

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLİKATLARIN FLOTASYONUNDA
MİNERAL ÖZELLİKLERİNİN
FLOTASYON BAŞARISINA ETKİSİ**

SELÇUK ÖZGEN

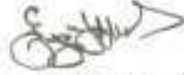
Danışman: Doç. Dr. Emin Cafer ÇİLEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
ISPARTA-2008**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda
oybirliği ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Eyüp SABAH



Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fak. Maden Müh. Bölümü

Üye: Doç. Dr. Emin Cafer ÇİLEK



Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Bölümü

Üye: Yrd. Doç. Dr. İ. Yıldırım TOSUN



Süleyman Demirel Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Bölümü

ONAY

Bu tez 21 /01/2008 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

.../.../2008

Prof. Dr. Fatma GÖKTEPE

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1 Silikatların Tanımı ve Oluşumu.....	3
2.1.1 Silikat Yapıları ve Sınıflandırılması.....	3
2.1.2 Feldspat Mineralleri	6
2.1.2.1 Dünya’da ve Türkiye’de Feldspatlar.....	10
2.1.2.2 Feldspatların Kullanım Alanları.....	13
2.1.2.3 Feldspatları Zenginleştirme Yöntemleri.....	19
2.1.3 Kuvars	22
2.1.3.1 Kuvarsın Kullanım Alanları	23
2.1.3.2 Kuvarsın Zenginleştirme Yöntemleri.....	23
2.2 Silikatların Flotasyonu	26
2.2.1 Feldspatların Flotasyonu	27
2.2.2 Kuvars Flotasyonu	38
3. MATERYAL VE YÖNTEM	40
3.1 Deneysel Materyal	40
3.2 Deneysel Yöntemler.....	42
3.2.1 Mineral Yüzeylerinden Çözülen İyonların Belirlenmesi	42
3.2.2 Elektrokinetik Ölçümler	43
3.2.3 Temas Açısı Ölçümleri.....	44
3.2.4 Mikroflotasyon Deneyleri	47
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	49
4.1 Mineral Yüzeylerinden Çözünen İyonların Belirlenmesi	49

4.1.1 Asidik Ortamda Minerallerden Çözünen İyonların Belirlenmesi.....	49
4.1.2 Bazik Ortamda Minerallerden Çözünen İyonların Belirlenmesi	52
4.2 Zeta Potansiyeli Ölçümleri	54
4.2.1 Ortam pH'sının Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Zeta Potansiyeline Etkisi	55
4.2.2 Bazı Katyonların Zeta Potansiyeline Etkisi.....	57
4.2.3 Katyonik Toplayıcının Zeta potansiyeline Etkisi	61
4.3 Temas Açısı Ölçümleri.....	64
4.3.1 Katyonik Toplayıcının Minerallerin Temas Açısına Etkisi.....	65
4.3.2 Anyonik Toplayıcının Minerallerin Temas Açısına Etkisi	66
4.4 Mikroflotasyon Deneyleri	66
4.4.1 Toplayıcı Miktarının Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi	67
4.4.2 Köpürtücü Miktarının Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi	70
4.4.3 pH'ın Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi	72
4.4.4 Bazı Katyonların Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi...	74
4.5. Zenginleştirme Çalışmaları	78
4.5.1 Köpürtücü Türünün Flotasyona Etkisi	80
4.5.2 Tane Boyutunun Flotasyon Başarısına Etkisi.....	81
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	89
6. KAYNAKLAR	92
EKLER.....	99
ÖZGEÇMİŞ.....	110

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİKATLARIN FLOTASYONUNDA MİNERAL ÖZELLİKLERİN FLOTASYON BAŞARISINA ETKİSİ

Selçuk ÖZGEN

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Juri: Prof. Dr. Eyüp SABAH
Doç. Dr. Emin Cafer ÇİLEK (Danışman)
Yrd. Doç. Dr. Yıldırım TOSUN

Silikat mineralleri, “endüstriyel hammaddeler” olarak adlandırılan kilden kuvarsa kadar pek çok minerali içeren, yeryüzünde en yaygın bulunan mineral grubudur. İnce boyutlarda serbestleşen ve fiziksel açıdan birbirine benzeyen bu minerallerin birbirlerinden fiziksel yöntemlerle ayrılmaları oldukça güçtür. Bu yüzden, flotasyon silikat minerallerinin zenginleştirilmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışmada, yüzey özellikleri ve tane boyutunun feldspat ve kuvarsın flotasyon başarısına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, yüzey yükü oluşum mekanizmalarının ve çözünürlüklerinin belirlenmesi için zeta potansiyeli ölçümleri ve saf süspansiyonlarının iyon analizleri yapılmıştır. Bu iki mineral arasındaki yüzey özellikleri farklılıkların belirlenebilmesi için katyonik toplayıcılarla ve farklı değerlikli iyonlarla zeta potansiyeli ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak her bir mineral için mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerin sonuçlarına göre, feldspat’ın kuvarstan flotasyonla ayrılmasının $pH \leq 3$ ’de F^- iyonu içeren ortamlarda düşük amin konsantrasyonlarında başarıyla gerçekleşeceği belirlenmiştir. Ayrıca, belirlenen bu şartlarda tane boyutunun flotasyon başarısına etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla üç farklı tane boyutunda (-0,075 mm, -0,075+0,038 mm, -0,038 mm) sınıflandırılmış mineral taneleri ile hazırlanan yapay cevherle feldspat-kuvars flotasyonu yapılmış ve sonuçlar istatistiksel deney tasarım yöntemleri kullanarak da değerlendirilmiştir. Sonuçta, şlam içermeyen (+0,038 mm) numune ile yapılan deneylerde flotasyon verimini etkileyen en önemli değişkenin köpürtücü miktarı olduğu tespit edilirken, daha fazla yüzey alanına sahip şlam boyutunda malzeme içeren (-0,075 mm ve -0,038 mm) numunenin flotasyonunda en önemli değişkenin toplayıcı miktarı olduğu belirlenmiştir. Sınıflandırılmamış numunenin flotasyonunda şlam içermeyen numunenin kullanıldığı deneylerde elde edilen mineral verimini elde etmek için daha fazla toplayıcı kullanılması gerektiği görülmüştür. Ayrıca sınıflandırılmamış numune içindeki şlam taneleri düşük zeta potansiyeline sahip olduklarından, şlam kaplama ve topaklanma gibi alt süreçler gelişebilmektedir. Buna bağlı olarak, flotasyon seçiciliği ve verimi de olumsuz etkilenmektedir. Bu yüzden feldspat flotasyonunda şlam uzaklaştırmanın doğru bir uygulama olduğu kanısına varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silikatlar, Feldspat, Kuvars, Flotasyon, Tane Boyutu, Zeta Potansiyeli

2008, 112 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EFFECT OF MINERAL PROPERTIES ON FLOTATION PERFORMANCE IN FLOTATION OF SILICATES

Selçuk ÖZGEN

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mining Engineering**

Thesis Committee: Prof. Dr. Eyüp SABAH
Assoc. Prof. Emin Cafer ÇİLEK (Supervisor)
Asst. Prof. Yıldırım TOSUN

Silicate minerals exist widespread on the earth and contain many minerals from clay to quartz, which are called as “industrial raw materials”. Separation (enrichment) of these minerals from each other is quite difficult because they have similar properties. Therefore, flotation is primary method for separation of feldspar from quartz.

In this study, feldspar and quartz minerals were used as materials exhibiting the general properties of silicate minerals. The effects of particle size and surface properties on the flotation recovery of feldspar and quartz were investigated. In addition, the measurement of zeta potential and solubility analysis were made to determine potential determine ions of these minerals. According to results of zeta potential and contact angle measurements, several microflotation tests were made by using cationic collectors in the presence and absence of the some ions having different valences. According to results of these tests, it was determined that feldspar-quartz separation at $\text{pH} \leq 3$ can be achieved by using low amine dosage in the presence of flour ion. In order to investigate the effect of particle size on the flotation performance, artificial ore samples were prepared by using the various size fractions of feldspar and quartz minerals (-0.075 mm, -0.075+0.038 mm and -0.038 mm). The artificial ore samples were used in the flotation tests conducted under the flotation conditions determined. The tests were experimentally designed and the results were evaluated statistically. The results have showed that the frother dosage is the most significant variable for the flotation of the de-slimed ore sample. On the other hand, the collector dosage exhibits the most pronounced effect on the flotation of the samples containing slime-sized particles (-0.075 mm and -0.038 mm). Furthermore, it was determined that high collector dosage must be used to obtain high flotation efficiency in the flotation of the samples containing slime-sized particles. It must be noted that the particle size distribution and zeta potentials of the samples exhibit detrimental effect on the flotation efficiency and selectivity because slime coating and coagulation processes can be taken place under these conditions. Another important point to be noted that the de-sliming is a plausible method for separation of feldspar from quartz by flotation in the plants.

Key Words: Silicates, Feldspar, Quartz, Flotation, Particle Size, Zeta Potential.

2008, 112 pages

ÖNSÖZ

Bu çalışma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorluklarda bilgi ve tecrübesiyle yardımcı olan ve deneysel çalışmalarımın her aşamasında katkılarını esirgemeyen Danışmanım Sayın Doç. Dr. Emin Cafer ÇİLEK'e, deneysel çalışma ortamının hazırlanmasında yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Eyüp SABAH'a teşekkürlerimi sunarım.

