8716	0,1417	0,8716	0,14.18	0.8456	0.1354
k	0,6978	0,3020	0,0075	0.0184	1.9440	0.7800
K_m	0,6082	0,0428	0,0065	0,0260	1.6438	0.1056
R^2	0,9825	0,9761	0,9825	0,9756	0.9649	0.9620
SI	14.21		2,50		15.56	

Optimum şartlarda gerçekleştirilen flotasyon için model belirlemede korelasyon katsayıları (R^2) ve model standart hatalarından yararlanılmıştır. Çizelge 4.70-4.71'de verilen modellere ait korelasyon katsayıları içinde Model 1 Zn için 0.9956, Fe için ise 0.9906 değerlerini alarak modeller içinde en yüksek korelasyon katsayısına sahip olmuştur. Deneysel (%V) ve model (%V) (Şekil 4.36-4.37, Ek 3) baz alınarak hesaplanan ve Çizelge 4.72'de verilen model standart hataları içinde Zn ve Fe için en küçük değerleri Model 1 vermiştir. Bu durumda optimum şartlarda gerçekleştirilen flotasyon için Zn baz alındığında en ideal olarak Model 1 belirlenmiştir.

Çizelge 4.72. Optimum Şartlar İçin Model Standart Hataları

Model	Zn	Fe
1	2.47	0.56
2	4.05	0.74
3, 4, 5	5.25	0.99
6	7.44	1.31

Çizelge 4.73’de verilen şartlarda 0.5, 1, 2, 3, 5 ve 10 dakikalık süreler kullanılarak yapılan temizleme flotasyonunu neticesinde elde edilen sonuçlarının (Ek 2) verim-zaman verilerine Çizelge 3.5’de verilen 6 farklı kinetik model uyarlanmış (Şekil 3.34) ve her bir model için Zn ve Fe için elde edilen kinetik parametreler (k , R_{∞}) ile modife flotasyon hız sabiti (K_m) ve korelasyon katsayıları (R^2), ve selektif indeks değerleri Çizelge 4.74-4.75’de verilmiştir.

Çizelge 4.74-4.75 incelendiği zaman temizleme flotasyon deney sonucunda Zn bazında flotasyon hız sabiti (k) değerleri, Model 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 için sırasıyla 0.3967, 1.0490, 1.4150, 0.7060, 0.0085 ve 1.9146 değerlerini alır iken, sonsuz verim (R_{∞}) değerleri ise Model 1 için 0.8135, Model 2 için 0.7502, Model 3, 4, 5 için 0.7264 ve Model 6 için 0.6991 olmuştur. Flotasyon hız sabiti (k) ile sonsuz verim (R_{∞}) değerlerinin çarpımından elde edilen ($k \cdot R_{\infty}$) modife flotasyon hız sabiti için ise; modeller için sırasıyla 0.3225, 0.7877, 1.0279, 0.5128 0.0062 ve 1.3385 değerleri alınmıştır. Zn ve Fe’nin modife fotasyon hız sabitlerinin bölünmesi neticesinde elde edilen selektif indeks değerler değerleri ise Model 1, 2, 3 ,4, 5 ve 6 için sırasıyla 1.77, 1.82, 1.33, 1.85, 1.19 ve 1.89 değerlerini almıştır.

Temizleme flotasyonu için model belirlemede korelasyon katsayıları (R^2) ve model standart hatalarından yararlanılmıştır. Çizelge 4.74-4.75’de verilen modellere ait korelasyon katsayıları içinde Model 1 Zn için 0.9946, Fe için ise 0.9952 değerlerini alarak modeller içinde en yüksek korelasyon katsayısına sahip olmuştur. DeneySEL (%V) ve model (%V) (Şekil 4.37-4.38, Ek 3) baz alınarak hesaplanan ve Çizelge 4.72’de verilen model standart hataları içinde Model 1 Zn ve Fe için en küçük değerleri almıştır. Bu durumda temizleme flotasyonu için en Zn baz alındığında en ideal model olarak Model 1 belirlenmiştir.

Çizelge 4.73. Temizleme ve Süpürme Flotasyon Deney Şartları

Parametre	
Köpük derinliği (m)	Değişken
Yıkama suyu hızı (lt/dak.)	0.5
d_{80} (mm)	0,125
Bias (cm/s)	+0.06
Hava hızı (cm/s)	1.30
Temizleme Flotasyon Deney Şartları	
pH	12
Palp Katı Oranı (%)	12
Na_2SiO_3 (g/t)	-
CuSO_4 (g/t)	50
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	37.5+37.5
Süpürme Flotasyon Deney Şartları	
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	-
CuSO_4 (g/t)	-
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	50+50

Çizelge 4.74. Temizleme Flotasyon Deney Sonucunun Zn ve Fe İçin Model 1, 2, 3'e Ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri

	Model 1		Model 2		Model 3	
	Zn	Fe	Zn	Fe	Zn	Fe
R_∞	0.8135	0.5217	0.7502	0.4786	0.7264	0.4612
k	0.3967	0.3490	1.0490	0.9040	1.4150	1.6700
K_m	0.3227	0.1821	0.7877	0.4327	1.0279	0.7702
R^2	0.9946	0.9952	0.9846	0.9821	0.9746	0.9696
SI	1.77		1.82		1.33	

Çizelge 4.75. Temizleme Flotasyon Deney Sonucunun Zn ve Fe İçin Model 4, 5, 6'ya Ait Zn ve Fe İçin Model Parametreleri

	Model 4		Model 5		Model 6	
	Zn	Fe	Zn	Zn	Fe	Zn
R_{∞}	0.7263	0.4612	0.7264	0.4612	0.6991	0.4428
k	0.7060	0.6000	0.0085	0.0112	1.9146	1.6000
K_m	0.5128	0.2767	0.0062	0.0052	1.3385	0.7085
R^2	0.9746	0.9696	0.9746	0.9696	0.9543	0.9483
SI	1.85		1.19		1.89	

Çizelge 4.76. Temizleme Flotasyonu Model Standart Hataları

Model	Zn	Fe
1	1.96	1.14
2	3.51	2.60
3, 4, 5	4.97	3.61
6	6.34	4.68

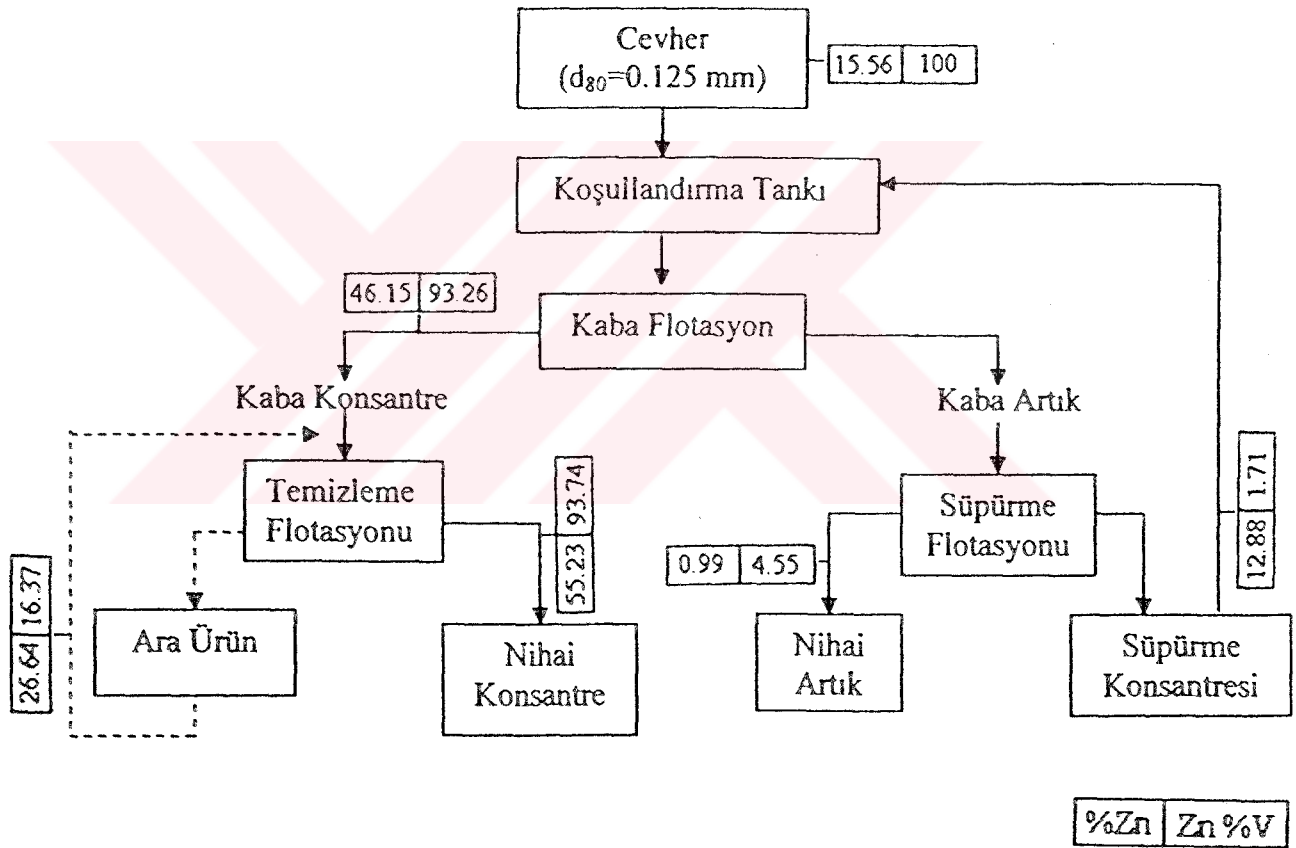
Şekil 4.32 baz alınarak oluşturulan metalurjik denge çizelgesine göre (Çizelge.77), temizleme flotasyonu neticesinde %77.69 verimle %55.23 Zn tenörlü konsantre %7.66 Fe tenörü ile kazanılırken, ara ürünün dağıtılması neticesinde ise (Çizelge 4.78) %93.74 verimle %55.23 Zn tenörlü konsantre alınırken, artık %0.99 Zn tenörü ile atılmaktadır.

Çizelge 4.77. Metalurjik Denge Çizelgesi

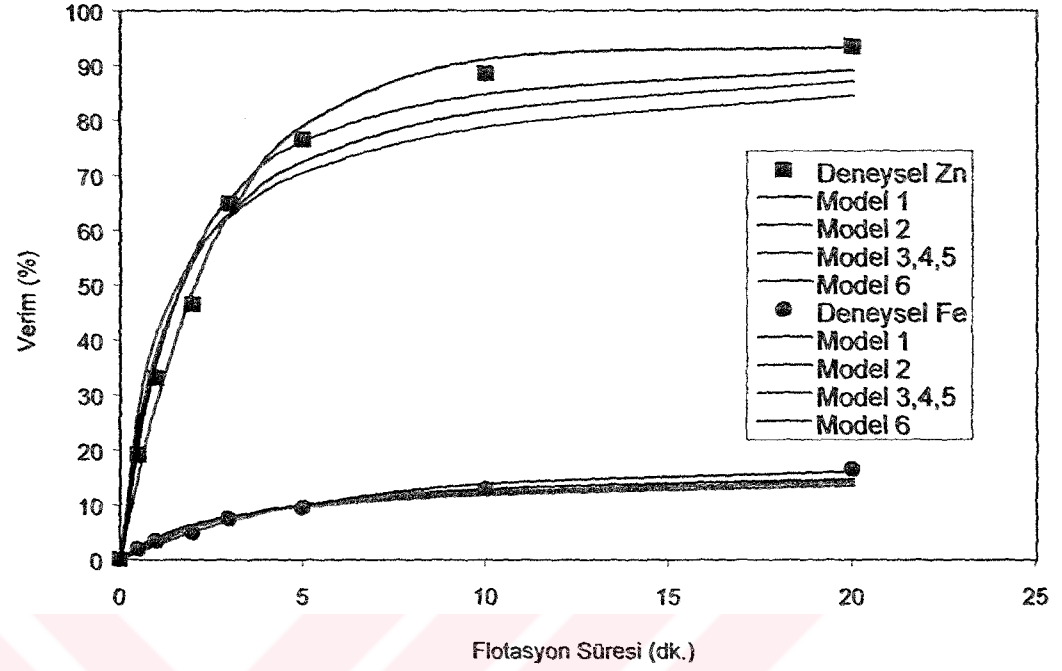
Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör (% Zn)	Verim (%)
Nihai Konsantre	21.88	55.23	77.69
Ara Ürün	9.56	26.64	16.37
Süpürme Konsantresi	2.06	12.88	1.71
Nihai Artık	66.50	0.99	4.23
Besleme Malı	100.00	15.56	100.00

Çizelge 4.78. Optimum Koşullarda Sfalerit Kolon Flotasyonu Deney Sonuçları

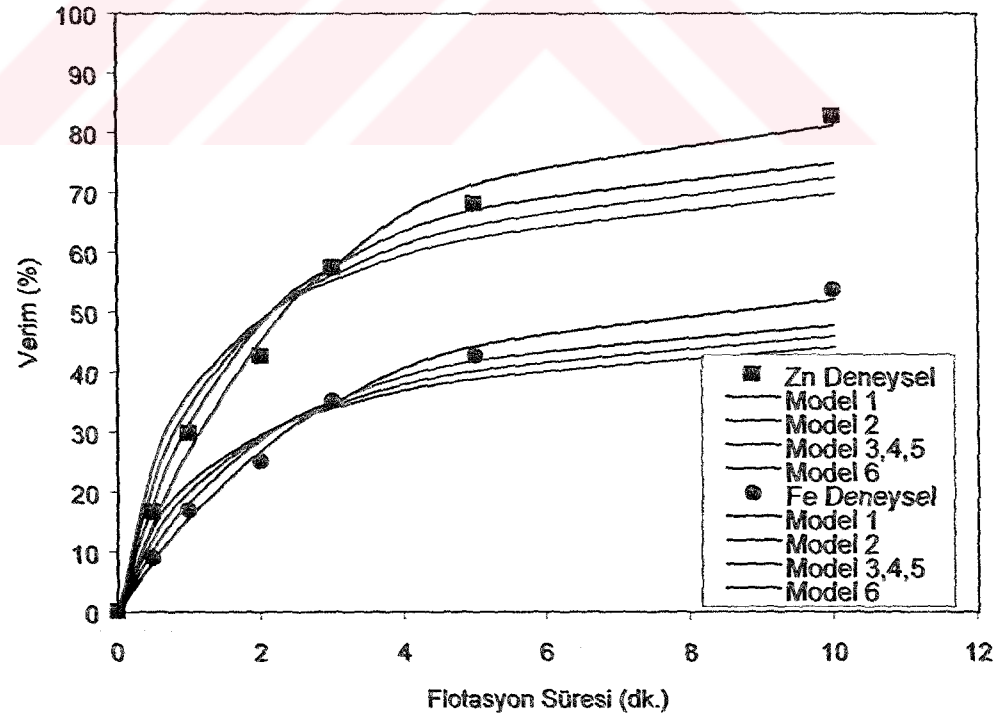
Ürünler	Ağırlık (%)	Tenör (% Zn)	Verim (%)
Nihai Konsantre	26.40	55.23	93.74
Süpürme Konsantresi	2.06	12.88	1.71
Nihai Artık	71.54	0.99	4.55
Besleme Malı	100.00	15.56	100.00