1240-YL-06 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez çalışmamı, yüksek lisans eğitimim sırasında dünyaya gelen biricik kızım Elif Nur'a hediye eder, tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme ve eşim Ayşe'ye sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Selçuk ÖZGEN
Isparta, 2008

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Feldspatların genel flotasyon akım şeması.....	28
Şekil 3.1 Zeta Meter 3.0 cihazı.....	43
Şekil 3.2 Temas Açısı Ölçüm Cihazı.....	45
Şekil 3.3 Mineralin parlak kesitine hava kabarcığının tutunması	46
Şekil 3.4 Mineral üzerinde tutunmuş hava kabarcığı ve temas açısının ölçülmesi.	46
Şekil 3.5 Mikroflotasyon deney düzeneği.....	47
Şekil 4.1 HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu	50
Şekil 4.2 HF ile hazırlanmış süspansiyonda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu	50
Şekil 4.3 HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, kuvars mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu	51
Şekil 4.4 HF ile hazırlanmış süspansiyonda, kuvars mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu	51
Şekil 4.5 NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu	53
Şekil 4.6 NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda, kuvars mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu	53
Şekil 4.7 HCl/NaOH ile pH'ya bağlı zeta potansiyeli profilleri	55
Şekil 4.8 HF/NaOH ile pH'ya bağlı zeta potansiyeli profilleri.....	56
Şekil 4.9 HCl ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların kuvarsın zeta potansiyeline etkisi.....	58
Şekil 4.10 HCl ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların feldspatın zeta potansiyeline etkisi.....	58
Şekil 4.11 HF ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların kuvarsın zeta potansiyeline etkisi.....	59
Şekil 4.12 HF ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların feldspatın zeta potansiyeline etkisi.....	59
Şekil 4.13 NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların kuvarsın zeta potansiyeline etkisi.....	61

Şekil 4.14 NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların feldspatın zeta potansiyeline etkisi	61
Şekil 4.15 HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) kuvarsın zeta potansiyeline etkisi	62
Şekil 4.16 HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspatın zeta potansiyeline etkisi	62
Şekil 4.17 HF ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) kuvarsın zeta potansiyeline etkisi	63
Şekil 4.18 HF ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspatın zeta potansiyeline etkisi	63
Şekil 4.19 HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspat ve kuvars mineralinin temas açısına etkisi	65
Şekil 4.20 HF ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspat ve kuvars mineralinin temas açısına etkisi	65
Şekil 4.21 Toplayıcı miktarının (Aero 3000C) kuvars mineralinin yüzebilirliğine etkisi	68
Şekil 4.22 Toplayıcı miktarının (Aero 3000C) feldspat mineralinin yüzebilirliğine etkisi	68
Şekil 4.23 Köpürtücü miktarının (DF-250) kuvars mineralinin yüzebilirliğine etkisi	71
Şekil 4.24 Köpürtücü miktarının (DF-250) feldspat mineralinin yüzebilirliğine etkisi	71
Şekil 4.25 HCl ile hazırlanmış pülpte, pH'nın kuvars ve feldspatın flotasyonuna etkisi	73
Şekil 4.26 HF ile hazırlanmış pülpte, pH'nın kuvars ve feldspatın flotasyonuna etkisi	73
Şekil 4.27 HCl ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların kuvars flotasyonuna etkisi	75
Şekil 4.28 HCl ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların feldspat flotasyonuna etkisi	75
Şekil 4.29 HF ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların kuvars flotasyonuna etkisi	76

Şekil 4.30 HF ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların feldspat flotasyonuna etkisi.....	76
Şekil 4.31 Köpürtücü türünün feldspat flotasyonuna etkisi	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Silikat yapıları	4
Çizelge 2.2 Feldspatların Sınıflandırılması	8
Çizelge 2.3 Dünya Feldspat rezervlerinin kıtalara göre dağılımı	11
Çizelge 2.4 Potansiyel Türkiye rezervleri	12
Çizelge 2.5 Ülkemiz şirketler bazında Na-Feldspat rezervi	12
Çizelge 2.6 Ülkemiz feldspat rezervleri ve potansiyeli	13
Çizelge 2.7 Bazı silikatların elektrostatik özellikleri	21
Çizelge 2.8 Flotasyon yöntemi kullanılarak zenginleştirilen silikat mineralleri	26
Çizelge 3.1 Saf feldspat ve kuvars minerallerinin kimyasal analiz sonuçları	40
Çizelge 3.2 Deneylerde kullanılan kimyasal malzemeler ve özellikleri	41
Çizelge 3.3 Erikli marka doğal kaynak suyu kimyasal içeriği	42
Çizelge 3.4 Afyon İl Kontrol Laboratuvarı saf suyunun kimyasal içeriği	42
Çizelge 3.5 Mikroflotasyon deneylerinde kullanılan değişkenler	48
Çizelge 4.1 Flotasyon deneyleri için oluşturulan yapay cevherin kimyasal analizi	79
Çizelge 4.2 Mikroflotasyon deneylerinde kullanılan sabit ve değişken şartlar	79
Çizelge 4.3 Köpürtücü türünün belirlenmesinde kullanılan flotasyon değişkenleri	80
Çizelge 4.4 -0,075 mm, -0,075+0,038 mm ve -0,038 mm fraksiyonlarının her biri için 3^{3-1} deney tasarımında kullanılan faktörler ve seviyeleri	82
Çizelge 4.5 -0,075 mm fraksiyonunda yapılan flotasyon deneyi sonuçları	82
Çizelge 4.6 -0,075 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin flotasyon başarısı üzerindeki etki değerleri	83
Çizelge 4.7 -0,075 mm için tasarlanmış deneylerde, kullanılan değişkenlerin değişim analizi	83
Çizelge 4.8 -0,075+0,038 mm fraksiyonunda yapılan flotasyon deneyi sonuçları	84
Çizelge 4.9 -0,075+0,038 mm için tasarlanmış deneylerde, kullanılan değişkenlerin flotasyon başarısı üzerindeki etki değerleri	84

Çizelge 4.10 -0,075+0,038 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan	
değişkenlerin değişim analizi	85
Çizelge 4.11 -0,038 mm fraksiyonunda yapılan flotasyon deney sonuçları	86
Çizelge 4.12 -0,038 mm için tasarlanmış deneylerde, kullanılan değişkenlerin	
flotasyon başarısı üzerindeki etki değerleri.....	86
Çizelge 4.13 -0,038 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin	
değişim analizi.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

DF	DowFroth
AF	AeroFroth
syn	Sıfır Yük Noktası
EÇT	Elektriksel Çift Tabaka
yam	Yüzey Aktif Madde
k_{mk}	Kritik Misel Konsantrasyon
M_t	Toplayıcı Miktarı, g/t
M_k	Köpürtücü Miktarı, g/t
X	Katı Oranı, %
HCl	Hidroklorik Asit
HF	Hidroflorik Asit
NaOH	Sodyum Hidroksit
MΩ	Direnç Birimi
μmhos	Özgül İletkenlik Birimi

1. GİRİŞ

Silikatlar, yeryüzünde en çok bulunan minerallerdir. Yer kabuğunda, bilinen minerallerin %25'i, yaygın minerallerin de %40'ı silikat mineralleri grubuna girer. Bu mineraller, endüstride kullanım alanı bulabilen ve "Endüstriyel Hammadde" olarak adlandırılan, kilden kuvarsa kadar pek çok minerali içermektedir. Cam, seramik, boya ve plastik sanayi başta olmak üzere pek çok endüstriyel uygulamanın ana hammaddesi olarak bu endüstriyel hammaddeleri görmek mümkündür. Değişen ve gelişen teknoloji pek çok endüstriyel hammaddenin kullanımını yaygınlaştırırken, belirli standart ve kalitede hammadde kullanımını da zorunlu hale getirmiştir. Bu nedenle, özellikle hızla gelişmekte ve sanayileşmekte olan ülkemiz için hammadde kaynaklarımızın en iyi şekilde değerlendirilmesi ve işlenmesi ülke ekonomisi bakımından büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin önemli ekonomik girdilerinden biri olan silikat minerallerinin ihracatı gün geçtikçe artmaktadır. Bolger (1995), yaptığı bir araştırmada Türkiye'nin silikat üretiminde ve ihracatında dünya ikincisi olduğunu belirtmiştir. Bu nedenle, ülkemiz potansiyel silikat rezervlerinin belirlenmesi ve bu potansiyelden en yüksek oranda ve en ekonomik şekilde yararlanmayı sağlayacak süreçlerin geliştirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde, yatağından çıkarıldığı gibi teknolojik ve ekonomik değeri olan silikatlar çok az olduğundan ya da hiç bulunmadığından, içerisinde birçok silikat minerallerini ve renk verici mineralleri bulunduran büyük rezervli cevher yataklarının kullanılması gerekmektedir. Bu tür kayaçlar; kuvars, feldspatlar (Na, K, Ca, Mg, vs.), mika, talk, kaolin, diğer silikatlar, Fe ve Ti gibi renk verici safsızlıklardan oluşmaktadır. Bu kaynaklardan teknolojik standartlarda ve kalitede hammadde elde edilebilmesi için uygun zenginleştirilme süreçlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. İnce boyutlarda serbestleşen ve fiziksel açıdan birbirine benzeyen bu minerallerin, fiziksel yöntemlerle ayrışmaları çok güçtür. Bu yüzden, ince boyutta serbestleşen oksit ve sülfürlü cevherlerde olduğu gibi, silikat mineralleri de çoğunlukla flotasyon yöntemiyle zenginleştirilirler. Bu nedenle silikatların flotasyon özelliklerinin (yüzey-ara yüzey özelliklerinin) bilinmesi son derece önemlidir. Ayrıca flotasyonla zenginleştirme öncesinde yeterli serbestleşmenin sağlanması için çok ince boyutlara

ufalanan bu minerallerin yüzey özelliklerinin yanında mineral yoğunluğu ve tane boyutu gibi mineral özelliklerinin flotasyon başarısına üzerine oldukça önemli etkileri bulunmaktadır. Silikatların kullanıldığı çoğu endüstri dalında ve özellikle cam kumu üretiminde uygulanan flotasyon işleminde şlam uzaklaştırma yaygın bir uygulama olmasına karşın, bu yöntem, feldspat-kuvars ayrımı öncesinde uygulandığında önemli miktarda değerli mineral kaybına neden olmaktadır.