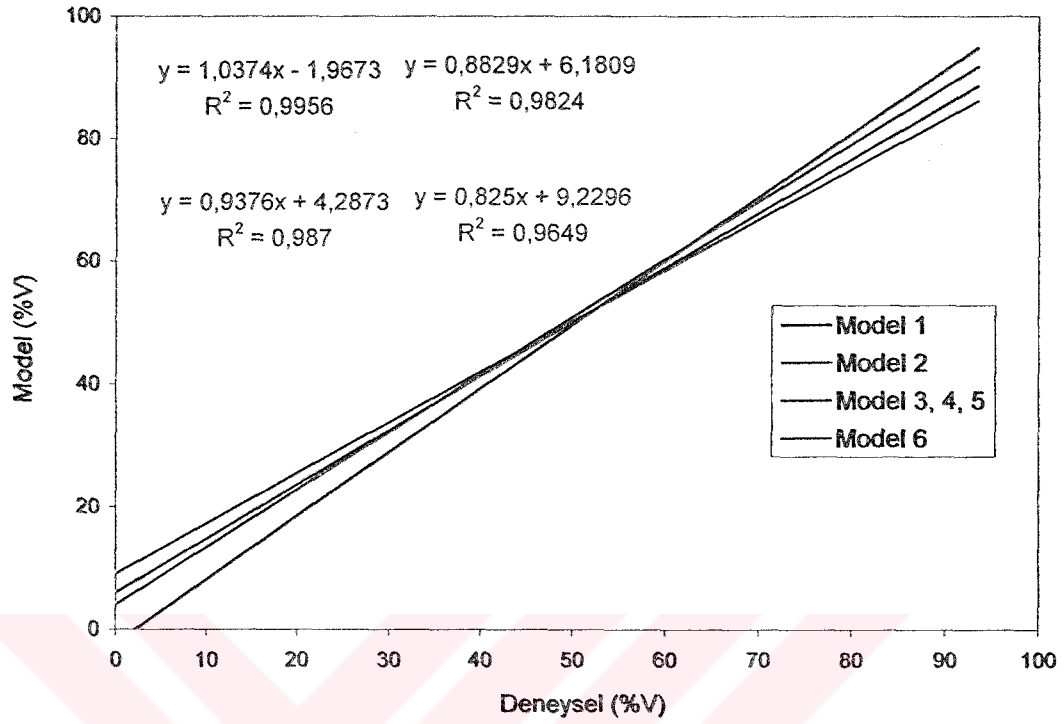
Şekil 4.32. Temizleme ve Süpürme Flotasyon Deneyi Akım Şeması



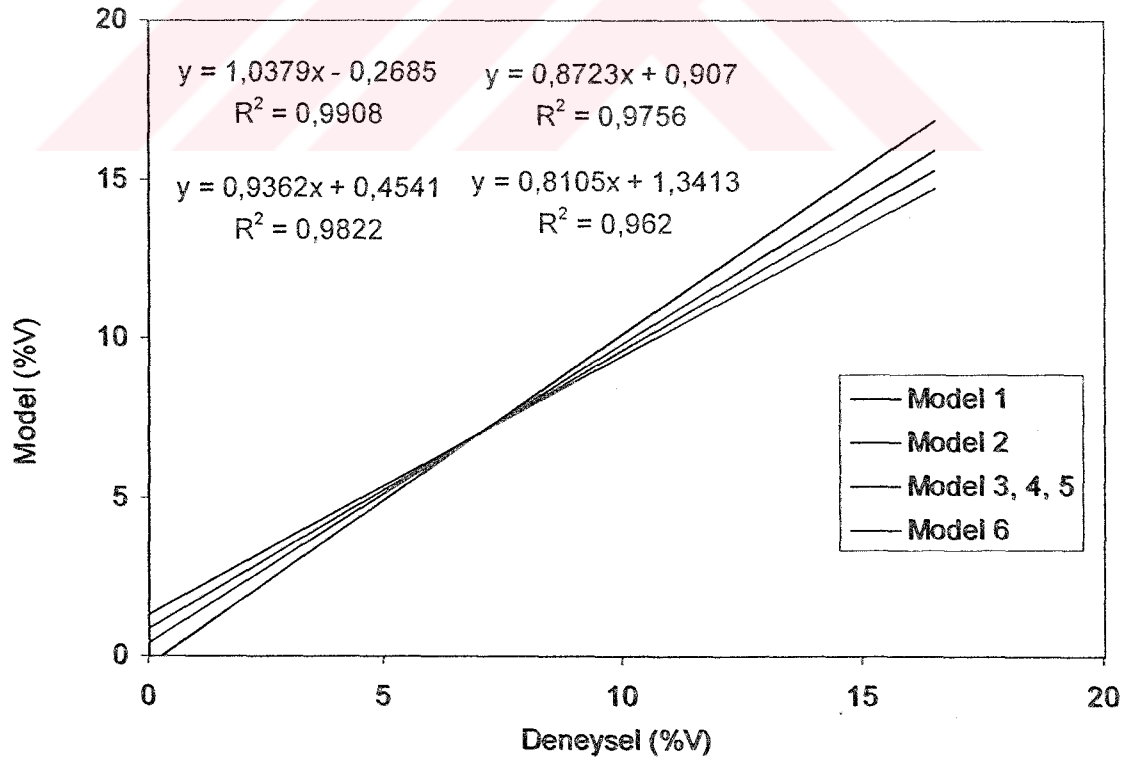
Şekil 4.33. Optimum Şartlarda Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



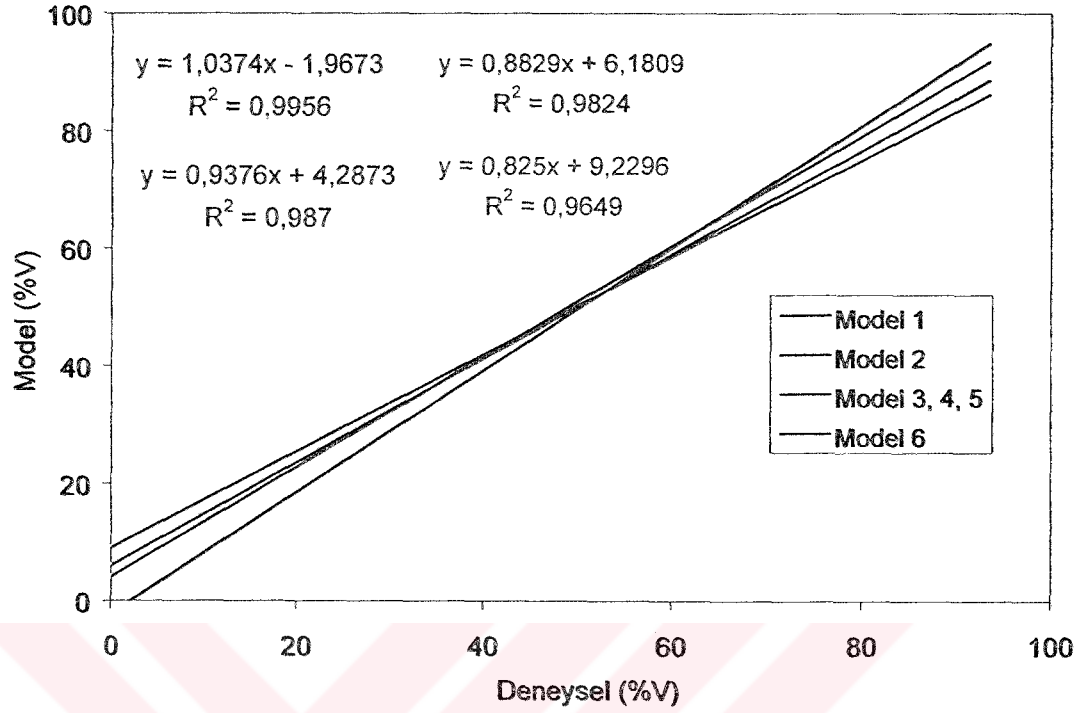
Şekil 4.34. Temizleme Flotasyon Deney Sonuçlarına Zn ve Fe İçin Model Uyarlamaları



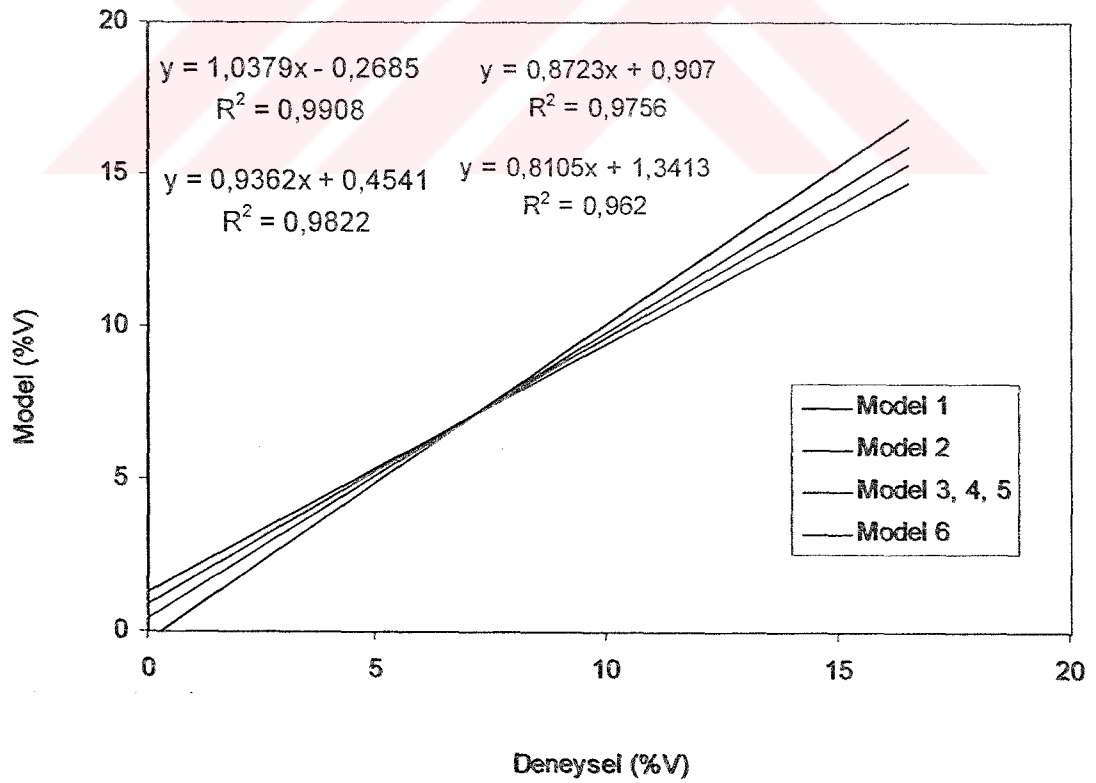
Şekil 4.35. Optimum Şartlarda Gerçekleştirilen Flotasyonuna Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.36. Optimum Şartlarda Gerçekleştirilen Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.37. Temizleme Flotasyonuna Ait Zn İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki



Şekil 4.38. Temizleme Flotasyonuna Ait Fe İçin Deneysel-Model Verileri Arasındaki İlişki

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Çadirkaya/Yahyalı/Kayseri bölgesinde bulunan ve Postallı Madencilik Ltd. Şirketi tarafından kapalı işletme madenciliği ile üretilip mevcut flotasyon tesisinde zenginleştirilen sülfürlü kurşun-çinko cevheri üzerinde mineralojik, kırma-öğütme ve zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan mineralojik çalışmalar neticesinde cevherin sfalerit (ZnS), galen (PbS), pirit (FeS₂), kuvars (SiO₂) ve dolomit [CaMg(CO₃)₂] minerallerinden oluştuğu saptanmıştır. Mikroskopta tane serbestleşme boyutunun belirlenmesine yönelik olarak yapılan çalışmada çeneli kırıcı çıkışının elek analiz ürünleri incelenmiş ve tane serbestleşme boyutu olarak d₈₀=0.180 mm tespit edilmiştir.

Cevher içindeki elementler arasında tane iriliğine göre bir zenginleştirme olup olmadığını anlamak için çeneli kırıcı çıkışının elek-metal analizi yapılmış; çinko tenörü ortalama %16 civarında olurken kurşun tenörünün %1'in altında kaldığı, demir tenörünün ise 0.038 mm boyutundan 0.125 mm boyutuna kadar nispeten arttığı bundan sonra sabitlendiği ve tüm numune için ortalama %23 civarında olduğu tespit edilmiştir ve elek-metal analizi neticesinde tane iriliğine göre bir zenginleşmenin söz konusu olmadığı anlaşılmıştır.

Yapılan flotasyon deneylerinde pH ayarı kireçle yapılmış gang bastırıcı olarak sodyum silikat (Na₂SiO₃) ve canlandırıcı olarak ise bakır sülfat (CuSO₄) kullanılmıştır. Flotasyon deneylerinde kullanılacak toplayıcı tipinin belirlenmesi için dithiofosfat tipi (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) toplayıcı ile potasyum amil ksantat tipi (KAX)) toplayıcılar klasik flotasyon makinesinde ve flotasyon kolonunda karşılaştırma deneylerine tabi tutulmuş ve söz konusu toplayıcılardan dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) toplayıcısının potasyum amil ksantat (KAX) toplayıcısından daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle deneylerde dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) toplayıcısı kullanılmıştır.

Bu çalışma, dizayn edilerek tesis edilen flotasyon kolonunda, sfaleritin flotasyon davranışına toplayıcı tipi ve miktarının, tane iriliğinin, hava hızının, palp katı oranının ve yıkama suyu hızının etkisi araştırılmıştır. Flotasyon testleri ve

istatistiksel analizler neticesinde; sfalerit cevherinin flotasyonu için optimum flotasyon şartları olarak Çizelge 5.1’de verilen değerler elde edilmiştir. Temizleme ve süpürme devreleri için ise Çizelge 5.2 kullanılmıştır. Ayrıca tane iriliği, toplayıcı miktarı, palp katı oranı ve yıkama suyu hızı için en ideal model olarak, birinci dereceden flotasyon kinetik modeli ($R=R_{\infty} [1-\exp (-k*t)]$) tespit edilirken, hava hızı için ise birinci dereceden dikdörtgen dağılımlı flotasyon kinetik modeli ($R=R_{\infty} * \{1-1/k*t[1-\exp(-k*t)]\}$) ortaya konmuştur.

Ayrıca sfaleritin kolon flotasyon için optimum şartlarda gerçekleştirilen flotasyon ve temizleme flotasyonu için en uygun modelin birinci dereceden flotasyon kinetik modeli ($R=R_{\infty} [1-\exp (-k*t)]$) olduğu belirlenmiştir

Optimum şartlar baz alınarak yapılan flotasyon deneylerinde elde edilen kaba konsantre, temizleme flotasyonuna tabi tutularak %77.69, ara ürünün dağıtılması ile %93.74 verimle %55.23 Zn tenörlü konsantre alınırken, nihai artık %0.99 Zn tenörle atılmaktadır.

Çizelge 5.1. Çadırkaya Sfalerit Cevherinin Kaba Kolon Flotasyon Deney Şartları

Parametre	Değişken
Köptük derinliği (m)	
Yıkama suyu hızı (lt/dak.)	0.5
Palp katı oranı (%)	20
d_{80} (mm)	0.125
Bias (cm/s)	+0.06
Hava hızı (cm/s)	1.30
pH	12
Na_2SiO_3 (g/t)	250
$CuSO_4$ (g/t)	575
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	500

Çizelge 5.2 Çadirkaya Sfalerit Cevherinin Temizleme ve Süpürme Kolon Flotasyon Deney Şartları

Parametre	
Köpük derinliği (m)	Değişken
Yıkama suyu hızı (L/dk.)	0.5
d ₈₀ (mm)	0.125
Bias (cm/s)	+0.06
Hava hızı (cm/s)	1.30
Temizleme Flotasyon Deney Şartları	
pH	12
Palp Katı Oranı (%)	12
Na ₂ SiO ₃ (g/t)	-
CuSO ₄ (g/t)	50
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	37.5+37.5
Süpürme Flotasyon Deney Şartları	
pH	12
Na ₂ SiO ₃ (g/t)	-
CuSO ₄ (g/t)	-
Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 (g/t)	50+50

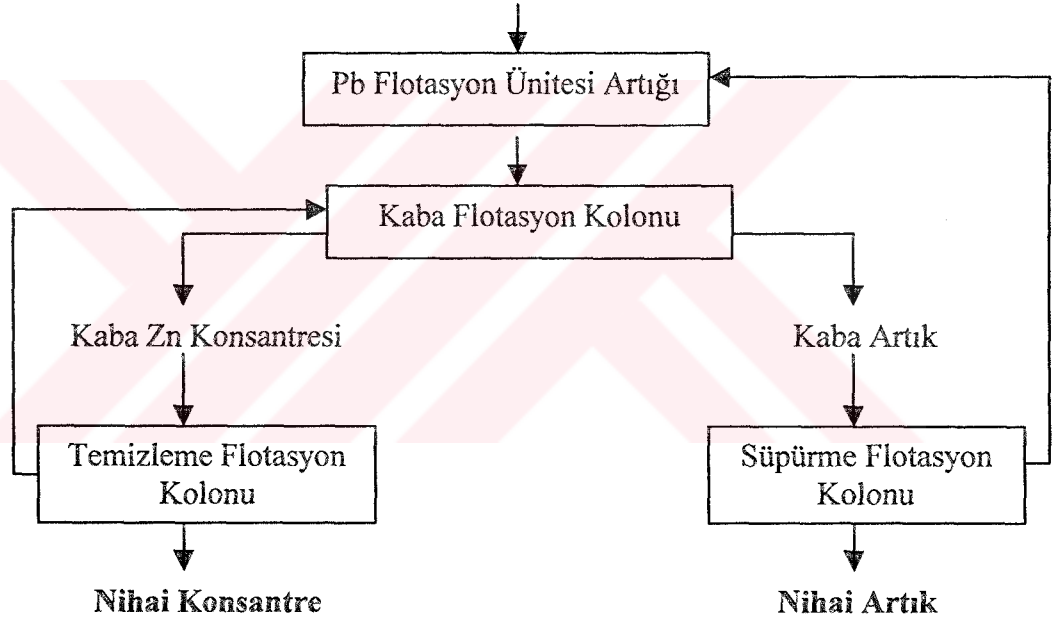
5.2. Öneriler

Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde Çadirkaya flotasyon tesisinde çinko flotasyonu için halihazırda kullanılan potasyum amil ksantat (KAX) yerine dithiofosfat (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) tipi toplayıcının kullanımına geçilmesinin tesis verimini artırabileceği ön görülmektedir. Ancak her iki reaktifinde ekonomik yarar değerlendirilmesinin yapılması gerekir.

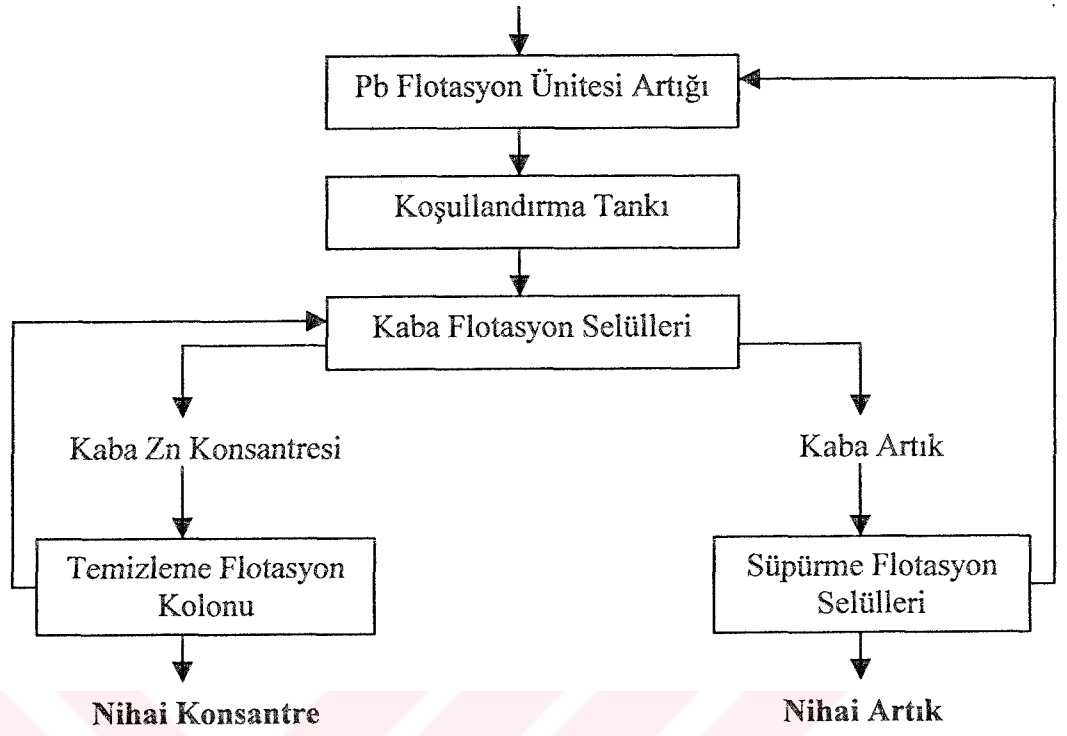
Ayrıca elde edilen sonuçlara göre halihazırdaki tesis verimi (%66) ve tenöründen (%53 Zn) yüksek olması nedeni ile Çadirkaya sülfürlü kurşun-çinko cevheri için tesiste flotasyon kolonu uygulamasına geçilmesi durumunda;

- i) Mekanik flotasyon hücrelerinden daha iyi performans elde edilebileceği,
- ii) Tesis işletme maliyetinin azalacağı ve
- iii) Flotasyon kolonlarının tek bir birimden oluşması ve işletme kolaylığı nedeni ile otomatik kontrole tesis bazında geçilmesinin daha kolay olacağı düşünülmektedir.

Tesiste çinko zenginleştirilme devresinde kaba, temizleme ve süpürme flotasyonun, flotasyon kolonlarıyla gerçekleştirilmesi durumunda Şekil 5.1, sadece temizleme flotasyonun flotasyon kolonu ile gerçekleştirilmesi durumunda Şekil 5.2. önerilen akım şemalarıdır.



Şekil 5.1. Önerilen Akım Şeması I



Şekil 5.2. Önerilen Akım Şeması II

KAYNAKLAR

- AHMED, N., and JAMESON , G. J., 1985. The Effects of Bubble Size on the Rate of Flotation of fine Particles. *Int. J. Miner. Process.*, 14:s.195-215
- AKSANİ, B., 1998. Flotasyon Kolonları Bölüm 1, Temel Çalışma Prensipleri ve Ayırma İşlemine Etki Eden Parametreler. *Madencilik Dergisi*, 37 (2): 21-40
- AKSANİ, B., 1998. Flotasyon Kolonları Bölüm 2, Karşılaştırmalı Çalışmalar, Uygulamada Karşılaşılan Sorunlar ve Alternatif Kolonlar. *Madencilik Dergisi*, 37 (2): 41-56
- ANFRUNS, J. F., and KITCHENER, J.A., 1977. Rate of Capture of Small Particles in Flotation. *Trans IMM., Sec. C* 86:s.C9-15
- APLAN, F., and CHANDER, S., 1998. Collectors For Sulfide Mineral Flotation (P. Somasundaran and M. Moudgil editör). *Reagents In Mineral Technology*, Marcel Dekker, INC. New York, s.335-369
- ARBİTER, N., and HARRIS, C. C., 1962. Flotation Kinetics, Froth Flotation 50th Anniversary Volume, *AIME:s.215-246*
- ARSLAN, O., 2004. Sözlü Görüşme; Ç.Ü F.E. Fakültesi, İstatistik Bölümü
- ATAK, S., 1990. Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması. İ.T.Ü Vakfı Basımı No:34, İSTANBUL
- ATAK, S., VE TOLUN, R., 1994. Flotasyon (G. Önal ve G. Ateşok editör). *CevherHazırlama El Kitabı, Vitrin Tanıtım ve Organzasyon*, İstanbul, s. 207-298
- BANİSİ, S., and FINCH, J. A., 2001. Testing Flotation Column at The Sarchesment Copper Mine . *Minerals Engineering*, (14):s.785-789
- BAŞAR, A., ve OKTAY, E., 2000. Uygulamalı İstatistik 2. Aktif Yayın Evi, ERZURUM.
- BAYAT, O., 1999. Cevher Hazırlama Laboratuvarı El Kitabı. Ç.Ü Müh. Mim. Fak. Yayın No:30, ADANA

- BAYRAK, N., ve TOROĞLU, İ.,1999. Armutçuk Toz Kömürlerinin Kolon Flotasyonu ile Kazanımı (S. ATAĞ, G.Önal, F. Karaaslan, K. Perek editör) Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, 1. baskı, Lebib Yalkın Yayınları ve Basım İşleri A.Ş, İSTANBUL, s. 321-325
- BURGES, F. L., 1997. OK100 Tank Cell Operation at Pasminco-Broke Hill. Minerals Engineering, 10(7):s.723-741
- CASTRO, F., and HOCES, M.,1996. Flotation Rate of Celestite and Calcite. Chanical Engineering Science, 51 (1): 119-125
- CLİNGAN, B.,V., and MCGREGOR, D. R., 1987. Columun Flotation Experience at Magma Copper Co. Minerals ang Metallurgical Processing, 3(3):s.121-125
- ÇİLİNGİR, Y.,1996. Metalik Cevherler ve Zenginleştirme Yöntemleri. DEÜ Müh. Mim. Fak.Basım Ünitesi, İZMİR
- DEL VİLLAR, R., SOTO, H., and LACOMBE, P., 1993. Column Flotation Circuit Design at Les Mines Selbaie, CIM Bulletin, May, s.35-40
- DOBBY, G. S. AND FİNCH, J. A., 1985. Mixing Characteristics of Industrial Flotation Columns. Chemical Engineering Science, 40(7):s.1061-1068
- DOĞAN, Z., 1994. Özgül Ağırlık Farkı (Gravite) ile Zenginleştirme (G. ÖNAL ve G. ATEŞOK editör). Cevher Hazırlama El Kitabı, Vitrin Tanıtım ve Organizasyon, İstanbul, s. 147-162
- D.P.T, 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Metal Madenleri Alt Komisyonu Kurşun-Çinko-Kadmiyum Çalışma Grubu, ANKARA
- ERGİN, Z., CÖCEN, İ. ve SEMERKENT, O., 1998. Cevher Zenginleştirme Laboratuvar Ders Notları. D.E.Ü Müh. Mim. Fak. Yayınları No. 191, İZMİR
- ESPIOZA, R., FINCH, J. A., YIANATOS, J. B., and DOBBY G. S., 1988. Columun Carrying Capacity: Particle Size and Density Effects. Minerals Engineering, 1(1): s. 77-79
- EK, C., 1991. Flotation Kinetiks Innovations in Flotation Technology . Nato ASIS seriesApplied Science, 208:s.183-210
- EK, C., 1992. Flotation Kinetics. Kluwer AcademicPublisher, Netherland
- FİNCH, J. A., and DOBBY, G. S., 1990. Column Flotation, Pergamon Press, OXFORD

- FLİNT, I. M., WYSLOUZİL, H. E., ANDRODE, L., and MURDOCK, M. D., 1992. Column Flotation of Iron Ore. *Minerals Engineering*, 5(10):1185-1194
- FOOT, D. G., MCKAY, J. D., and KEYSER, P. M., 1993. New Uses of Flotation Columns, Flotation Plant. D. Malhotra, Chapter 23, AIME, s.159-163
- FOULKNER, B. P., 1996. Computer Control Improves Metallurgy at Tennessee Coppers Flotation Plant. *Mining Engineering*, 18(11):s.53-57
- GRAINGER, A., 1970. Bubble Generation in Froth Flotation Machines. *Trans. IMM*, 79:s.C15-22
- GOODALL, C. M., and O'CONNER, C. T., 1991. Pulp-Froth Interactions in a Laboratory Column Flotation Cell. *Minerals Engineering*, 4(7):951-958
- GÜNEY, A., ÖNAL, G., AND ATMACA, Y., 2001. New Aspect of Chromite Gravity Tailings Re-Processing. *Minerals Engineering*, 14(1):s.1527-1530
- GÜNET, A., 1998. İMİB Türkiye Çinko Envanteri
- HAN, K.N., and DOWLING, E.C., 1999. Sulfides and Precious Metals (B. K. Parekh and J.D. Miller editör). *Advances in Flotation Technology*. Society for Mining, Metallurgy, and Expolaration, Inc. Littleton, CO, USA
- HARRİS, C. C., and CHAKRAVARTI, A., 1970. Semi Batch Froth Flotation Kinetics: Species Distribution Analysis. *Trans. AIME.*, 247:s.162-172
- HARRİS, C. C., 1976. Flotation Machines in Flotation –A.M Gaudin Memorial Volume. AIME, NY:s.753-815
- HARRIS C. C., and CHUDACEK, M. W., 1992. Batch Cells Flotation Models-A Review. *Minerals Engineering*, 5(1):s.41-55
- HARRİS, G., 1998. Xanthates (P. Somasundaran and M. Moudgil editör). *Reagents In Mineral Technology*, Marcel Dekker, INC. New York, s.371-383
- HOŞTEN, Ç., 2002. Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Temel İşlemlerinin Tasarımı. ODTÜ N-Basım Basım İşliği, ANKARA
- HUBER, I., ENEDANALACHE, E., and COJOCARIU, D. G., 1976. Mathematical Models of Batch and Continous Flotation. Flotation A.M. Gaudin Memorial Volume, Eds: M.C, 2(5):s.675-724

- IMAİZUMİ, T., and Inoue, T., 1963. Kinetics Consideration of Froth Flotation, In:A. Roberts, Proc. Int. Min. Process. Congr. 6th, Cannes, Pergamon, 1965, s.581-589
- JAMESON, G. J., 1988. A New Concept in Flotation Machine Design. Min. Metall. Process, Feb.:s. 44-47
- KALLIOINEN, J., and HEISKANEN, K., 1993. Effective Flotation of a Difficult Nickel-oreBased on Intelligent Mineral Technology. Minerals Engineering, 6:s.917-928
- KAYA, M., 1991. Flotasyon El Kitabı 1. Anadolu Üniv.Müh. Mim. Fak. Yayınları, ESKİŞEHİR
- KAYTAZ, Y., 1990. Cevher Hazırlama. İ.T.Ü Matbaası Gümüşköy, İSTANBUL
- KÖKSAL, B. A., 1998. İstatistik Analiz Metodları. Çağlayan Kitabevi, İSTANBUL
- LANGBERG, D. A., and JAMESON, G. J., 1992. The Coexistence of The Froth and Liquid Phasesin a Flotation Column. Chemical Engineering Science, 47:s.4345-4355
- LAPLANTE, A. R., KAYA, M., and DMITH H. W., 1989. The Effect of Froth on Flotation Kinetics-A Mass Transfer Aproach. Minerals and Extractive Metallurgy Review, 5:s.147-168
- LAPLANTE, A. R., TOGURI, J. M., and SMITH, H. W., 1983. The Effect of Air Flow Rate on The Kinetics of Flotation, Part 1: The Transfer of Material From the Slurry to The Froth. Int. J. Min. Proc. , 11:s.203-219
- KELLY E. G., and SPOTTISWOOD D.J. 1982. Introduction to Mineral Processing, New York
- LYINCH, A. J., JOHNSON, N. W., MANLAPING, E.V., and THORNE, C.G., 1981. Mineral and Coal Flotation Circuits-Their Simulation and Control. ElseiverScientificPublishing Company, Amsterdam
- LYINCH, A. J., JOHNSON, N. W., MANLAPING, E.V., and THORNE, C.G., 1981. Mineral and Coal Flotation Circuits-Their Simulation and Control. ElseiverScientificPublishing Company, Amsterdam
- MAACHER, A., and DOBBY, G. S. 1992. Measurements of Feed Water Recovery and Entraintment Solids Recovery in Flotation Columuns. Canadian Metalurgical Qarterly, 31(3):s. 167-172