Feldspat-kuvars flotasyonunda mineral özelliklerinin etkisinin belirlenmeye çalışıldığı bu çalışmada, ilk olarak bu iki mineralin seçimli ayrımını ve flotasyon mekanizmalarını açıklanmaya yönelik temel çalışmalar yapılmıştır. Bu yüzden, bu minerallerin yüzey potansiyeli farklılıklarının olduğu ortam şartlarının belirlenmesi ve bu yüzey potansiyelinin oluşma mekanizmasının açıklanması için zeta potansiyeli ölçümleri ile minerallerin bulunduğu saf süspansiyonlarının iyon analizleri yapılmıştır. Ayrıca, feldspat ve kuvars mineralleri arasında yüzey yükü farklılıkları oluşturabilmek için süspansiyona katyonlar ilave edilerek zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Katyonik toplayıcıların hangi şartlarda bu iki mineralin yüzeyine adsorblanarak hidrofobik yaptığının belirlenmesi ve bu iki mineral arasında hidrofobiklik farkının araştırılması için katyonik toplayıcılar ile zeta potansiyeli ölçümleri ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Temel çalışmaların son aşamasında, bu iki mineralin yüksek verimler ile yüzdürülebilmesi için gerekli olan pülp pH'sı, toplayıcı konsantrasyonu, köpürtücü konsantrasyonu gibi flotasyon değişkenleri mikroflotasyon deneyleri ile belirlenmiştir. Elde edilen flotasyon şartları ile farklı tane boyutlarında sınıflandırılmış (-0,075 mm; -0,038 mm; +0,038 mm) feldspat ve kuvars mineralleriyle hazırlanan yapay cevherin flotasyonu yapılarak, mineral özelliklerinden tane boyutunun flotasyon başarısına etkisi istatistiksel yöntemlerle belirlenmiştir.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Silikatların Tanımı ve Oluşumu

Bilinen elementler içinde oksijenden sonra en yaygın olarak bulunan silisyum (Si), pek çok mineral yapısında karşımıza çıkmaktadır. Silisyum temel olarak oksijen ile bileşik oluşturarak silika (SiO_2) ve çeşitli silikatları (SiO_2 bileşikleri) oluşturarak doğada geniş bir dağılım göstermektedir. Silikatlar diğer mineral sınıfları içinde en geniş, en ilginç ve en karmaşık mineraller topluluğudur. Yerkabuğunda bilinen minerallerin %25'i ve yaygın minerallerin de %40'ı silikat mineralleri grubuna girer. Bazı jeologlar yerkürenin %90'ının silikatlardan oluştuğunu tahmin etmektedirler. Bu mineraller kilden kuvarsa kadar geniş bir yelpaze içinde sınıflandırılmaktadır.

Silikat grubu mineralleri, Si^{4+} katyonu (iyon çapı= 0,42 Å) ile etrafında yer alan dört O^{2-} anyonunun (iyon çapı= 1,40 Å) oluşturduğu, $(\text{SiO}_4)^{4-}$ temel formülü ile ifade edilen ve tetraheder (düzgün dört yüzlü) olarak adlandırılan yapı taşlarının birbiriyle birleşmesine göre oluşurlar (Manser, 1975; Perkins, 2002). Bu temel yapı taşında yer alan oksijen iyonlarının her biri silisyum iyonu ile bir bağ yapar ve -1 değerlidir. Silisyumun oksijenlerle yapmış olduğu $(\text{SiO}_4)^{4-}$ grubundaki bağlanma şekli, Pauling elektronegatiflik kuralına göre %50 iyonik ve %50 kovalent bağ olarak kabul edilir. Silikat minerallerinin oluşması bu güçlü bağ sayesinde olmuştur (Karagüzel, 2005).

2.1.1 Silikat Yapıları ve Sınıflandırılması

Silikat tetrahederleri ile oluşan bu karışık yapılar oldukça şaşırtıcıdır. Silikatlar; tetraheder silikatlar, çift tetraheder silikatlar, zincir yapılı silikatlar, tabakalı silikatlar, halka silikatlar ve kafes yapılı silikatlar olarak yapılarına göre sınıflandırılırlar. Bu karışık ve ilginç mineral sınıfındaki farklılık silikat tetrahederlerinin farklı bileşimlerinden kaynaklanmaktadır. Silikatların sınıflandırılması oksijen paylaşımına göre yapılmıştır. Si:O oranı ve farklı miktarda oksijen paylaşımlarına göre silikat sınıfları Çizelge 2.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Silikat yapıları (Perkins, 2002)

Silikat Alt Sınıfları	Örnek Mineral	Formül	Kasyon Düzeni	Si:O ya da (Si,Al ⁴⁺):O	Paylaşılan Oksijen Sayısı
Tek Tetrahedral	Olivin	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Fe ^{vi} , Mg ^{vi} , Si ^{iv}	1:4	0
Çift Tetrahedral	Akermanit	Ca ₂ MgSi ₂ O ₇	Ca ^{viii} , Al ^{vi} , Si ^{iv}	2:7	1
Tek Zincir Silikatlar	Diopsit	CaMgSi ₂ O ₆	Ca ^{viii} , Mg ^{vi} , Si ^{iv}	2:6	2
Yüzük Silikatlar	Beril	Be ₃ Al ₂ Si ₆ O ₁₈	Be ^{iv} , Al ^{vi} , Si ^{iv}	1:3	2
Çift Zincir Silikatlar	Tremolit	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	Ca ^{viii} , Mg ^{vi} , Si ^{iv}	4:11	2-3
Tabakalı Silikatlar	Talk	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ OH ₂	Mg ^{vi} , Si ^{iv}	4:10	3
Kafes Yapılı Silikatlar	Kuvars	SiO ₂	Si ^{iv}	1:2	4

Tüm silikatların esas birimi ortosilikat iyonudur [SiO₄]⁴⁻. Bu birimde, merkezde Si⁴⁺ iyonu etrafında dört oksijen atomu bulunmaktadır. Burada merkezdeki Si⁴⁺ iyonu yük almazken, her bir oksijen atomu negatif yük alır ve merkezdeki silikon atomu etrafına tetrahedral pozisyonda dizilir (Karagüzel, 2005).

Tek tetrahedral silikatlar (ortosilikatlar); Bu silikat grubu genellikle ada silikatları olarak tanımlanırlar. Bu sınıfı kristal yapıda yalnız başına bulunan [SiO₄]⁴⁻ tetrahederleri karakterize eder. Yük dengesi, silikat iyonları arasındaki kafes yapısında bulunan çok değerlikli pozitif yüklü kasyonlar ile sağlanmıştır. Bu sınıf yaklaşık olarak yerkabuğundaki silikatların %2'sini oluşturur. Genel olarak bu sınıfa giren mineraller silikatların çoğunda görüldüğü gibi sert, parlak ve saydamdır. En bol bulunan mineralleri olivin [(Mg, Fe)₂SiO₄] ve granatlardır [(Ca, Mn, Fe, Mg)₃Al₂Si₃O₁₂]. Olivinler bazaltlarda ve ultramafik kayalarda bulunurlar. Granatlar ise skarn zonlarında ve metamorfik kayaların içerisinde yer alırlar.

Çift tetrahedral silikatlar (sorosilikatlar); Bu gruba giren silikatlar yerkabuğundaki silikatların yaklaşık olarak % 1'ini oluştururlar. Sorosilikatlar 2 tane SiO₄ tetraederinin birleşmesinden meydana gelen (Si₂O₇)⁻⁶ anyon grubuyla karakterize edilir. Bu tür kristal yapısı az miktardaki mineral türünde bulunur. Bunlara

metamorfik kayalarda bulunan Epidot'lar örnek verilebilir. Lawsonit, akermanit ve gahlenit de çift tetrahedral silikatlara diğer örneklerdir.

Yüzük yapılı silikatlar (cyclosilikatlar); Bu gruba giren silikatların miktarı yerkabuğunu oluşturan silikatların %0,5'den daha azdır. Bu sınıf 3, 4 veya 6 SiO₄ tetraheder anyon grubunun birleşmesinden meydana gelen halkalar tarafından karakterize edilir. Bunlar, (Si₃O₉)⁻⁶ 3 tetrahederin birleşmesi, (Si₄O₁₂)⁻⁸ 4 tetrahederin birleşmesi, (Si₆O₁₈)⁻¹² 6 tetrahederin birleşmesidir. En çok rastlanan türü üçlü ve altılı halkalı olanlarıdır. En yaygın minerali turmalin olup beril (Be₃Al₂Si₆O₁₈) ve kordiorit ((Mg, Fe)₂Al₄Si₅O₁₈) diğer yüzük yapılı içeren minerallerdir.

Zincir yapılı silikatlar; Bu gruba giren mineraller yerkabuğundaki silikatların % 12'sini oluştururlar. Genel olarak SiO₄ tetrahederleri tek zincir (piroksenler ve piroksenoidler) veya çift zincir (amfiboller) yaparak birbirleriyle birleşirler. Tek zincirlilerde anyon grubu (SiO₃)⁻², çift zincirlilerde ise (Si₄O₁₁)⁻⁶ olur. Bu sınıfa giren minerallerinin yoğunluğu az, sertliği orta ve geometrik şekilleri prizmatiktir. Prizma eksenine paralel 2 yönlü dilinimleri vardır.

Tabaka (levha) yapılı silikatlar (phyllosilikatlar); Bu gruptaki mineraller yerkabuğundaki silikatların %5'ini oluştururlar. Tabakalı silikatlarda tabaka, tetrahedral ve oktahedral tabakaların düzlemsel bir yapı oluşturacak şekilde birleşmesi ile oluşur. Anyon grubu (Si₂O₅)⁻² ile karakterize edilir. Bu yapısal düzen mineralin fiziksel özelliklerini etkiler. Örneğin çok güzel gelişmiş 001 dilinimine yol açar. Sertlik az, bağlantı ve peklik zayıftır, yoğunluk çok fazla değildir. Muskovit [KAl(AlSi₃O₁₀)(OH₂)] ve biotit [K(Mg, Fe)₃(AlSi₃O₁₀)(OH)₂] en iyi örnekleridir.

Tüm tabakalı silikatlar üç boyutta hegzagonal ağ yapıları oluşturmalarına rağmen, silikon-alüminyum yer değiştirme oranına bağlı olarak tabakalardaki negatif yükün de artması nedeniyle farklı mineral şekilleri oluşur. Oldukça güçlü ve sabit tetrahedronların bir arada olduğu Si-O-Si (siloksen) bağları bu gruba giren minerallerin kırıldıkları zaman tabakalar şeklinde ayrılmasına neden olmaktadır. Bir tabaka ile bir diğeri arasında herhangi bir bağ değeri yoktur. Tabakalar sadece Van

der Walls bağları ile bağlanırlar. Oldukça yumuşak olan bu mineraller kesme kuvvetleri ile tabakalara ayrıldıklarında yüzey yüklerinde bir değişim meydana gelmemektedir (Karagüzel, 2005).