- MAVROS, P., KYDROS, K. A., AND Matis, K. A., 1993. Arsenopyrite Enrichment By Column Flotation. *Minerals Engineering*, 6(12):s.1265-1277
- MEHROTRA, S. P., KAPUR, P. C., 1974. The Effect of Aeration Rate, Particle Size and Pulp Density on the Flotation Rate Distributions. *Powder Technology*, 9:s.213-219
- MEHROTRA, S., PADMANABHAN, P., 1990. Analysis of Flotation Kinetics of Malankhand Copper Ore, India, in Terms of Distributed Flotation Rate Constant. *Trans IMM., Sec C*, 99:s.C32-42
- MITTAL, N. K., SON, P. K., CHERPO, S. S., 200. Indian's First Column Flotation Installation in The Zing Cleaninig Circuit at Rajpira Darabia Mine, India *Minerals Engineering*, 13(5):s.581-584
- OHMARA, N., and SAIKI, H., 1994. Desulfurization of Coal by Microbial Column Flotation . *Biotechnology and Bioengineering*, 44:s.125-131
- OLIVEIRA, J. F.,SARAIVA, S. M., PIMENTA, J. I., and OLIVEIRA, A. P. A., 2001. kinetics of Pyrochlore Flotation From Araxa Mineral Deposits. *Minerals Engineering*, 14(1):s.95-105
- ÖTEKAYA, B., SOTO, H., 1995. Flotasyon Kolonlarında Hava Hold-UP'ının ve Kabarcık Çapının Değişiminin Etkisi. 14. Madencilik Kongresi, 150(7):s.387-391
- PAREKH, B.K., and MILLER, J.D., 1999. *Advances in Flotation Tecnology*. Society for Mining,Metalurgy, and Expolaration, Inc. Littleton, CO, USA
- PITT, J. C., 1968. The Development of Systems for Continous Optimal Control of Flotation Plants by Computer, *System Dynamics and Automatic Control in Basic Industries*. IFAC Symposium, Sidney:s.165-171
- RUBÍO, J., 1996. Modified Column Flotation of Mineral Particles. *Int. J. Miner Process*, 48:483-196
- SAKLAR, S., ERSAYIN, S., ve BAYRAKTAR, İ., 1998. Flotasyon Modelleri. *Madencilik Dergisi*, 37 (2): 3-20
- SASTRI, S. R. S., 1996. Carrying Capacitiy in Flotation Column. *Minerals Engineering*, 9(4):s.465-468

- SHAH, Y. T., KELKAR, B.G., GOODBOLE, S. P., DECKWER, W. D., 1992. Disagn Parameter Estimation for Bubble Column Reactors. AICHE Journal, 28(3):353-379
- SHUBERT, H., 1988. Counter-Current Flotation Cells. AufbereitungsTechnic, 6:s.307-315
- SCHUHMANN, R., 1942. Flotation Kinetics, 1.Methodsfor Steady of Flotation Problems. J. Phys.Chem, 43:s.891-902
- SİRKECİ, A. A., GÜNEY, A., ÖNAL, G., 1999. Adaptation of Column Flotation to Murgul Copper Concentrator. VII. Balkan Mineral Processing Confarece, September:s:247-252
- SKILLEN, A., 1993. Froth Flotation New Technologies Bubling Under. İndustrial Minerals, February, s.47-59
- SRIPRIYA, R., RAO, P. V. T., CHOUDHURY, B. R., 2003. Optimisation of Operating Variablies of Fine Coal Flotation Using Combination of Modified Flotation Parameters and Statistical Techniques. Int. J. Miner. Proces, 68:s.109-127
- TERBLANCHE, A. N., GROBLER, W. A., ÖNAL, G., GÜNEY, G., 1999. Geliştirilmiş Flotasyon Performanslı Turbo Flotasyon Kolonu (S. ATAK, G.Önal, F. Karaaslan, K. Perek editör). Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, 1. Baskı, Lebib Yalkın Yayınları ve Basım İşleri A.Ş, İSTANBUL, s. 167-172
- TRAHAR, W. J., 1981. The Rational Interpretation of the Role of Particle Size in Flotation . Int. J. Miner. Process.,8:s.289-327
- TOMLINSON, H. S., and FLEMING, M. G., 1963. Flotation Rate Studies. 6th Mineral Processing Congres, Cannes, Pergamon, 1965:s.536-579
- TUTUJE, R. K., SPOTISWOOD, D. J. and MISRA, V. N., 1995. Column Parameters: Their Effect on Entrainment in Froth. Minerals Engineering, 8(11):s.1359-1368
- YEKELER, M., ve SÖNMEZ, İ., 1996. Effect of The Hydrofobic Fraction and Particle Size in The Collectorless Column Flotation Kinetics. Colloids and Surfaces A:Physicochem Eng. Aspects 121:s.9-13

- YEKELER, M., ve YARAR, B., 1999. Gamma Flotasyonu Prosesinde Düşük Yüzey Enerjili Minerallerin Kinetiği (S. ATAK, G.Önal, F. Karaaslan, K. Perek editör). Cevher ve Kömür Hazırlamada Yenilikler, 1. baskı, Lebib Yalkın Yayınları ve Basım İşleri A.Ş., İSTANBUL, s. 95-100
- YIANATOS, J. B. FİNCH, J. A., and LAPLANTE, A. R. 1987. Cleaning Action in Column Flotation Froths. Trans. IMM 96:C199-205
- YIANATOS, J. B. BERGH, G., and CORTEN, G. A., 1998. Froth Zone Modelling of Industrial Flotation Column. Minerals Engineering, 11(5):s.423-435
- YIANATOS, J. B., 1990. Column Flotation-Modelling and Technology. The International Colloquium
- YILDIZ, N., 2002. Madencilik Sektörü.İ T.M.M.O.B Maden Mühendisliği Odası Yayını, ANKARA
- YOON, R. H., 1993. Microbubble Flotation. Minerals Engineering, 6(6): s.619-630
- YOUNG, P., 1982. Flotation Machines. Mining Magazine, January, s.35-59
- YUAN, X., PALSSON, B. I., and FORSSBERG , K. S. E., 1996. Statistical Interpration of Flotation Kinetics for a Kompleks Sulphide Ore. Minerals Engineering, 9(4):s.429-442
- WILLS, B.A., 1985. Mineral Processing Technology. Pergamen Press, Englang
- WYSLAUZİL, I., and MURDOCK, D., 1992. Column Flotation of Iron Ore. Minerals Engineerin, 5 (10): 1185-1194
- XU, M., 1998. Modified Flotation Rate Constant and Selectivity Indeks. Minerals Engineering, 11(3):s.271-278
- www.maden.org.tr
- www.mta.gov.tr
- www.gc.maricopa.edu

ÖZGEÇMİŞ

02.12.1969 tarihinde Kayseri ilinin İncesu ilçesine bağlı Çardaklı köyünde doğdu. İlk, orta ve Lise öğrenimini İncesu'da tamamladı. 1992 yılında Akdeniz Üniversitesi Isparta Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1996 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde "Kurşun-Çinko Cevherlerinin Optimal Flotasyon Şartlarının Belirlenmesi" isimli yüksek lisans tezini tamamladı. Halen Çukurova Üniversitesi Karaisalı Meslek Yüksekokulunda Maden Bölümünde Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli olup, İngilizce bilmektedir.

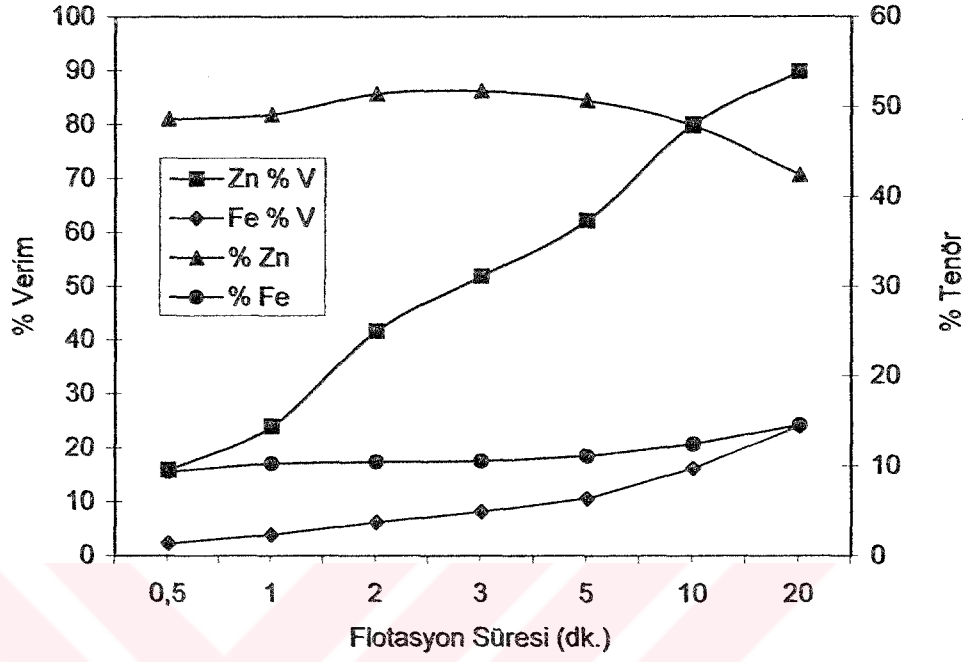
EKLER

EK 1

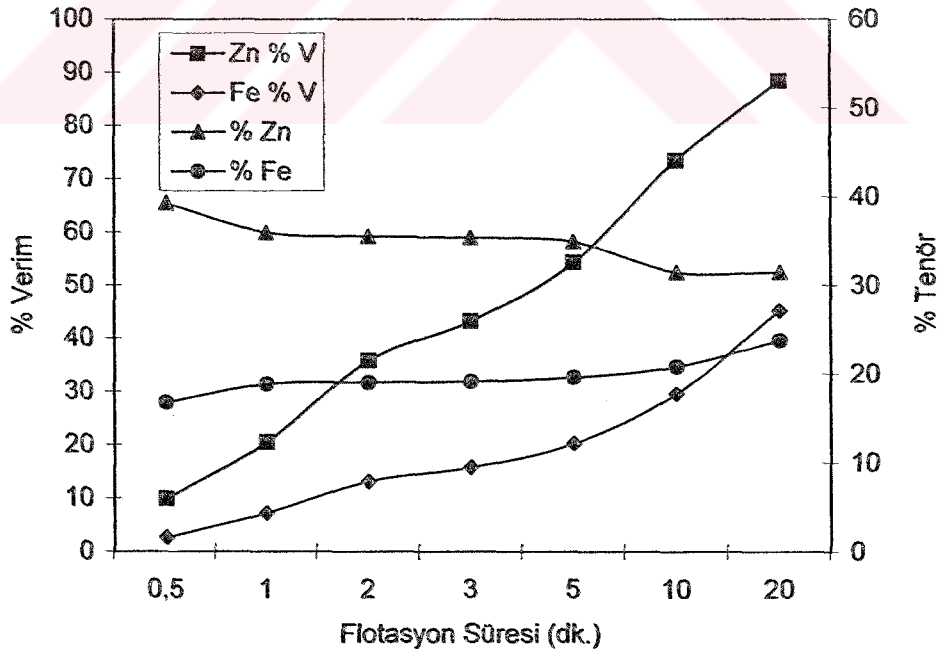
Sfalerit Cevherinin XRD Verileri

d-değeri	2 θ	d-değeri	2 θ
4.25232	20.8733	1.91364	47.4731
3.36081	26.5000	1.90506	47.7000
3.41181	26.6535	1.81732	50.1578
3.12447	28.5455	1.67130	54.8903
2.88870	30.9312	1.63260	56.3055
2.71042	33.0220	1.56347	59.0347
2.69157	33.2600	1.54156	59.9588
2.45576	36.5611	1.50184	61.7150
2.42094	37.1061	1.44754	64.3010
2.23533	40.3150	1.38181	67.7600
2.11106	40.7772	1.37440	68.1757
2.12794	42.44554	1.35326	69.3912

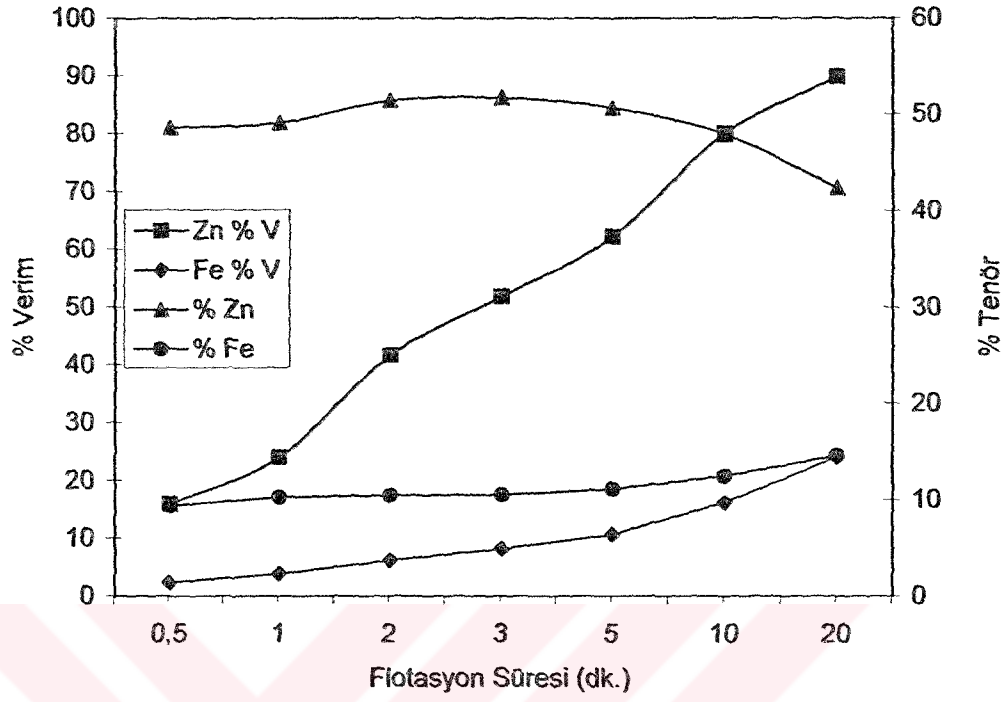
EK-2



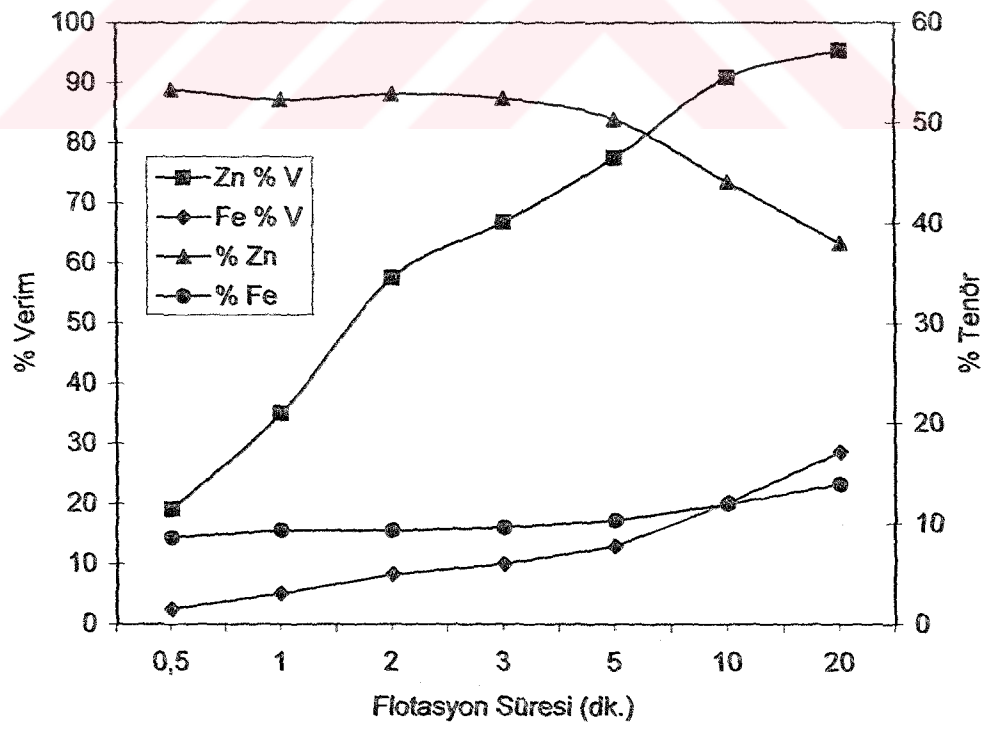
Dithiofosfat Tipi (Aerofloat 7048+Aerofloat 7279) Toplayıcı İle Yapılan Flotasyonun Deney Sonuçları



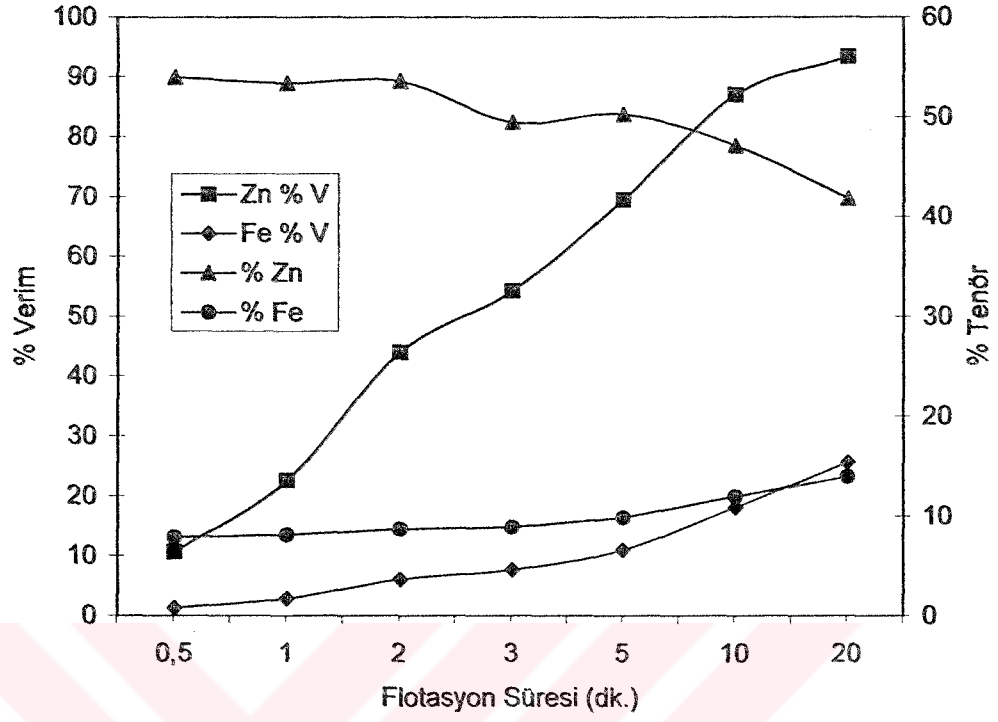
Potasyum Amil Ksantat Tipi (KAX) Toplayıcı İle Yapılan Flotasyonun Deney Sonuçları



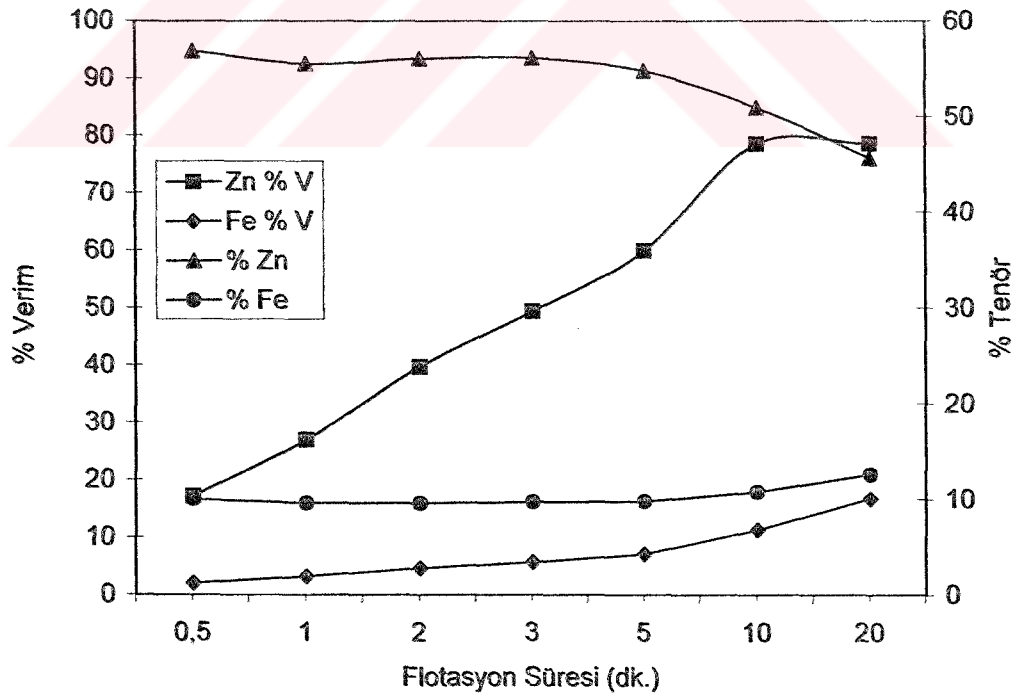
0.180 mm Tane İriliğinde Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



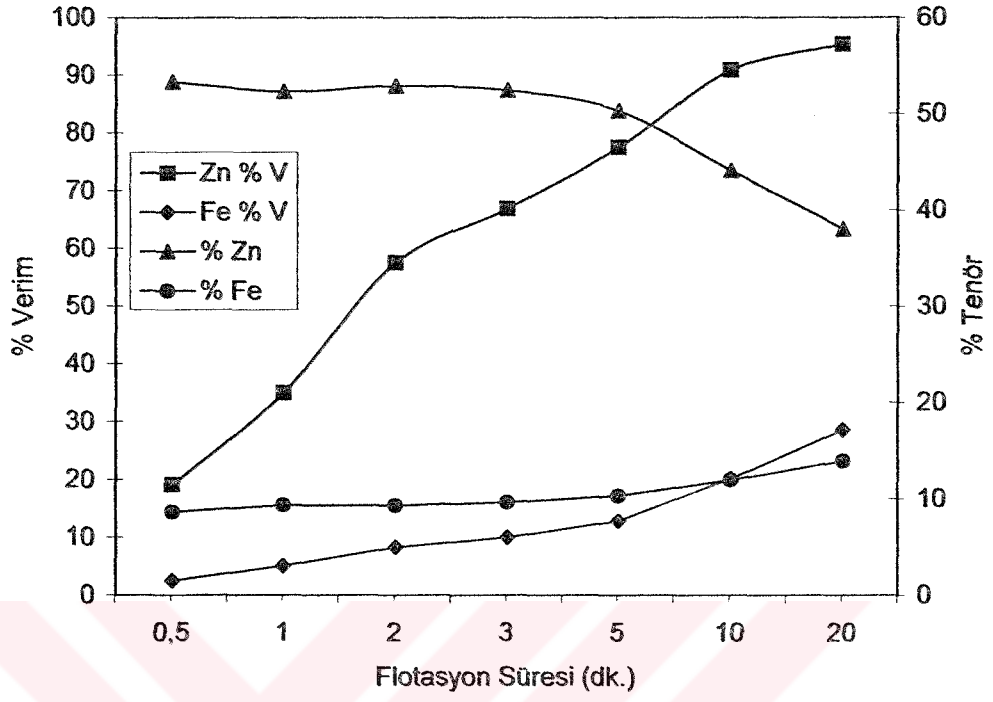
0.125 mm Tane İriliğinde Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



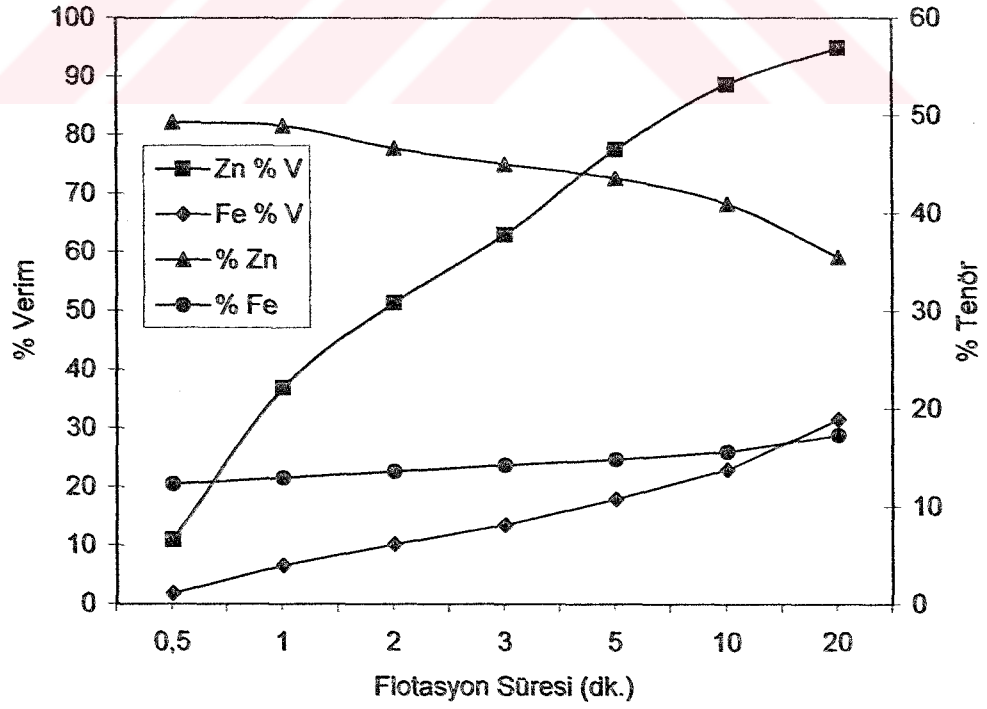
0.075 mm Tane İriliğinde Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



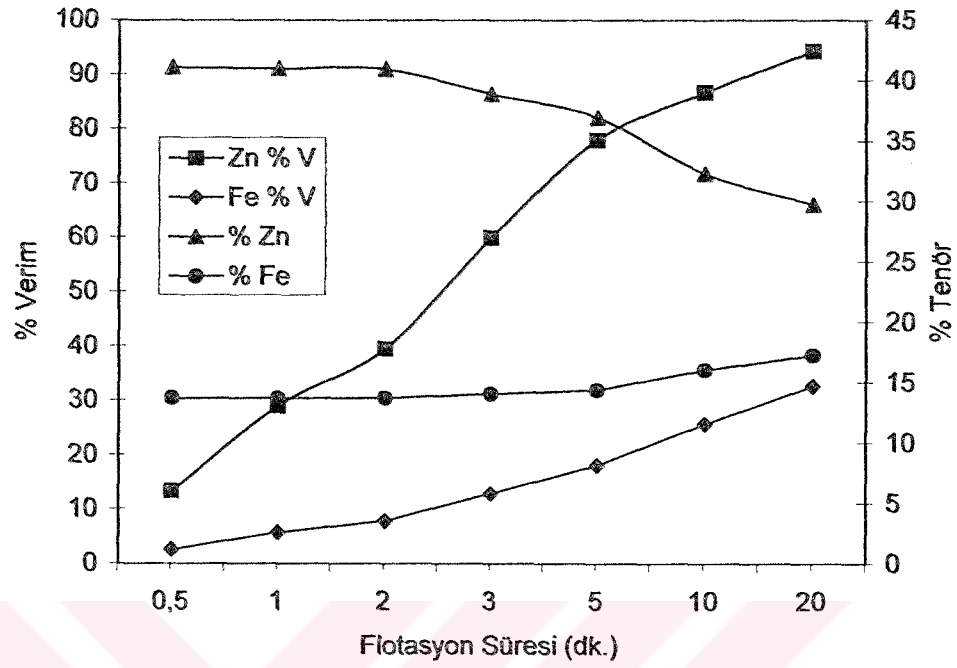
0.063 mm Tane İriliğinde Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



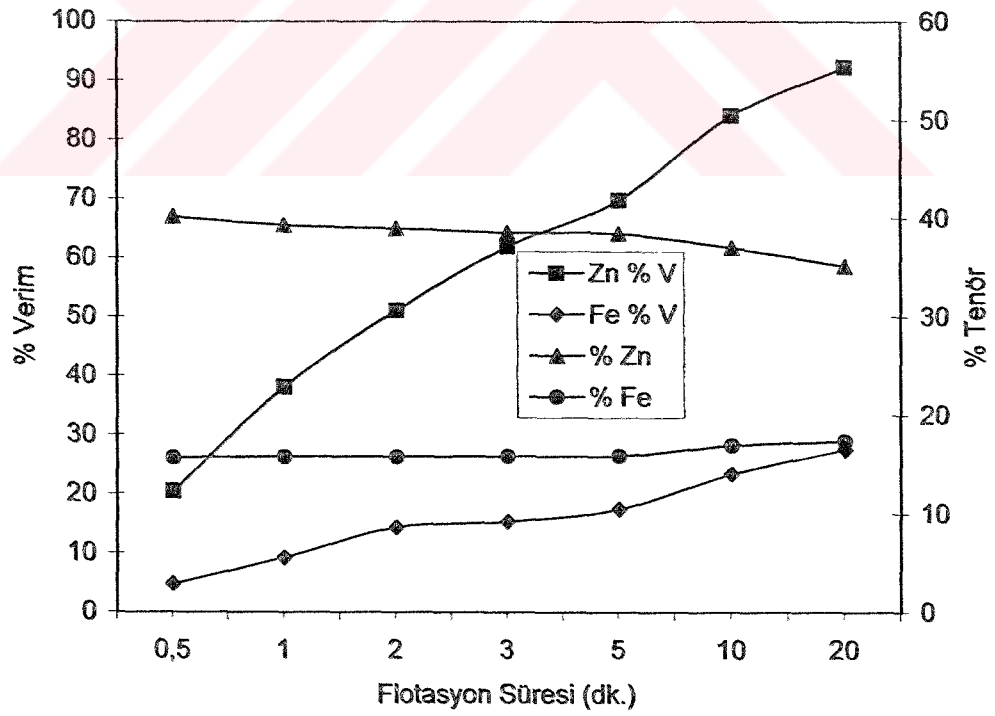
1.30 cm/sn Hava Hızında Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