Kafes yapılı silikatlar (network silikatlar ya da tektosilikatlar); Silikat mineralleri içerisinde en yaygın bulunan silikat grubudur. Yerkabuğundaki silikatların %60'ından fazlası bu gruba girer. Kafes yapılı silikatlar, Si ya da (Al, Si) içeren üç boyutta polimerize olmuş ağ yapılarından oluşmaktadır. Kuvars en yaygın kafes yapılı silikattır. Kafes yapılı silikat, silika olarak bilinen makromolekül $[\text{SiO}_4]^{4-}$ tatrahedranın üç boyutta genişlemesi ile meydana gelir (Manser, 1975).

Kafes yapılı silikatlarda, tabakalı silikatlarda olduğu gibi silikon atomları yerine alüminyum atomları gelerek negatif yükü artırılırlar. Bu yer değiştirme feldspat minerallerinde %25 iken feldspatoidlerde %50 civarındadır. Üç boyutlu polimerizasyon kanallar arasında tutulmuş olan yük dengeleyici K^+ , Na^+ ya da Ca^{+2} gibi büyük çaplı katyonları bırakır. Ortoklaz ve diğer feldspat minerallerinde K^+ , Na^+ ya da Ca^{+2} ile oluşturulan siteler feldspat mineraline bağlı olarak değişmektedir. Kafes yapılı silikatlar özellikle kuvars Dauphine ve Brazil sınıflamasına göre ikizlenmiştir. Ancak ikizleme çıplak gözle görünmemektedir. Yine feldspatlar ve diğer kafes yapılı silikatlar birçok farklı sınıflandırmada ikiz olarak sınıflandırılmışlardır.

2.1.2. Feldspat Mineralleri

Feldspat, magmatik küllerin %60'ını kapsayan, onların isimlendirilmesinde ve sınıflandırılmasında rol oynayan esas bileşimi potasyum, sodyum alüminyum silikat ya da bunların bileşimi olan endüstriyel bir hammaddedir.

Feldspat deyimi, Almanca 'alan, bölge' anlamındaki 'feld' veya İsveç dilindeki 'feld' ve 'spat' kelimelerinden türetildiği öne sürülmektedir.

Feldspat grubu mineraller, yerkabuğunda bulunan en bol silikat minerali olmalarına rağmen, mineralojik ve kimyasal özellikleri, nadir bulunan pek çok minerale göre daha az bilinmektedir. Feldspat mineralleri, volkanik, metamorfik ve sedimanter kayalar oluşturur esas minerallerdir. Bu mineraller, değişen hava ve iklim şartlarında bozunmalarına rağmen diğer taraftan çok geniş bir alan içinde değişen sıcaklık ve basınç şartları altında kararlılıklarını korurlar.

Magmanın kristalleşmesi veya farklı metamorfizma koşulları içerisinde, sıcaklığın, basıncın ve kimyasal bileşimin etkisine bağlı olarak kristallen ve kristallenmeyi izleyen zaman sürecinde de kimyasal difüzyon olaylarıyla farklılaşabilen, birçok polimorfu olabilen bu karmaşık mineral grubu üzerindeki çalışmalar halen devam etmektedir.

Feldspatlar, SiO_4 köşeli iskeletlerdeki dört oksijen paylaşılması ile oluşmuş, üç boyutlu kafes yapısı gösteren silikatlardır. Diyadohi (bir atom veya iyonun kristal kafes yapısındaki bir başka iyon veya atomla yer değiştirmesi) ve bunun sonucu kristal yapısında elektrostatik olarak nötraleteyi sağlayacak iyonların kafes yapısına girmesi, feldspat minerallerinin oluşumuna neden olan en temel olaydır. Kuvarı oluşturan $(4(\text{SiO}_4))$ veya (Si_4O_8) tetrahedrelerdeki bir Si iyonunun Al iyonu tarafından yer değiştirmesiyle AlSiO_8^- yapısı oluşmaktadır. Bu yapıya elektrostatik dengeyi sağlamak için Na^+ , K^+ , Rb^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} veya Ba^{2+} katyonlarının katılmasıyla feldspatlar meydana gelir.

Feldspatların en basit formülü MT_4O_8 'dir. Bu formülde; Al^{3+} T sitesinde Si^{4+} katyonunun yerini %25 ile %50 arasında alırken, bu yer değiştirme sonucu silikat yapısında oluşan düzensiz boşluklara “+1” ve “+2” değerli M katyonları yerleşir.

Temel tetrahedrelerdeki Si-Al yer değiştirmesi basit bir olay gibi görülse de, oluşan yeni mineralin birim hücresindeki Si ve Al iyonlarının oranı ve birim hücre içerisindeki tercih ettikleri bölgelere göre kristal sistemi ve simetrisi değişmektedir. Alkali feldspat birim hücresinde bulunan 3 Si iyonu ile 1 Al iyonu tercihsiz olarak rasgele yerleşmiş ise, mineral monoklinik sistemde kristalleşir. Ters durumda, yani

Al iyonları birim hücre içerisinde belirli bölgeleri tercih etmiş ise, oluşan kristal triklirik sistemdedir. İyonların tercih olayı “düzenlenmiş” (orderer) olarak adlandırılır. Düzenli feldspatlar (örneğin, sanidin) yüksek sıcaklıklarda oluşur ve düşük simetriye sahiptir. Düzensiz feldspatlar ise (örneğin, ortoklas) düşük sıcaklıklarda oluşur ve yüksek simetriye sahiptir. T sitesindeki Si-Al yer değiştirmesinin ve tercihlerinin oluşması, feldspat yapısındaki birbirinden hafifçe farklı T sitelerinin (T_1 , T_2 , ... gibi) olmasına neden olur.

Yerkabuğunda bol miktarda bulunan feldspat mineralleri $(Ca, Na, K)(Si, Al)_4O_8$ genel formülü ile tanımlanan bir kompozisyon oluşturulur. Feldspat yapıları üç boyutta ve kafes şeklinde SiO_4 ya da AlO_4 tetrahedrelerinin bağlanması şeklinde meydana gelirler. Kimyasal bileşimi bakımında alkali feldspatlar (ortoklas-albit) ve plajiyoklas feldspatlar (albit-anortit) serileri olarak iki kısımda sınıflandırılırlar. Bu sınıflama Çizelge 2.2.’de verilmektedir.

Çizelge 2.2. Feldspatların Sınıflandırılması (Perkins, 2002)

Alkali Feldspatlar	Mikroklin	$KAlSi_3O_8$
	Ortoklas	$KAlSi_3O_8$
	Sanidin	$KAlSi_3O_8$
Plajiyoklazlar	Albit	$NaAlSi_3O_8$
	Oligoklas	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$
	Andezin	$(Na,Ca)(Al,Si)_4O_8$
	Labrador	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$
	Bitovnit	$(Ca,Na)(Al,Si)_4O_8$
	Anortit	$CaAl_2Si_2O_8$
Baryumlu Feldspatlar	Selsiyan	$BaAl_2Si_2O_8$
	Hyalfon	$(K,Ba)KAlSi_4O_{12}$

a) *Alkali Feldspatlar:*

Alkali feldspatlar, kimyasal bileşimlerine göre 3 grupta incelenir. bunlar;

1. Potasyum feldspatlar (çok az veya hiç Na içermeyen)
2. Sodyum feldspatlar (çok az veya hiç K içermeyen)
3. K ve Na’un izomorf serisi sonucu oluşan alkali feldspatlardır.

1. Potasyum feldspatlar (KAlSi_3O_8): Bu grupta sanidin, ortoklas, mikroklin ve adularya bulunmaktadır. Sanidin, yüksek sıcaklık polimorfudur ve düzenli bir iç yapıya sahiptir. Ortoklas, sanidin ile beraber aynı yapıya sahip olmasına karşı, kısmen düzenlenmiştir. Mikroklin, potasyumlu feldspatların en düşük sıcaklıkta oluşmuş şeklidir. Düzenli olmayan içyapıları nedeni ile triklinik sistemde kristallenirler. Adularya, optik özelliklerinden dolayı diğer potasyumlu feldspatlardan ayrılır.
 2. Sodyum feldspatlar ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$): Yüksek albit ve düşük albit bu grupta bulunmaktadır. Potasyumlu feldspatlara benzer şekilde, lavlar içerisinde bulunan yüksek albitin düzenli iç yapısı bulunurken, plütonik kayalarda bulunan düşük albit düzensi bir iç yapıya sahiptir.
 3. Alkali feldspatlar ($(\text{Na,K})\text{AlSi}_3\text{O}_8$): Na'lu üç bileşen ile K'lu üç bileşen arasında katı eriyik oluşturan bu grupta; yüksek albit- yüksek sanidin, yüksek albit-sanidin, düşük albit-ortoklas ve düşük albit-mikroklin serileri bulunmaktadır. Yüksek albit- yüksek sanidin serisi tam bir katı eriyik serisi olup, sentetik olarak üretilmiş alkali feldspatların tamamı bu seride kristallenir. Ancak Or_{67} 'den daha potasyumca zengin üyeleri doğal olarak bulunmaktadır. Serinin potasyumca zengin üyeleri triklinik sistemde, sodyumca zengin üyeleri monoklinik sistemde kullanılır. Doğal örneklerin çoğunluğu yüksek albit-sanidin katı eriyik serisinde kristalleşir.
- b) *Plajiyoklaslar*: Plajiyoklas feldspat serisi altı mineralden oluşmaktadır. İçerdikleri anortit yüzdesine göre sınıflandırılan bu mineraller: albit (0-10), oligoklas (10-30), andezin (30-50), labrador (50-70), bitovnit (70-90), anortit (90-100).
- c) *Baryumlu feldspatlar*: Monoklinik sistemde kristallenen baryumlu feldspatlar, yapı itibarıyla potasyumlu feldspatlara çok benzer ve ortoklas ile selsiyan ($\text{BaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) arasında katı eriyik serisi oluştururlar. Ba, birçok feldspat kristali içerisinde iz element olarak bulunmasına rağmen, BaO içeriği

yaklaşık %2'den fazla olduğunda selsiyan ana bileşeni olarak belirtilmektedir.