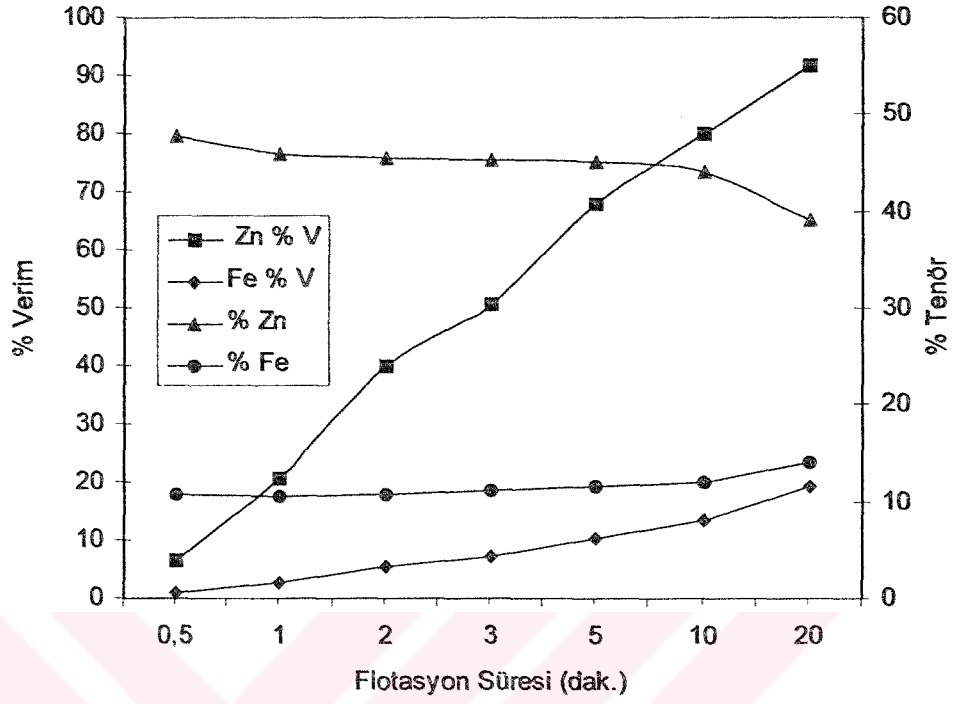
1.80 cm/sn Hava Hızında Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



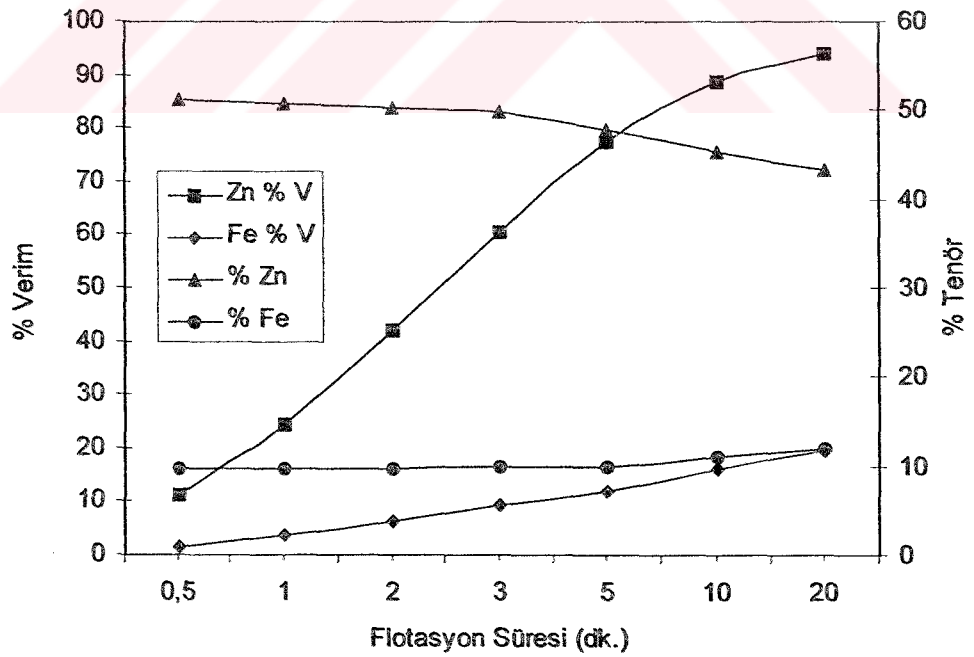
2.20 cm/sn Hava Hızında Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



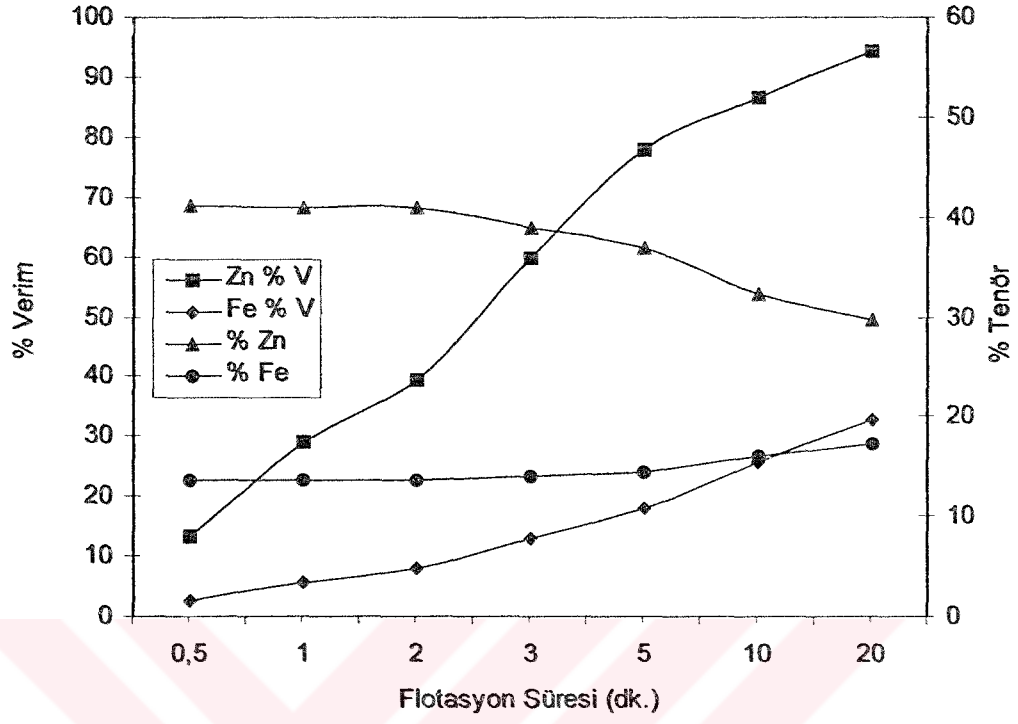
3.00 cm/sn Hava Hızında Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



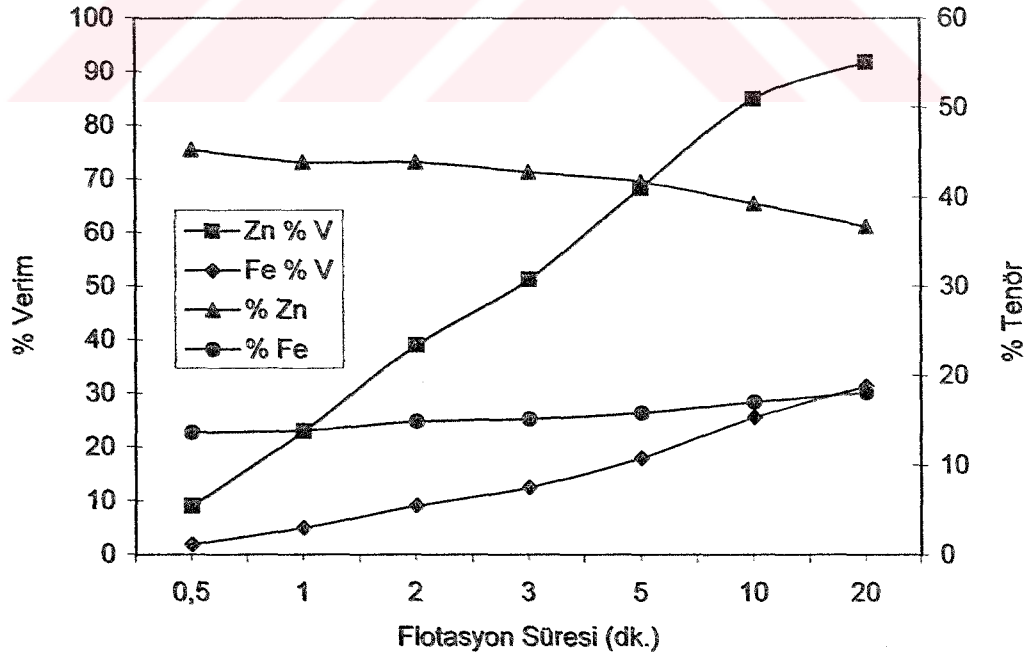
400 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



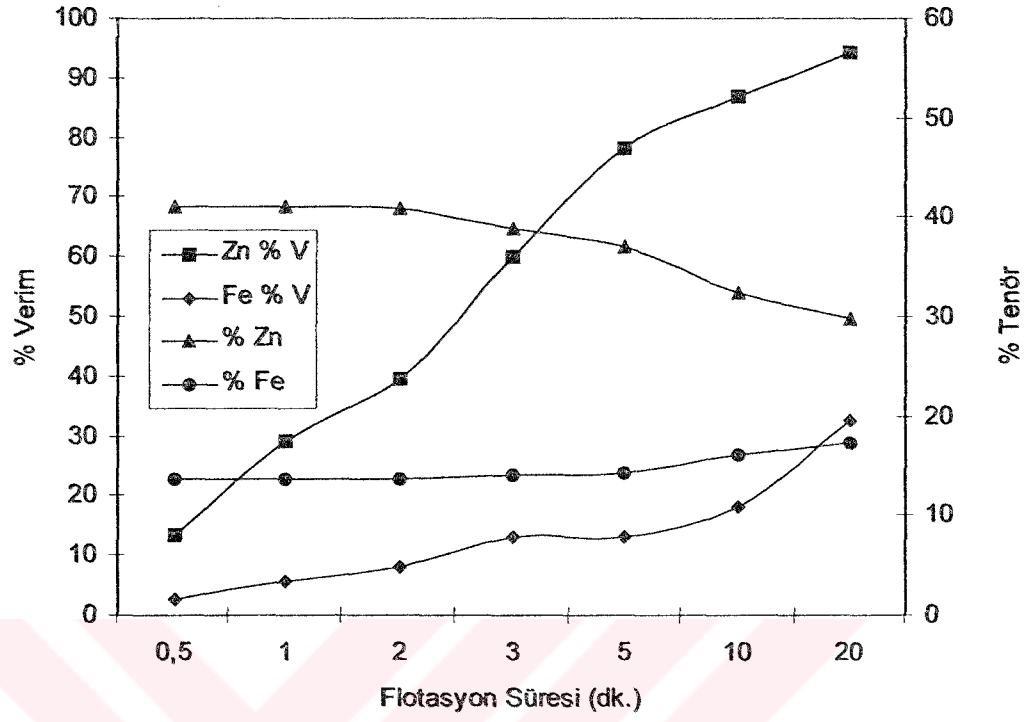
500 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



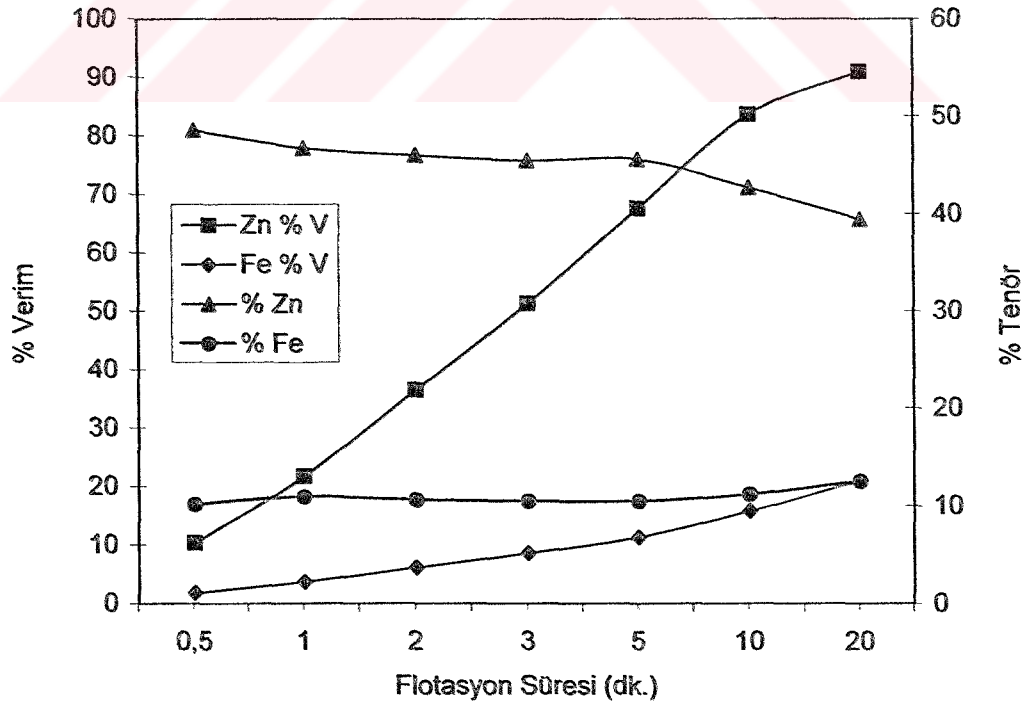
600 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



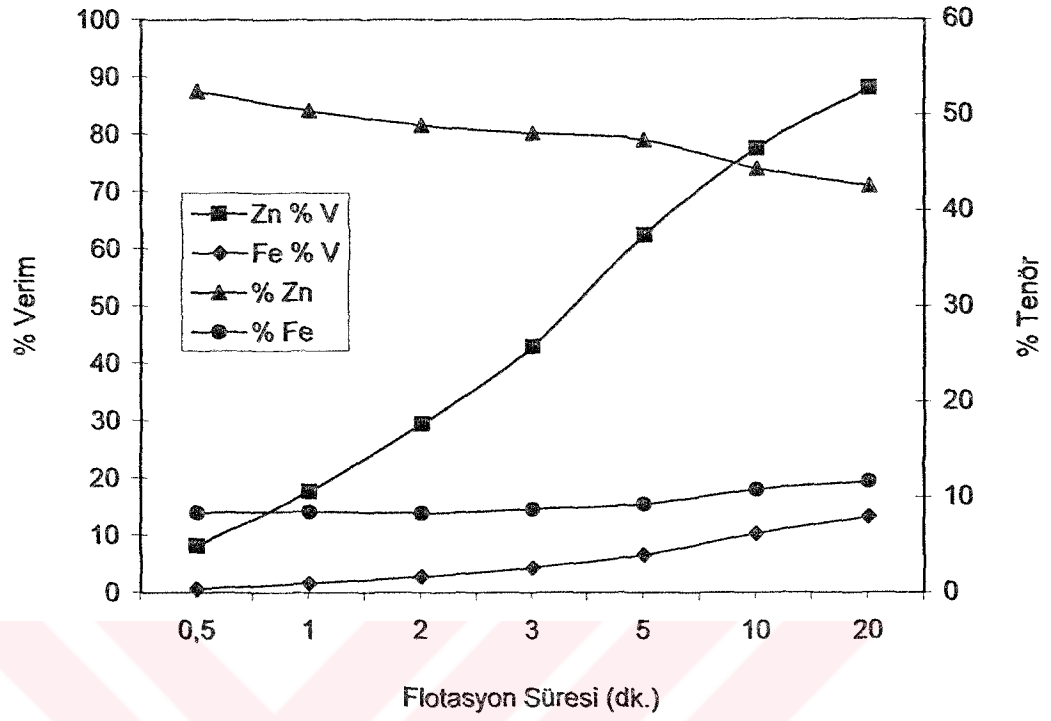
700 g/t Aerofloat 7048+Aerofloat 7279 Miktarı İçin Yapılan Flotasyon Deney Sonuçları



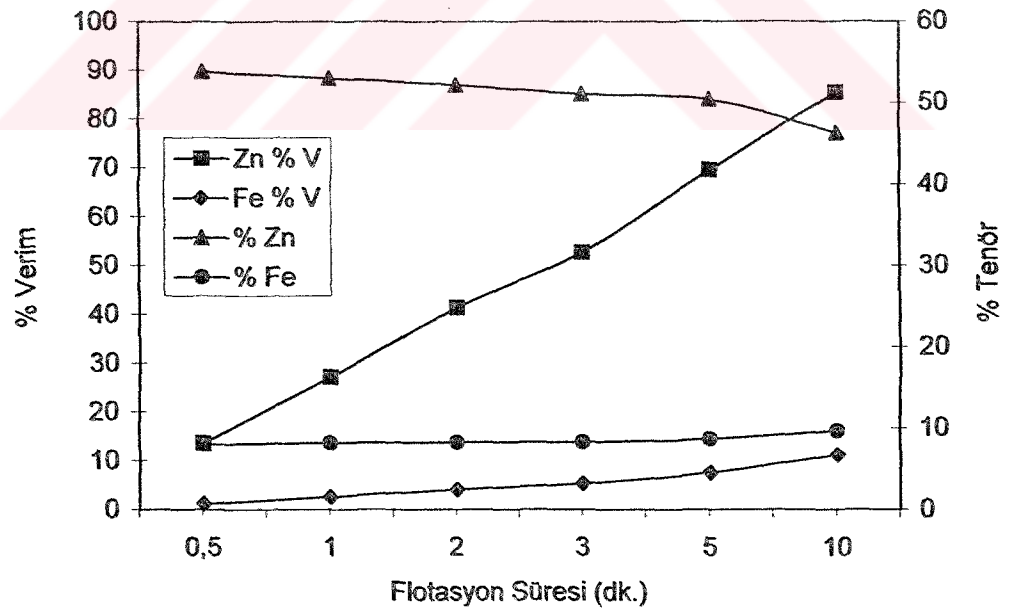
%7.5 Palp Katı Oranında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



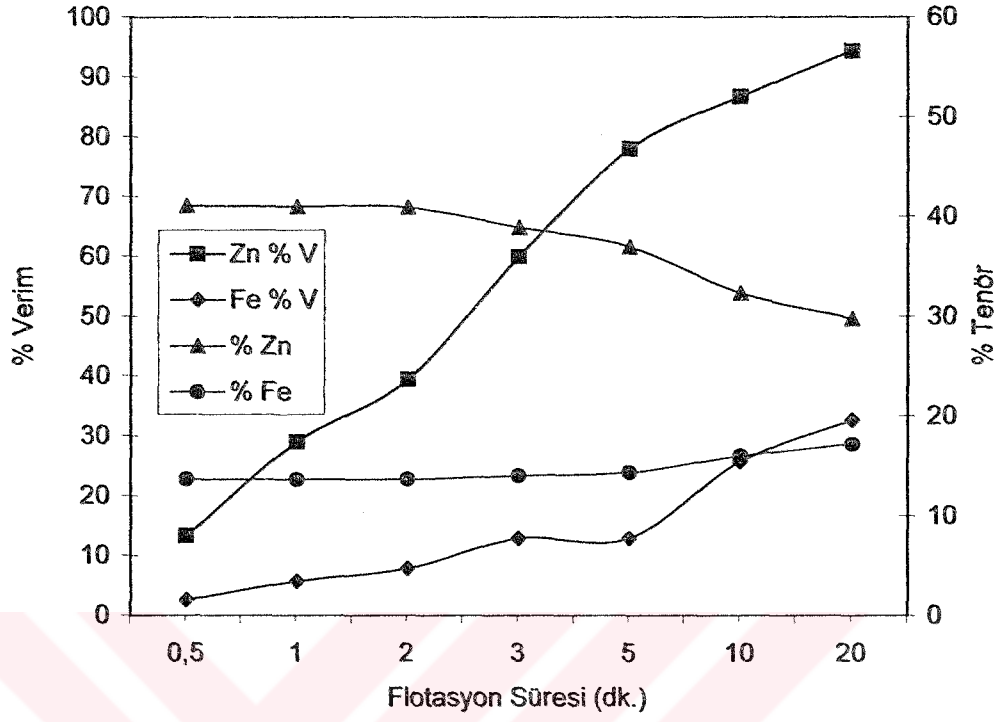
%10 Palp Katı Oranında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



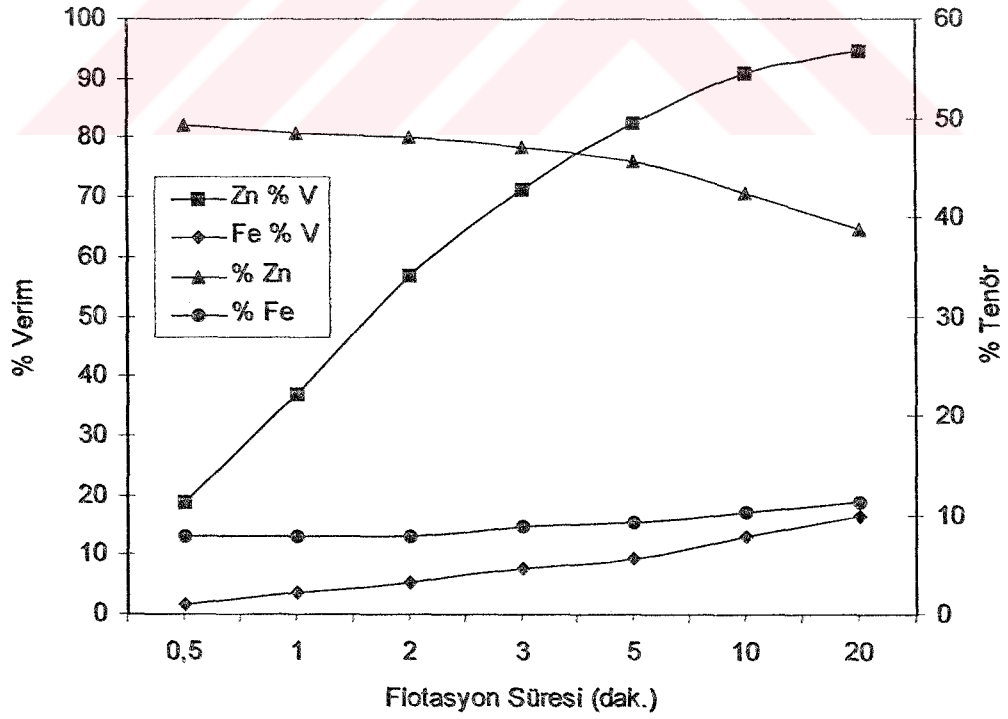
%15 Palp Katı Oranında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



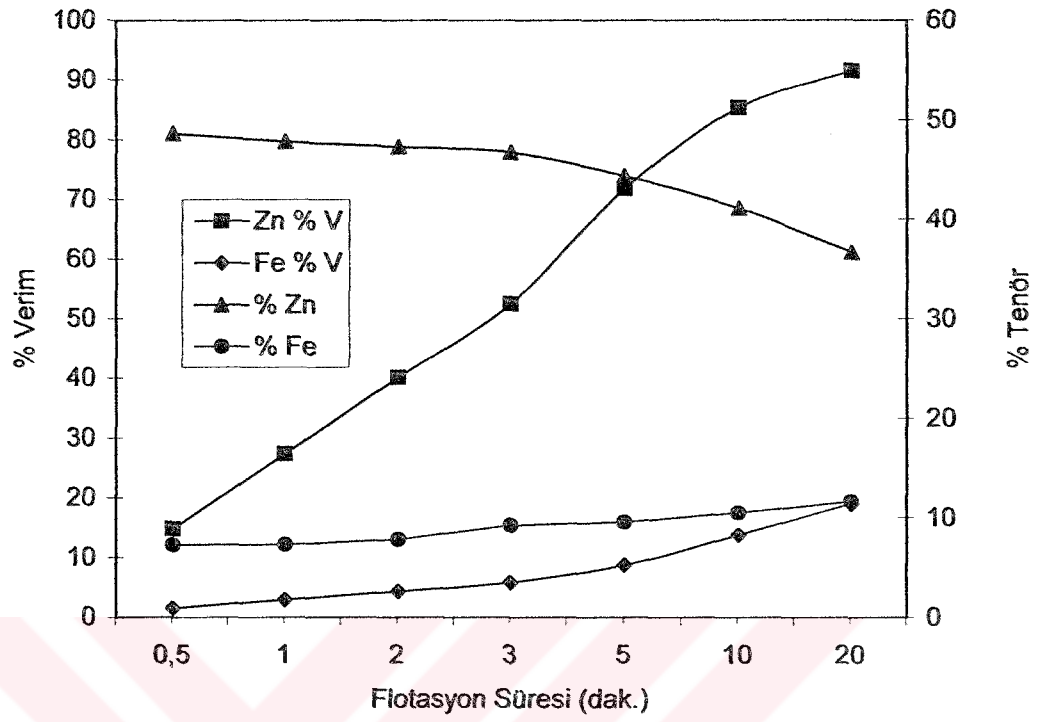
%20 Palp Katı Oranında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



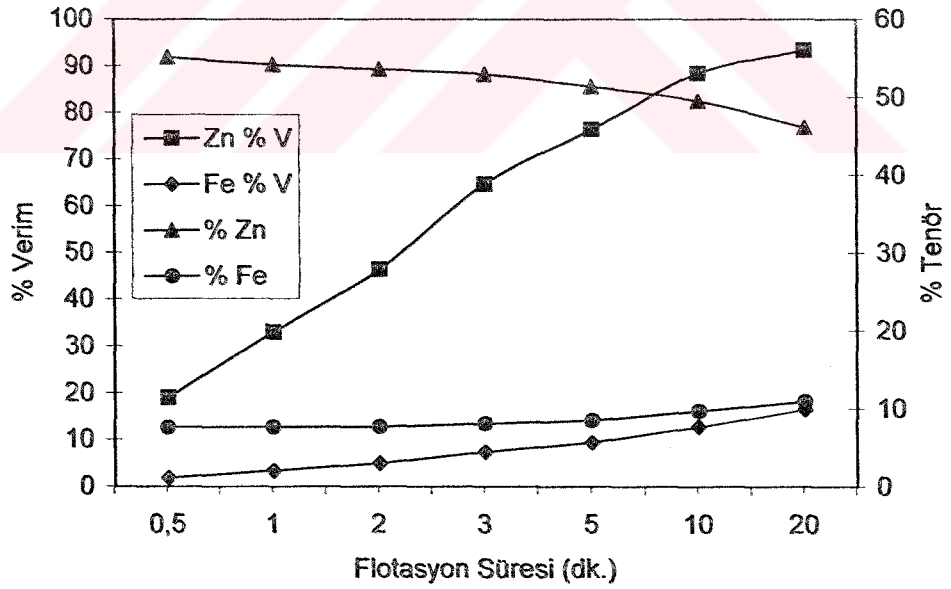
0 L./dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



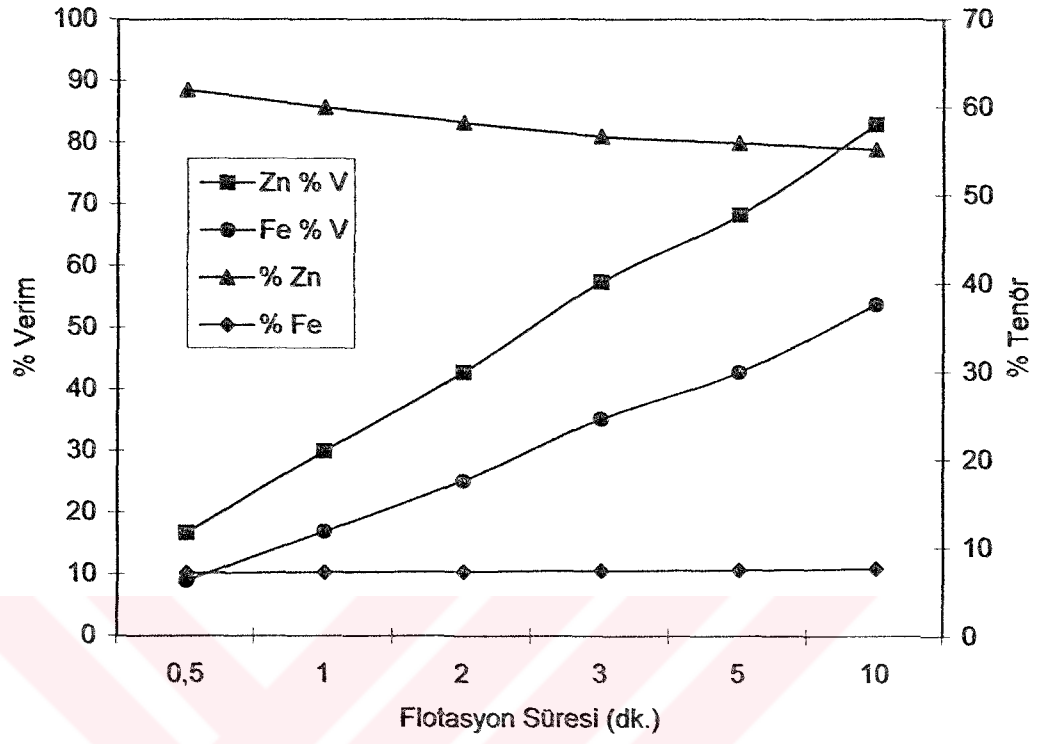
0.5 L./dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



0.75 L/dk. Yıkama Suyu Hızında Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



Optimum Şartlarda Gerçekleştirilen Flotasyon Deney Sonuçları



Temizleme Flotasyonu Deney Sonuçları

EK 3

Tane İriliği Flotasyon Deney Sonuçlarının Zn için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
15.91	11.79672	14.76621	17.73718	20.88747
24.04	22.04462	26.38959	29.62594	32.60818
41.67	38.6806	42.99601	44.55945	45.92229
51.9	51.23497	53.8083	53.5585	53.55643
62.19	67.85882	66.19557	63.87912	62.27535
80.07	84.46756	77.73183	74.67081	71.81648
89.85	89.52757	83.78725	81.56016	78.60099
19.16	17.63027	22.408	26.58714	30.84335
35.03	32.00205	38.09146	41.58397	44.73061
57.57	53.26785	57.42571	57.91896	58.6221
66.9	67.39926	68.06135	66.64551	65.8929
77.57	83.0299	78.47084	75.77957	73.69179
90.91	93.78845	86.89968	84.46143	81.69082
95.39	95.36311	91.14478	89.59368	87.06981
10.69	12.37758	15.49342	18.61521	21.90862
22.65	23.11555	27.66069	31.0455	34.14339
44.05	40.51269	44.99105	46.6061	47.99811
54.23	53.60605	56.23355	55.9546	55.92369
69.52	70.87682	69.06433	66.64978	64.9604
87.06	87.99161	80.96337	77.80329	74.83202
93.44	93.12231	87.19819	84.90773	81.84089
17.23	11.57173	14.46962	17.41043	20.48008
27.02	21.64078	25.89521	29.1295	32.0455
39.72	38.02599	42.28594	43.9063	45.23789
49.36	50.43198	53.01015	52.84143	52.82587
60	66.93708	65.36021	63.11713	61.51142
78.55	83.59279	76.928	73.89441	71.03829
89.11	88.7684	83.01493	80.79206	77.82644