Yaygın feldspatların kimyasal bileşimleri KAlSi_3O_8 (Ortoklas-Or): $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Albit-Ab) ve $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (Anortit-An) sisteminde görülmektedir. Bu sistemde, KAlSi_3O_8 ile $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ arasında kalan seriye alkali feldspatlar, $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ile $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ arasında kalan seriye de plajiyoklaslar denilmektedir. Feldspatların kimyasal bileşimleri örneğin, $\text{Or}_{20}\text{Ab}_{75}\text{An}_{05}$ gibi, bu üçgen sistemde kullanılan Or, Ab, An cinsinden moleküler yüzdeleriyle verilmektedir. Ab-An-Or sistemindeki feldspatlar için en genel kimyasal formül;



şeklinde verilebilir. Burada, $0 \leq (x+y) \leq 1$ ve x, alkali feldspat mol fraksiyonunu (Or); y, sodik feldspat mol fraksiyonunu (Ab) ve $1-(x+y)$ ise kalsik feldspat mol fraksiyonunu (An), temsil etmektedir.

Teorik olarak bir alkali feldspat içerisinde bulunabilecek en yüksek K_2O değeri % 16,9'dur. Oluşum sıcaklığına göre alkali feldspatlar içerisinde %5'e kadar An bulunabilir ve An bileşeni albitçe zengin uca doğru artar. Benzer şekilde, albit içerisinde teorik olarak %11,8 Na_2O ve %19,4 Al_2O_3 , anortit içerisinde de %20,1 CaO ve %36,6 oranında Al_2O_3 bulunur (Karagüzel, 2005).

2.1.2.1. Dünyada ve Türkiye'de Feldspatlar

Dünya'daki ve Türkiye'deki feldspat rezervlerini iki başlık altında verebiliriz.

a) *Dünyada feldspat rezervleri:* Dünyada feldspat üretimi genelde granitler, pegmatitler, nefelinli siyenitler ve feldspatik kumlardan sağlanmaktadır. Bu kaynakların geniş dağılım göstermesi ve tam anlamıyla bir rezerv çalışması yapılamamasından dolayı kesin rakamsal değerler bulmak mümkün

olmamaktadır. Çizelge 2.3’de kıtalara göre dünya feldspat rezervleri görülmektedir.

Çizelge 2.3. Dünya feldspat rezervlerinin kıtalara göre dağılımı (Yılmaz, 1999)

Kıtalar	Rezerv (10⁶ ton)
Amerika	550
Avrupa	250
Afrika	200
Asya	500
Toplam	1.500

b) *Türkiye feldspat rezervleri:* Ülkemizin feldspat rezervleri yaklaşık 239 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Yılmaz, 1999). Türkiye’de feldspat kaynağı olarak kullanılan yataklar pegmatit, aplit, feldspat filonları ve altere granittir. Türkiye’de rezervler, şirketlerden gelen bilgiler ve MTA verilerine dayanmaktadır. Ancak birçok bölgede potansiyel feldspat kaynakları pazarın isteklerini karşılayabilecek nitelikte rezervlere dönüştürülemediği. Ülkemizin ticari rekabete girebilecek nitelikteki yatakları şimdilik, Muğla-Milas, Aydın-Çine arasındaki pegmatitik, albitik mercek ve aralıklar veya metazomatik şekilsiz yataklardır. Bu yataklar doğrudan, kırma-öğütme, flotasyon gibi işlemlerden geçirildikten sonra pazarlanabilir ürün elde edilmektedir (Özpeker, 1999). Şirketlerin vermiş oldukları bilgilere dayanarak 8. Beş Yıllık Kalkınma Planından sağlanan verilere göre rezerv varlıklarımız Çizelge 2.4 ve 2.5 ‘de verilmektedir. MTA verilerine göre ülkemiz feldspat rezervleri ve potansiyeli Çizelge 2.6’da görülmektedir.

Çizelge 2.4. Potansiyel Türkiye rezervleri

Yer	Kalite ve Cins	Rezerv (10 ³ ton)
Aydın-Çine	K-Feldspat	5.000
Kütahya-Simav	K-Feldspat	2.250
Manisa-Gürdeş	K-Feldspat	4.075
Ankara-Beypazarı	K-Feldspat	1.150
Kırklareli-Ürküp	K-Feldspat	11
Toplam		11.281
Bilecik-Söğüt	Aplit-Pegmatit	985
Balıkesir-Bandırma	Aplit-Pegmatit	21
Artvin-Şavşat	Aplit-Pegmatit	369.000
Toplam		370.005
Genel Toplam		381.286

Çizelge 2.5. Ülkemiz şirketler bazında Na-Feldspat rezervi

Şirket	Yer	Rezerv (10 ³ ton)			
		Görünür	Gör.+Muhtemel	Mümkün	Toplam
ESAN	Çine+Milas	-	100.000	-	100.000
KALE	Çine+Milas	1.520	3.530	1.710	5.240
ERMAD	Milas	4.400	9.300	5.400	14.700
MATEL	Milas	-	2.500	1.250	3.750
KALTUN	Çine+Milas	-	25.000	-	25.000
TOPRAK	Çine+Milas	-	12.000	-	12.000
HİTİT	Milas	90	90	-	180
POLAT	Çine+Milas	-	3.000	-	3.000
M.ÇINAR	Çine+Milas	-	1.000	-	1.000
AKMADEN	Çine+Milas	-	5.000	-	5.000
KOMED	Çine+Milas	-	5.000	-	5.000
TOPLAM		6.010	166.420	8.360	174.780

Çizelge 2.6. Ülkemiz feldspat rezervleri ve potansiyeli (MTA raporları)

No	Yeri	Rezerv (10 ³ ton)	Rapor Yılı	Rapor No
1	Artvin-Şavşat I	315.748 (2)	1980	MTA: 6723
	Artvin-Şavşat II	53.765 (2)		
2	Bilecik-Bozöyük-Çeliloğludere	167,31 (2)	1983	MTA:7338
3	Bilecik-Söğüt-İnhisar	10 (1+2)	1956	MTA:104
4	Kırklareli-Üsküp-Yurdalan	10,8 (2)	1974	MTA:5326
5	Kütahya-Simav-Kusumlar Bölgesi	320 (3)	1966	MTA:154
6	Kütahya-Simav-Azizler, Acemler	2.600 (2)	1988	MTA:8365
	Külcü-Kurduman	34.125 (2)		
	Karacaviran, Hacıahmet	1.300 (2)		
	Söğüt, Kalkan	97,5 (2)		
7	Manisa-Gördes-Çumaklıdağ	100.000 (2)	1960	MTA:2759
	Kurtutun Mevkii			
8	Manisa-Demirci-Söğütçük	2.500 (1)	1978	MTA:6331

(1): Görünür rezerv, (2): Muhtemel rezerv, (3): Mümkün rezerv

Özpeker (1999), yaptığı çalışmasında rezervlerin nitelikleri ile ilişkin bilgiler şirketlerce verilmemiş olmasından dolayı, ürettikleri ve pazarladıkları ürün oranlarının az çok rezerv niteliklerini yansıtabileceği yaklaşımdan hareket ederek ve üretim nitelikleri hakkında bilgi edinilen şirketlerin verilerini göz önüne alarak sahip olduğumuz rezerv miktarlarını tahmin etmiştir. Buna göre seçimli madencilik yapılarak, sadece kırma ve harmanlama ile pazara sunulabilecek standart kaliteli rezerv miktarını yaklaşık 50 milyon ton, ekstra ve daha nitelikli cevher üretebilecek rezerv miktarını 40 milyon ton, flotasyon ile zenginleştirerek çok nitelikli ürün üretebilecek rezerv miktarını da 30 milyon ton olarak belirtmiştir.

2.1.2.2. Feldspatların Kullanım Alanları

Feldspatların sanayide kullanımını etkileyen en önemli iki özelliği alkali ve alümina içeriğidir. Bu özelliklerden dolayı üretilen feldspatların %60'ı cam, %35'i porselen ve sır maddesi olarak seramik sanayinde ve %5'i de kauçuk, plastik ve boya sanayilerinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Bu kullanım yerlerinde ticari

olarak kullanılan feldspat mineralleri ortoklaz, mikroklin, albit, oligoklas ve andezin'dir.

a) Seramik Sanayi: Beyaz seramiklerin yapımında feldspat, kilden sonraki en önemli bileşeni oluşturmaktadır. Seramik yapımı sırasında alkaliler ergitici işlevi görürler. Feldspatların bu ergitici özelliğine etki eden faktörler arasında silika içeriği, bünye bileşimi ve daha önemlisi toplam alkali içeriği ile Na_2O , K_2O , Li_2O gibi alkali oksitlerin oranları sayılabilir. Alkali içeriği yükseldikçe, eritici özellikte artar ve buna bağlı olarak erime noktası düşer. Böylece kil, kuvars ve feldspattan oluşan seramik hamurunda feldspat, kil ve kuvars önce yumuşar, camsı veya sıvı hale geçer, buna karşılık kil ve kuvars katı halde kalır. Daha sonra ergimiş feldspat geride kalan katı parçacıkları ıslatır ve gözenekler arasında dereceli olarak dağıldıkça, yüzey gerilimi bu parçacıkları birbirine çekerek direnci arttırır. Kullanılan ergiticinin türü ve miktarı, pişirme sırasında seramik bünyenin camlaşma derecesini kontrol eder ve ürün fırından istenen camlaşma derecesinde çıkar.

Feldspat birçok seramik türünün yapımında kullanılmaktadır. Bunlar arasında porselenler %25-%40, sofraya eşyasına %18-%30, elektro-porselende %20-%28, kimyasal teknik porselende %17-%30, fayansta %13-%35 ve sır malzemesinde %30-%50 oranlarında değişmektedir. Ancak seramik sanayisinde yüksek tenörlü K-feldspat kullanılır. Potasyum feldspatın avantajı, yüksek viskoziteye sahip bir eriyik oluşturmastır ve bu eriyiğin sonucu olarak, pişirme sırasında seramiğin şekil bozulmalarına karşı mukavemetinin sağlanmasıdır.

Bir seramik üretimine akışkanlaştırıcı seçiminde etkili olan faktörler, maliyet, pazarlara yakınlık ve demir emprütesinin varlığıdır. Bunlar, aynı zamanda, nefelin siyenitin bazı seramik uygulamalarında daha popüler hale gelmesini de temin eden faktörlerdir. Seramik uygulamalarında daha popüler hale gelmesini de temin eden faktörlerdir. Seramik kaplar ve sırlarda esas olarak feldspat kullanılmakla birlikte, sıhhi tesisat ve karo imalinde akışkanlaştırıcı olarak nefelinli siyenit tercih edilmeye başlanmıştır. Cam imalinde feldspat ve aplitle rekabete başlamıştır. Cam imalinde

feldspat ve apatitle rekabet etmesinin yanında, alümine kaynağı olarak avantajı dolayısıyla, camsı beyaz seramik, sır ve mine imalinde de kullanılmaktadır.

Karo imalinde bünye hazırlanmasında, diğer beyaz seramiklere göre farklı prensipler söz konusudur. Örneğin gözenekli karolar, feldspatik kuvars kullanımı gerektirmez, bağlayıcı kilin alkali içeriği genellikle yeterlidir. Buna karşılık camsı karo fayans üretimi, feldspatik malzemeler gerektirir. Ancak hızlı pişirme tekniklerindeki gelişmeler, kullanılacak feldspatik akışkanlaştırıcıyı etkilemiştir. İki veya üç saatlik tek aşamalı pişirme (30 saatlik eski pişirme tekniğine kıyasla), daha düşük maliyetli pegmatit ve feldspatik kayalar bazı ülkelerde (özellikle İtalya) gittikçe artan oranda feldspat ve nefelinli siyenite alternatif duruma gelmiştir.

Nefelinli siyenit seramik sanayinde kullanımı, 200, 325, 400 mesh inceliğinde öğütülmüş ürün şeklindedir. Yukarıda belirtildiği gibi, hem camsı faz oluşturucu, hem de eritici olarak yararlı özellikleri vardır. Pişirme sıcaklığı ve süresinin önemli ölçüde düşürdüğünden sıhhi seramik reçinesinde %25-30, kimyasal porselende %15-30, yarı vitroz porselende ise %5-15 oranında kullanılmaktadır. Seramik sanayinde feldspat ve nefelinli siyenit kullanımı açısından istikrarlı bir gelecek söz konusudur. Bu ikisinden birinin tercih edilmesi, daha çok ekonomik değerlendirmelere bağlı kalmaktadır. Seramik sanayi için feldspat tenörleri $K_2O > \%8$, $Na_2O < \%3$, $Fe_2O_3 < \%0,2$ olmalı ve feldspat $74 \mu m$ 'nin altında öğütülmelidir (Karagüzel, 2005).

b) Cam sanayi: Cam sanayi halen en büyük feldspat ve nefelinli siyenit tüketicisi olma durumunu muhafaza etmektedir. Feldspatik mineraller, cam reçetesinde esas olarak alümine kaynağı şeklinde yer alırlar. Bununla birlikte eritici (akışkanlaştırıcı) özellikleri de faydalıdır. Feldspat bünyesindeki alkaliler, erime sıcaklığını düşürerek akışkanlaştırıcı görevi yaparlar. Alümine ise duyarlılık temin eder, çarpma, bükülme ve termal şoklara karşı mukavemet kazandırır.

Ayrıca, camın saydamlığını kaybetmesini engelleyen imalat sırasında viskozitesini de artıran alümina içeriği; kap-kacak (cam-şişe) ve düz cam mamullerde %1,5-3 oranında mevcuttur. Cam elyafında ise kullanım amacında bağlı olarak %15'e kadar

çıkabilen oranda mevcut olabilir. Cam sanayinde yüksek tenörlü Na-feldspat kullanılır ve genellikle -74 µm altı hava kabarcığı oluşturduğundan istenmez.

Hem feldspat hem de nefelinli siyenit, yüksek fırın cürufu gibi diğer alümine kaynakları ile rekabet etme durumundadır ve cam üreticilerinin nihai seçimi, bir dizi faktörlere dayanmaktadır. Bunlardan başlıcaları, her birim alüminanın teslim maliyeti, bağıl erime aralıkları, demir oksit gibi (0,04'ün altında olmalıdır), istenmeyen mineral düzeylerinin varlığıdır. Fakat bundan daha önemlisi üretilecek camın türü seçilecek alümine kaynağının tipi ve miktarını belirlemektedir. Örnek olarak düz cam üreticileri alüminayı genellikle “kabul edilebilir bir safsızlık” olarak değerlendirmekte ve özel bir tür aranmamaktadır. Çeşitli cam sanayilerinde, kullanılacak hammaddeler için farklı özellikler ararlar. Örneğin ABD'deki Corning Glass, televizyon ekranı camı ve mutfak eşyası gibi uygulamalar için %10,5 K₂O içerikli potasyum feldspat kullanmaktadır. Ayrıca ekonomik değerlendirmelere dayalı olarak da nefelinli siyenitler kullanılmaktadır. Kaliforniya'da cam imalinde kullanılan feldspatik kumlar %90-92 SiO₂, %0,05-0,07 Fe₂O₃ ve %5 Al₂O₃ içermektedir.

Nefelinli siyenit önemli bir silika (%59-60), alümina (%23-24 Al₂O₃) ve alkali (%9,8-10,2 K₂O) kaynağıdır. En önemli kullanım alanı cam sanayi olup, toplam tüketimin %65'ini oluşturmaktadır. Tüketim için tane boyutu -30 mesh ile -40 mesh olup malzemenin çok az kısmı -200 mesh inceliktedir. Cam yapımında nefelinli siyenit, cam hamurunun eritilmesinde akışkanlaştırıcı olarak kullanılır ve konteyner (kap) camında hamurun %5'i ile %15'ini teşkil eder. Kuzey Amerika'da nefelinli siyenit ciddi ölçüde yiyecek, içecek, kimyasal madde, ilaç şişeleri ve kavanoz gibi muhafaza cam üretiminde, daha az oranda ise düz cam, preslenmiş ve şişirilmiş cam mamulleri yapımında tüketilmektedir.

Bu alanda dünya çapında flotasyon sürecinin uygulanması, yassı cam üretiminde feldspatın önemini artırmıştır. Nefelinli siyenit ise cam yünü (fiberglass) imalinde daha çok kullanılmaktadır. Fiberglass üretimi için aranan demir oksit

spesifikasyonları nispeten gevşektir ve normal olarak bu alanda “B” ve 2. kalite nefelinli siyenit kullanılmaktadır.

Genel olarak feldspat ve nefelinli siyenitin tercih edilmesi maliyete bağlıdır. Nefelinli siyenitin alümina içeriği %23 civarında, buna karşılık feldspat %16-18 alümina içermektedir. Demir oksit içeriği nefelinli siyenitte genel olarak daha düşüktür (Karagüzel, 2005).

c) *Kaynak elektrotları üretimi:* Kaynak elektrotları, feldspat için geleneksel son kullanım alanlarıdır. Çünkü bunların eritici özellikleri, elektrot kaplama malzemesi yapımında ideal bir bileşen olmalarını sağlar. Akışkanlaştırıcılar, üç tür kaynaklama işleminde kullanılır ki burada elektrik arkı ısı kaynağıdır.

Karışıma ilave edilen feldspatın iki önemli fonksiyonu vardır; ark dengeleyicisi olarak davranır ve kaynak çukurunu korur. Ark dengeleyici olarak kullanılan materyaller, feldspat yanında potasyum ve sodyum silikat, kil, talk, nikel ve demir tozları gibi metalik katkı maddelerini içermektedir. Bunlar, düşük iyonlaşma potansiyellerine sahip elementler oluşturarak arkı dengelerler. Alternatif akımda kullanım için özellikle potasyum silikatlar uygundur, zira ark kolonunda potasyum iyonları, akım kesildiğinde dahi arkı tekrar alevlendirme özelliği sergilerler. Buna karşılık sodyum silikatlar da doğru akım uygulamalarında daha yararlıdır. Kullanım kolaylığının yanı sıra, yüksek ark dengeleyicidir, düşük bir devre ile çalışabildiğinden daha ucuz bir ekipman kullanımına imkan sağlar. Kaynak çukuru doldurulmasında ise, feldspat gibi erimiş katı bariyerden cüruf oluşturunucular, kaynak çukurunu ve yeni kaynatılmış metali korumaktadırlar (DPT, 2001).

Feldspatik mineraller ark plazmasındaki alkali iyonlar için ana kaynağı oluşturmaktadır. Alkali silikat parçacıkları 250 µm’den daha büyük değildir ve eş boyutlara sahiptir. En çok 70 µm civarındaki parçacık boyutu kullanılmaktadır. En fazla K-feldspat tercih edilmekte olup nedeni ise, daha düzgün bir ark oluşturmastır (Karagüzel, 2005).

d) Boya sanayi: Çatlama, dökülme, soyulma renk kaybı gibi tabakalarının kalitelerini etkileyen sorunların çoğuna boyanın katı içeriğini oluşturan pigmentler, dolgu maddeleri ve genleştiriciler neden olmaktadır. Feldspat dolgu maddeleri hem astarlarda hem de boyalarda kullanılmaktadırlar. Bu tür dolgu maddeleri yalnızca yüksek pigmentli kaplamalar için değil, aynı zamanda yarı saydam boyalar içinde uygundur. Boya ve kaplamalarda kullanılan feldspatın yararlı özellikleri;

- İyi dağılabilme,
- Kimyasal tesirsizlik,
- Sabit pH,
- Aşınma, kimyasal etkilere ve renk kaybına karşı direnç sağlama,
- Yüksek parlaklık,
- Kusursuz renk tutma,
- Yüksek pigment yüklemelerinde düşük viskozite,
- Donmaya karşı olağandışı dirençtir.

Ancak, sağlık açısından feldspatlar, bünyelerinden bulundurdıkları silislerden dolayı risk oluşturmaktadır (Karagüzel, 2005).

d) Plastik sanayi: Feldspatlar dolgu malzemesi olarak en çok plastikler, PVC ve polyesterlerde kullanılmaktadır. Buralarda kullanılmasını sağlayan en büyük özellikleri;

- İyi dağılabilme,
- Kimyasal tesirsizlik,
- Sabit pH,
- Lekelere, aşınmaya ve kimyasal etkilere karşı direnç,
- Yüksek pigment yüklemelerinde düşük viskozite,
- Kırılma indisinin en çok kullanılan reçinelere çok yakın olması,
- Yüksek akışkanlık,

Bu özelliklerinden dolayı dolgu maddesi plastik reçetelerinde maliyet düşürücü veya mukavemet kazandırıcı olarak kullanılır (Karagüzel, 2005).