Tane İriliği Flotasyon Deney Sonuçlarının Fe için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
2.39	1.621669	1.943378	2.334646	2.744622
3.91	3.134082	3.680427	4.256443	4.796862
6.23	5.860085	6.630468	7.233706	7.712407
8.22	8.231143	9.011411	9.433103	9.721052
10.63	12.08727	12.53145	12.4651	12.36809
16.21	18.10466	17.25517	16.42448	15.76213
24.07	22.59159	20.55067	19.52549	18.54356
2.54	1.639732	2.059271	2.956338	3.479288
5.12	3.185519	3.923399	5.359102	6.033065
8.3	6.016477	7.146694	9.027754	9.599716
10.06	8.532338	9.809069	11.69683	12.01965
12.98	12.75515	13.86738	15.32047	15.16752
20.2	19.82568	19.61826	19.95754	19.14283
28.62	25.91769	23.90058	23.51641	22.355
1.33	1.588312	1.885662	2.259338	2.652063
2.9	3.078156	3.588591	4.152483	4.68722
6.09	5.786483	6.523245	7.146641	7.650604
7.72	8.169413	8.936691	9.407817	9.738671
11.04	12.11077	12.59433	12.59612	12.54467
18.12	18.49668	17.72344	16.88882	16.22708
25.62	23.63945	21.4935	20.35773	19.31137
2.08	1.178178	1.419798	1.701537	2.005548
3.24	2.273632	2.681732	3.089763	3.485032
4.71	4.239195	4.807931	5.218605	5.560808
5.76	5.938431	6.506587	6.774473	6.974965
7.17	8.677378	8.984801	8.896347	8.820875
11.34	12.86746	12.2349	11.62788	11.16138
16.78	15.86772	14.44473	13.73674	13.05962

Hava Hızı Flotasyon Deney Sonuçlarının Zn için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
19.16	17.63027	22.41627	26.55872	30.83468
35.03	32.00205	38.10315	41.54921	44.72113
57.57	53.26785	57.43811	57.88524	58.61339
66.9	67.39926	68.07205	66.61574	65.88517
77.57	83.0299	78.47821	75.75647	73.6855
90.91	93.78845	86.90346	84.44708	81.68645
95.39	95.36311	91.14667	89.58561	87.06697
11.02	15.78103	20.35846	24.25758	27.77868
36.92	28.93809	35.11558	38.63949	41.25686
51.4	49.05294	54.10186	54.92007	55.28656
63.03	63.03477	65.04996	63.89388	62.83608
77.57	79.50905	76.20056	73.5019	71.08604
88.69	92.4109	85.49472	82.84528	79.7101
94.91	94.8442	90.20216	88.46821	85.60488
13.39	13.80941	17.37069	20.81428	24.4189
29.03	25.59763	30.61506	34.1048	37.27868
39.5	44.25049	48.77307	50.09993	51.31568
59.97	57.84274	60.03349	59.38354	59.13065
78.03	74.96477	72.30857	69.71875	67.87274
86.75	90.3671	83.16689	80.18546	77.23426
94.35	94.18187	88.75723	86.69296	83.76742
20.48	15.96234	20.23525	24.07561	28.03519
38.14	29.16056	34.77849	38.17948	41.26433
51.05	49.09637	53.29417	53.99507	54.82712
61.95	62.7256	63.84652	62.64518	62.04796
69.74	78.41343	74.48479	71.85411	69.8821
84.13	90.12404	83.2826	80.75774	78.0113
92.18	92.13414	87.73116	86.09166	83.5327

Hava Hızı Flotasyon Deney Sonuçlarının Fe için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
2.54	1.639732	2.059271	2.956338	3.479288
5.12	3.185519	3.923399	5.359102	6.033065
8.3	6.016477	7.146694	9.027754	9.599716
10.06	8.532338	9.809069	11.69683	12.01965
12.98	12.75515	13.86738	15.32047	15.16752
20.2	19.82568	19.61826	19.95754	19.14283
28.62	25.91769	23.90058	23.51641	22.355
1.88	2.069821	2.664333	3.879588	4.010715
6.65	4.003767	5.032806	6.909056	6.914158
10.22	7.499125	9.024295	11.33444	10.91901
13.59	10.55063	12.21409	14.41135	13.60654
17.96	15.54038	16.86953	18.40937	17.07048
23.01	23.42128	22.97896	23.24608	21.39856
31.53	29.44464	27.13589	26.76164	24.86162
2.67	2.594694	3.147297	3.788596	4.467777
5.79	4.98344	5.897234	6.790239	7.62807
7.91	9.207177	10.42087	11.24476	11.89945
12.95	12.78702	13.92615	14.39187	14.71551
18.15	18.39272	18.84363	18.54381	18.29252
25.72	26.43695	24.88443	23.66395	22.68782
32.69	31.4939	28.72381	27.45413	26.15136
4.86	3.493693	4.367999	5.246732	6.174615
9.3	6.544663	7.838752	8.815772	9.711108
12.41	11.53573	12.85885	13.35966	13.78296
15.4	15.342	16.17597	16.13114	16.14157
17.51	20.45839	20.03638	19.34099	18.85502
23.45	25.73558	23.69553	22.73374	21.8472
27.57	27.44794	25.63118	24.91939	23.98908

Toplayıcı Miktarı Flotasyon Deney Sonuçlarının Zn için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
6.62	10.89158	13.55203	16.31559	19.24776
20.75	20.48895	24.50109	27.70046	30.64888
40.06	36.39797	40.69021	42.54381	44.07959
50.6	48.75081	51.676	51.79536	51.99635
68.06	65.78995	64.83772	62.70377	61.22023
79.99	84.35845	77.74924	74.46602	71.52884
91.66	91.07837	84.69497	82.17322	78.99476
11.12	13.69579	17.2286	20.64681	20.7815
24.59	25.39228	30.37481	33.84534	32.75466
42.13	43.91216	48.41612	49.74521	46.59499
60.66	57.41966	59.61711	58.9813	54.63605
77.37	74.45673	71.84137	69.27031	63.90688
88.67	89.82366	82.66672	79.69744	74.15335
93.82	93.64977	88.24212	86.18401	81.50263
13.39	13.80941	17.37069	20.81428	24.4189
29.03	25.59763	30.61506	34.1048	37.27868
39.5	44.25049	48.77307	50.09993	51.31568
59.97	57.84274	60.03349	59.38354	59.13065
78.03	74.96477	72.30857	69.71875	67.87274
86.75	90.3671	83.16689	80.18546	77.23426
94.35	94.18187	88.75723	86.69296	83.76742
9.09	11.58463	14.46705	17.39582	20.49531
22.97	21.70783	25.97859	29.25055	32.25582
39.03	38.28411	42.65981	44.36845	45.81351
51.29	50.9419	53.70687	53.60324	53.67415
68.38	67.98823	66.59415	64.31188	62.72354
84.94	85.63998	78.84323	75.64607	72.7096
91.83	91.41275	85.33107	82.95607	79.86236

Toplayıcı Miktarı Flotasyon Deney Sonuçlarının Fe için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
1.88	1.430133	1.730165	2.076499	2.450649
2.78	2.755273	3.258545	3.752947	4.230821
5.55	5.120837	5.811555	6.293425	6.693841
7.28	7.151813	7.828825	8.127291	8.35116
10.3	10.3926	10.7302	10.5978	10.49208
13.4	15.24074	14.44418	13.72741	13.17404
19.48	18.55745	16.90462	16.10544	15.32509
1.61	1.722855	2.108065	2.540651	3.002057
3.62	3.293102	3.91716	4.494243	5.036118
6.27	6.028645	6.819832	7.301381	7.687567
9.25	8.301031	8.999262	9.221274	9.3827
12.12	11.75672	11.93871	11.67781	11.48337
14.21	16.40699	15.33258	14.5936	13.99387
19.45	18.97391	17.37219	16.67541	15.92315
2.67	2.588674	3.147297	3.788596	4.467777
5.79	4.972355	5.897234	6.790239	7.62807
7.91	9.188383	10.42087	11.24476	11.89945
12.95	12.76313	13.92615	14.39187	14.71551
18.15	18.3641	18.84363	18.54381	18.29252
25.72	26.41189	24.88443	23.66395	22.68782
32.69	31.48429	28.72381	27.45413	26.15136
1.9	2.593303	3.161711	3.812373	4.481564
5.03	4.972427	5.906268	6.79923	7.605147
9.18	9.157433	10.38023	11.17802	11.77384
12.59	12.67971	13.80733	14.23354	14.49254
18.03	18.13926	18.54586	18.21732	17.91558
25.58	25.79977	24.23284	23.05743	22.07993
31.4	30.40119	27.7689	26.5897	25.33191

Pulp Katı Oranı Flotasyon Deney Sonuçlarının Zn için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
13.39	13.80941	17.37069	20.81428	24.4189
29.03	25.59763	30.61506	34.1048	37.27868
39.5	44.25049	48.77307	50.09993	51.31568
59.97	57.84274	60.03349	59.38354	59.13065
78.03	74.96477	72.30857	69.71875	67.87274
86.75	90.3671	83.16689	80.18546	77.23426
94.35	94.18187	88.75723	86.69296	83.76742
10.18	11.31027	14.11628	16.96857	20.01029
21.75	21.21449	25.39109	28.60252	31.58254
36.5	37.48224	41.81048	43.52237	44.99335
51.3	49.95672	52.74935	52.68259	52.79986
67.6	66.85763	65.59309	63.34915	61.81278
83.64	84.58421	77.89255	74.69108	71.78881
90.98	90.53038	84.42997	82.03477	78.95327
8.19	9.28504	11.47975	13.83386	16.33919
17.74	17.59084	21.00863	23.91061	26.60372
29.43	31.66695	35.61767	37.60747	39.21736
42.96	42.93057	45.98145	46.48324	46.90264
62.37	59.1559	59.04065	57.30243	56.07937
77.45	78.56373	72.71202	69.42096	66.60879
88.04	87.02001	80.351	77.62967	74.41274
13.6	12.80933	16.07681	19.28297	22.65752
27.25	23.81955	28.49157	31.83489	34.89188
41.47	41.41793	45.7926	47.19543	48.45311
52.75	54.41998	56.72925	56.24097	56.08869
69.56	71.1234	68.88215	66.42601	64.69762
85.49	86.78037	79.83923	76.86615	73.99232
91.2	90.98582	85.51776	83.42183	80.52489

Pulp Katı Oranı Flotasyon Deney Sonuçlarının Fe için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
2.67	2.593189	3.147297	3.788596	4.467777
5.79	4.980669	5.897234	6.790239	7.62807
7.91	9.20248	10.42087	11.24476	11.89945
12.95	12.78105	13.92615	14.39187	14.71551
18.15	18.38557	18.84363	18.54381	18.29252
25.72	26.43069	24.88443	23.66395	22.68782
32.69	31.4915	28.72381	27.45413	26.15136
1.86	1.690633	2.051563	2.472429	2.913603
3.71	3.244704	3.8395	4.422441	4.961832
6.13	5.986394	6.770121	7.301994	7.71545
8.61	8.303049	9.030697	9.326152	9.52256
11.3	11.91461	12.18382	11.98372	11.80942
15.84	17.04671	16.02139	15.24102	14.60753
20.93	20.2095	18.43889	17.63813	16.80399
0.73	0.902995	1.08329	1.300049	1.528985
1.66	1.744311	2.049874	2.3673	2.667677
2.79	3.258468	3.687385	4.015538	4.27935
4.35	4.572841	5.004823	5.229139	5.385972
6.59	6.704195	6.944502	6.896608	6.840116
10.28	10.00852	9.528751	9.064466	8.698323
13.22	12.43985	11.31695	10.75478	10.21635
1.28	1.144689	1.393872	1.676107	1.975082
2.66	2.198257	2.610586	3.002275	3.36985
4.15	4.060469	4.609384	4.967441	5.252291
5.4	5.638006	6.155575	6.35374	6.491829
7.56	8.106475	8.320001	8.180027	8.064726
11.28	11.64307	10.96956	10.42807	9.995238
14.38	13.85908	12.6479	12.08926	11.51492

Yıkama suyu hızı Flotasyon Deney Sonuçlarının Zn için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
13.39	13.80941	17.37069	20.81428	24.4189
29.03	25.59763	30.61506	34.1048	37.27868
39.5	44.25049	48.77307	50.09993	51.31568
59.97	57.84274	60.03349	59.38354	59.13065
78.03	74.96477	72.30857	69.71875	67.87274
86.75	90.3671	83.16689	80.18546	77.23426
94.35	94.18187	88.75723	86.69296	83.76742
14.88	12.94359	16.25098	19.50264	22.90442
27.44	24.05698	28.77492	32.15471	35.21933
40.18	41.79171	46.18272	47.59204	48.8336
52.52	54.86571	57.15315	56.65934	56.48406
71.82	71.60901	69.30584	66.84815	65.09793
85.4	87.20043	80.22827	77.26941	74.38467
91.54	91.33428	85.8824	83.80151	80.90359
18.76	18.98347	24.20054	28.5572	32.96632
37.19	34.15953	40.5293	43.87631	46.92458
56.81	55.99076	59.80254	59.95818	60.46831
71.23	69.94302	69.92444	68.30318	67.41151
82.36	84.55858	79.4825	76.86123	74.75762
90.88	93.57407	87.05128	84.83311	82.18818
94.65	94.63777	90.85063	89.47309	87.12562

Yıkama Suyu Flotasyon Deney Sonuçlarının Fe için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneyisel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
2.67	2.593189	3.147297	3.788596	4.467777
5.79	4.980669	5.897234	6.790239	7.62807
7.91	9.20248	10.42087	11.24476	11.89945
12.95	12.78105	13.92615	14.39187	14.71551
18.15	18.38557	18.84363	18.54381	18.29252
25.72	26.43069	24.88443	23.66395	22.68782
32.69	31.4915	28.72381	27.45413	26.15136
1.6	1.282997	1.538155	1.847458	2.173382
3.02	2.479494	2.912826	3.367951	3.797762
4.42	4.635925	5.24701	5.723034	6.1045
5.9	6.511386	7.13046	7.462434	7.693113
8.82	9.561063	9.914138	9.859777	9.785952
13.86	14.31845	13.6477	12.98948	12.46837
19.03	17.86349	16.25081	15.43996	14.66585
1.76	2.123069	1.929714	2.324852	2.741643
3.56	3.970624	3.562104	4.071167	4.540595
5.5	6.977565	6.130023	6.519872	6.826034
7.85	9.254712	8.010932	8.154851	8.256415
9.89	12.28513	10.47244	10.2014	9.999759
13.08	15.34505	13.18978	12.56673	12.04526
16.36	16.29703	14.76551	14.21465	13.59159

Optimum Şartlarda Yapılan Flotasyon Deney Sonuçlarının Zn için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
19.05	16.01684	21.40538	24.16508	28.1529
32.99	29.2873	36.53727	38.39691	41.52665
46.46	49.39201	55.41764	54.42287	55.28721
64.77	63.19319	65.94091	63.21812	62.63183
76.46	79.1708	76.35183	72.60505	70.61382
88.48	91.23941	84.84436	81.70389	78.91082
93.41	93.35956	89.1271	87.16568	84.55461

Optimum Şartlarda Yapılan Flotasyon Deney Sonuçlarının Fe için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
1.95	1.475219	1.807086	2.177059	2.569475
3.46	2.818622	3.355407	3.846859	4.305017
4.99	5.156044	5.834192	6.239828	6.56159
7.46	7.094415	7.690191	7.872135	8.001206
9.44	10.03489	10.18488	9.955604	9.782238
12.86	13.9705	13.05032	12.42118	11.90678
16.51	16.11939	14.76489	14.17666	13.53672

Temizleme Flotasyon Deney Sonuçlarının Zn için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
16.73	14.91874	18.39436	21.6448	24.74972
29.89	27.15334	31.56239	34.3287	36.59044
42.78	45.41492	48.24621	48.55552	48.82066
57.50	57.6995	57.7036	56.33826	55.36612
68.26	71.5113	67.194023	64.62502	62.49257
82.92	81.3500	75.0155	72.63826	69.9141

Temizleme Flotasyon Deney Sonuçlarının Fe için Deneysel %Verim ve Model %Verim Değerleri

Deneysel	Model 1	Model 2	Model 3, 4, 5	Model 6
0	0	0	0	0
9.05	8.616226	10.51845	12.4174	14.274
16.98	15.852800	18.38984	20.17836	21.67496
25.20	27.03525	28.92828	29.3505	29.67816
35.23	34.92327	35.2861	34.59176	34.10368
42.77	44.41235	42.03477	40.35719	39.03092
53.81	52.16875	47.85827	46.12265	44.28155