2.1.2.3 Feldspatları Zenginleştirme Yöntemleri

Feldspat mineralleri içeren çeşitli cevher oluşumları (magmatik, metamorfik ve sedimanter kökenli kayalar), feldspat minerallerinin yanında kuvars, mika, turmalin, grön ve demir oksitleri içermektedirler. Bu yüzden feldspatların, kullanım alanlarındaki teknolojik şartlarını sağlayabilmeleri için bir zenginleştirme yöntemi kullanılarak beraberinde bulunan diğer minerallerden ayrılması şart olmaktadır.

Zenginleştirme işlemleri, cevheri oluşturan feldspat ve diğer minerallerin fiziksel ve kimyasal özellikleri göre çeşitli yöntemler uygulanarak yapılmaktadır. Bu yöntemler, elle ayıklama, boyuta göre sınıflandırma, manyetik ayırma, elektrostatik ayırma ve flotasyon yöntemidir (Akar vd., 1997). Feldspat minerallerin zenginleştirilmesinde bu yöntemler tek tek uygulanabildiği gibi birlikte uygulanabildikleri çeşitli uygulamalarda görülmektedir (Sümer ve Kaya, 1995). Buna karşın özgül ağırlık farkı kullanılarak uygulanan gravite zenginleştirme yöntemleri, feldspatlar ve yan minerallerinin özgül ağırlıkları birbirine çok yakın olmasından dolayı çok az kullanım alanı bulmaktadır. Gravite zenginleştirme yöntemi olarak, mikaların, feldspat mineralinden zenginleştirilmesinde spirallerin kullanılması gösterilebilir.

Serbestleşme boyutu çok küçük olan feldspat cevherlerinin zenginleştirilmesinde flotasyon, manyetik ayırma ve elektrostatik ayırmanın olumlu sonuçlar verdiği yapılan çeşitli araştırmalarla gösterilmiştir (Buckenhan ve Rogers, 1954; Okur, 1984; Geredeli ve Özbayoğlu, 1995; Garip, 1996; Seyrankaya vd., 1997; Bayraktar vd., 1997; Cöcen ve Ermiş, 1997; Kangal, 1998; Gürsoy, 1999; Öteyaka vd., 2000; Çelik vd., 1998; Çelik vd., 2000; Anı, 2001). Flotasyon yöntemi; gerek istenmeyen minerallerin ayrılmasında ve gerekse endüstriyel hammaddelerin çeşitli ürünler halinde elde edilmesinde faydalanan etkin bir yöntemdir. Feldspatların zenginleştirilmesinde %70-75 oranında kullanılan bu yöntemle feldspat ve kuvars mineralleri ekonomik olarak kazanılıp, istenmeyen mika, turmalin, grön ve demir oksitler başarı ile uzaklaştırılmaktadır.

Elle Ayıklama İle Zenginleştirme: Minerallerin renk, parlaklık, flouresans, radyoaktivite, özgül ağırlık ve genel görünüm farklılıklarından yararlanılarak, elle seçilip birbirlerinden ayrılmasıyla gerçekleştirilen zenginleştirme yöntemidir. Ülkemizde de cam, seramik ve porselen sanayi dallarında üretim yapan bazı şirketlerde bu yöntem halen tercih edilmektedir. Örneğin, Pegmatit yataklarından elde edilen feldspatlarda bulunan diğer mineraller (kil, kuvars, mika, turmalin, rutil, gröna, demir oksitler) ocak başında yapılan elle ayıklama ile zenginleştirilmektedir (Çuhadaroğlu vd., 1992).

Boyuta Göre Sınıflandırarak Zenginleştirme: Boyut küçültme işlemleri sırasında cevheri oluşturan mineraller, dayanıklılık, kırılma şekli, dilinim ve ısı ile dağılma gibi yapısal özelliklerine bağlı olarak, farklı büyüklük ve şekilde kırılabilirler. Bu gibi durumlarda boyuta göre sınıflandırma yaparak değerli mineral belirli ölçülerde zenginleştirilebilir (Önal, 1994). Feldspat minerallerinin yanında gang minerali olarak bulunan mikalar, kırılma esnasında lifsi ve çubuksu yapılarını korurlar. Bu yüzden herhangi bir kırma işleminde feldspat mineralleri bu minerale göre daha ince boyutlara inmektedir. Böylece kırma ve sınıflandırma işlemleri ile feldspatı mikadan belirli bir ölçüde zenginleştirmek mümkün olmaktadır.

Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme: Farklı manyetik duyarlıdaki mineral tanelerinin uygun bir alan içinde, öncelikle manyetik kuvvet olmak üzere, çeşitli kuvvetlerin (yerçekimi, sürtünme, vs.) bileşke etkilerine dayanılarak, birbirlerinden ayrılması yoluyla gerçekleştirilen zenginleştirmeye manyetik ayırma ile zenginleştirme denir (Önal, 1994). Pegmatit yatakları, feldspat ve kuvars minerallerinin yanında çeşitli demir oksit minerallerini de içermektedir. Demir oksit minerallerinin manyetik duyarlılıkları feldspat ve kuvars minerallerine göre farklı olması sayesinde manyetik ayırma ile zenginleştirme yapan cihazlar kullanılarak bu mineralleri ortamdaki uzaklaştırmak mümkündür. Feldspatların kullanıldığı çoğu sanayi dalında ve özellikle seramik sanayinde renk verici safsızlıklar istenmemektedir. Bu yüzden, hemen hemen bütün tesislerde renk vericileri ayırmak için genellikle bu yöntem ya yalnız başına ya da başka zenginleştirme ekipmanlarıyla birlikte kullanılmaktadır.

Elektrostatik Ayırma İle Zenginleştirme: Minerallerin iletkenlik farkına dayanılarak yapılan zenginleştirme yöntemine elektrostatik ayırma ile zenginleştirme adı verilir. Elektrostatik zenginleştirmede cevheri oluşturan minerallerin iletkenlik (reversibilite) özellikleri ve voltaj farklılıkları kullanılmaktadır (Çizelge 2.7). Feldspat ve kuvars mineralleri çok zayıf iletkenlerdir. Bu yüzden, HF kullanılarak feldspat minerallerinin yüzeyleri F^- iyonları ile daha büyük negatif yük değeri kazanırlar. Böylece feldspat ve kuvars mineralleri arasında negatif yük bakımından büyük farklılıklar doğar ve elektrostatik ayırma yöntemi ile zenginleştirilebilirler (Okur, 1985). Endüstriyel çapta elektrostatik ayırma ile zenginleştirme uygulaması cevheri beslemeden önce kurutma, ısıtma, tozdan arındırma ve boyuta göre sınıflandırma gibi ön işlemlere gerek duyulması ve ilk yatırım ile işletme maliyetinin pahalı olması nedeni ile tercih edilmemektedir.

Çizelge 2.7. Bazı silikatların elektrostatik özellikleri

Mineral	Voltaj (V)	İletkenlik
Kuvars (Dumanlı)	9.672	Nİ
Kuvars (Kristal)	13.416	Nİ
Kuvars	14.820	Nİ
(Çakmaktaşı)	14.820	Nİ
Kuvars (Süt)	14.820	Nİ
Mikroclin	7.488	İO
Oligoklaz	6.240	Nİ
Gröna	18.000	İO
Turmalin	7.176	Pİ
Muskovit	2.964	İO

Nİ: Negatif İletkenlik

İO: İletken Olmayan

Pİ: Pozitif İletkenlik

Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme: Flotasyon, diğer zenginleştirme yöntemleri ile ayrılması ekonomik olarak mümkün olmayan ince tanelerin (-0,2 mm) yüzey ve arayüzey özelliklerinden faydalanılarak istenmeyen minerallerin uzaklaştırılmasıyla yapılan bir zenginleştirme yöntemidir. Bu yöntem ile pegmatitlerdeki feldspat ve kuvars birbirlerinden ayrılabilirdiği gibi diğer minerallerden de (mika, turmalin ve ağır mineraller) ekonomik olarak ayrılabilir. Feldspat flotasyonu genel olarak üç aşamadan oluşur. Birinci aşama feldspat cevherinde bulunan mika minerallerinin düşük pH'larda (2,5-3,5) az miktarda amin tipi toplayıcılar kullanılarak yüzdürülmesidir. İkinci aşamada ise demir oksit gibi renk verici mineraller düşük

pH’larda (3-4) sülfonat tipi toplayıcılar kullanılarak uzaklaştırılırlar. Feldspat flotasyonunun üçüncü ve son aşaması ise feldspat minerallerinin genel olarak düşük pH’larda (2,5-3) florür iyonu ile canlandırılarak katyonik toplayıcılar ile yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır.

2.1.3. Kuvars

Kuvars SiO₂ bileşiminde, sertliği 7, özgül ağırlığı 2.85 gr/cm³, ergime sıcaklığı 1785 °C olan ve yerkabuğunda en yaygın bulunan minerallerden biridir. Saydam veya mat, renksiz veya beyaz, kırmızı, pembe, mavi, mor gibi çeşitli renklerde kuvars vardır. Kristallerinin büyüklüğü bakımından iri kristalli olanlar: dumanlı kuvars, morion, venüs saçı, ametist, neceftaşı; kriptokristalin olanlar: akik, kalsedon, çakmaktaşıdır.

Kuvars minerali, yerkabuğunu oluşturan kayaların büyük bir bölümünde bulunur. Kuvars, rezerv bakımından oldukça fazla olmasına ve birçok kayacın yapısında az veya çok bulunmasına rağmen kullanılabilecek ekonomik yatakları oldukça sınırlıdır. Elektronik sanayinde kullanılabilecek özellikleri taşıyan saf kuvars kristalleri genellikle şiddetli hava etkilerine maruz kalmış kuvars damarları içindeki oyuk veya ceplerde ya da düz süt kuvars yatakları içinde meydana gelirler.

Kuvars jenetik olarak;

- Magmatik,
- Metamorfik,
- Sedimanter kökenlidir.

Kuvars mineralleri doğada fay ve çatlaklarda filon halinde bulunmasının dışında birçok cevher yataklarında da gang minerali olarak rastlanır.

Dünyadaki en büyük kuvars rezervleri Brezilya’da bulunmaktadır. Buradaki kuvars kristalleri elektronik sanayisinde kullanılabilecek niteliklere sahiptir. Henüz dünyadaki kuvars rezervleri tam olarak belirlenerek hesaplanamamıştır. Ancak kristal olmayan kuvars rezervleri bakımından Arjantin, Avusturya, Belçika,

Lüksemburg, Macaristan, Güney Afrika Cumhuriyeti, İspanya ve Norveç gibi ülkeler başta sayılabilir. Diğer taraftan Namibya ve Madagaskar kaliteli kuvars kristalleri rezervleri açısından Brezilyadan sonra gelmektedirler.

2.1.3.1 Kuvarsın Kullanım Alanları

Kuvars mineralinin, dağ kristali, dumanlı kuvars, strin, morion, ametist, kedigözü, kaptan gözü, pembe kuvars, safir, avanturin, karneol, krizopras, agat v.s. şeffaf veya çeşitli renkteki türleri mücevher taşı olarak değerlendirilir. Bunların bir kısmı özellikle agatlar ince mekanik endüstrisinde mil yatak koruyucularının, saat taşlarının, hassas terazi yataklarının, öğütme havanlarının v.s. yapımında kullanılır.

Homojen ve ikizleme göstermeyen kuvars kristalleri çok iyi pizo elektrizite özelliğine sahiptir. Bu nedenle hatasız, homojen ve ikizlemesiz dağ kristalleri dumanlı kuvarslar ve morionlar radyo ve telsiz endüstrisinde dalga stabilizatörü, rezonatörü v.s. olarak kullanılır. Bunun için kullanılacak kuvarsta, karşılıklı prizma yüzeyleri arasında en az 3-4 cm kalınlığa sahip kristallere gerek vardır. Renksiz ve ikizlemesiz dağ kristallerinden mikroskop gibi optik gereçlerde kullanılan mercekler yapılır. Erimiş kuvarstan ateşe ve asitlere dayanıklı kimya gereçleri yapılır.

Saf ve çok az demir (maksimum %0.002) bulunduran kuvars kumları ise cam, porselen, fayans yapımında emaye olarak kullanılmaktadır. Süt kuvars ve camsı kuvars ise öğütme ve bir takım cevher hazırlama işlemlerinden geçirilerek cam, deterjan, boya, seramik, zımpara, dolgu ve metalürji sanayilerinde kullanılmaktadır.

2.1.3.2 Kuvarsın Zenginleştirme Yöntemleri

Kuvars mineralleri içeren çeşitli cevher oluşumları, kuvars mineralini yanında demir oksitler, rutil, zirkon, ilmenit gibi mineraller bulunmaktadır. Bazı durumlarda kuvars minerallerinin teknolojinin ihtiyaç duyduğu şartları sağlayabilmeleri için bu minerallerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Kuvars zenginleştirme işlemleri, cevheri oluşturan kuvars ve diğer minerallerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre çeşitli

yöntemler uygulanarak yapılmaktadır. Kuvars mineralleri için en çok kullanılan yöntemler boyuta göre zenginleştirme, manyetik ayırma, gravite yöntemler, flotasyon ve kimyasal zenginleştirme yöntemleridir. Kuvars minerallerinin zenginleştirilmesinde bu yöntemler tek tek uygulanabildiği gibi bazı yöntemler birliktede uygulanabilmektedirler.

Boyuta Göre Sınıflandırarak Zenginleştirme: Genellikle bu yöntem kuvars minerallerinin yüzeyi kil veya başka minerallerle kaplanmış ise uygulanır. Bu gibi durumlarda ilk aşama yıkama ve dağıtma işlemi yapılarak yüzeyi kille veya demir oksitlerle kaplanmış kuvars minerallerinin temizlenmesidir. İkinci aşama ise bir sınıflandırma yaparak sistemden bu ince boyutlu kil veya demir oksitlerin uzaklaştırılmasıdır. Bu şekilde kuvars mineralleri kil minerallerinden büyük ölçüde temizlenebilmektedir.

Manyetik Ayırma İle Zenginleştirme: Kuvars minerallerinin kullanıldığı çoğu endüstri dalında demir içerikli mineraller istenmemektedir. Bunun için teknolojinin bir gerekliliği olarak hemen hemen bütün tesislerde demir içerikli minerallerin uzaklaştırılması bir zorunluluk haline gelmektedir. Bu yüzden, kuvars minerallerinin zenginleştirilmesinde hem ekonomik oluşu hem de yüksek verimliliği nedeni ile manyetik ayırma ile zenginleştirme seçilmektedir. Bu uygulama, kuvars minerallerinin kalitesini oldukça düşüren ve birçok endüstri dalında istenmeyen demir içerikli minerallerin sahip oldukları manyetik duyarlılıklarından yararlanarak uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Bunun için düşük veya yüksek alan şiddetli, yaş veya kuru manyetik ayırıcılar kullanılabilir.

Gravite Yöntemler Kullanılarak Zenginleştirme: Kuvars mineralleri içeren cevher yataklarında kuvars minerali ile bu minerale eşlik eden diğer mineraller arasında özgül ağırlık farkı bulunduğu durumlarda gravite zenginleştirme yöntemleri, özellikle sallantılı masalar kullanılmaktadır. Bu yöntemin işletme maliyetinin ekonomik oluşunun yanında bazı dezavantajlarının bulunması kullanımını oldukça azaltmıştır. Bu dezavantajlar arasında kapasite düşüklüğü, kapladıkları alan ve ayırma hassasiyeti başlıca sayılabilir. Ayrıca gravite yöntemlerle zenginleştirilmesi

düşünülen ağır minerallerin serbestleşme boyutunun çok küçük olması da bu yöntemin kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu yüzden ağır minerallerin büyük çoğunluğunu manyetik duyarlılığa sahip mineraller oluşturduğu için daha çok manyetik ayırma ile zenginleştirme yöntemleri tercih edilmektedir.

Flotasyon Yöntemi İle Zenginleştirme: Kuvars minerallerinin flotasyonla zenginleştirilmesi özellikle ince tanelere uygulanabilmesi ve büyük miktarlarda üretime olanak tanınması açısından en çok tercih edilen yöntemdir. Kuvars minerallerinin zenginleştirilmesinde flotasyon ile zenginleştirme önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü flotasyon yöntemiyle çoğu kuvars kaynağında bulunan demir oksit, kil ve ağır mineraller (zirkon, turmalin, limonit, siderit, vb) diğer yöntemlere göre (gravite ve manyetik zenginleştirme) daha kolay bir şekilde uzaklaştırılmaktadır. Kuvars minerallerinin flotasyonunda özellikle demirli ve karbonatlı safsızlıklardan temizlenmesi amacıyla hem işlemin kolaylığından hem de içerisindeki safsızlıkların azlığından dolayı çoğunlukla ters flotasyon uygulanır. Bunun için asidik ortamda (pH 2-3) alkil sülfonat tipi toplayıcılarla ters flotasyon yapılarak safsızlıklar yüzdürülerek uzaklaştırılır.

Kimyasal Yöntemler İle Zenginleştirme: Kimyasal zenginleştirme yöntemleri maliyetin çok yüksek olması nedeniyle tercih edilmemektedir. Ancak kuvarstan özel tip cam (optik cam) üretimi yapılacağı durumlarda tercih edilmektedir. Kimyasal zenginleştirme yöntemi olarak sülfirik asitle liçi, hidroflorik asit liçi, okzalik asit liçi ve klorlama sayılabilir. Liç yöntemlerinde ince boyuta ufalanmış kuvars cevheri bahsi geçen asitler ile karıştırılmakta ve kuvarsın bünyesinde bulunan karbonatlı ve demir içerikli minerallerin çözülmesi sağlanmaktadır. Daha sonra temiz suyla yapılan yıkama ile bu minerallerin kuvars cevherinden uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Kuvars cevherinin yüksek sıcaklara ısıtılarak (500-800 °C) ortama klor gazı verilerek, kuvarsın bünyesinde bulunan demir bileşiklerinin demir klorür gazı olarak ortamdan uzaklaşmasını sağlayan yöntem de klorlama denir. Yukarıda da belirtildiği gibi bu yöntemler pahalı oluşu, kapasite düşüklüğü gibi nedenlerden dolayı tercih edilmemektedir.

2.2. Silikatların Flotasyonu

Silikatlar, yeryüzünde en çok bulunan minerallerdir. Yer kabuğunda, bilinen minerallerin %25'i, yaygın minerallerinde %40'ı silikat mineralleri grubuna girer. Bu mineraller, endüstride kullanım alanı bulabilen ve “Endüstriyel Hammadde” olarak adlandırılan, kilden kuvarsa kadar pek çok minerali içermektedir. Ülkemizde, yatağından çıkarıldığı gibi teknolojik değeri olan silikatlar az olduğundan ya da hiç bulunmadığından, büyük rezervlere sahip olduğumuz, içerisinde birçok silikat minerallerini ve renk verici mineralleri bulunduran cevher yataklarının kullanılması gerekmektedir. Bu tür kayaçlar, kuvars, feldspatlar(Na, K, Ca, Mg, vs.), mika, talk, kaolin, diğer silikatlar, Fe ve Ti gibi renk verici safsızlıklardan oluşmaktadır. Bu kaynaklardan teknolojik standartlarda ve kalitede hammadde elde edilebilmesi için uygun zenginleştirilme süreçlerinin geliştirilmesi gerekmektedir. İnce boyutlarda serbestleşen ve fiziksel açıdan birbirine benzeyen bu minerallerin birbirlerinden fiziksel yöntemlerle ayrılması çok güçtür. Silikat minerallerin zenginleştirilmesinde en yaygın kullanılan yöntem, ince boyutta serbestleşen oksit ve sülfür minerallerinde olduğu gibi minerallerin yüzey/arayüzey özelliklerinden faydalanarak zenginleştirilmesini sağlayan flotasyon yöntemidir. Bu yöntem ile silikatlar ve renk verici mineraller birbirlerinden kolaylıkla ayrılabilir. Aşağıdaki Çizelge 2.8’de sıralanan silikat minerallerinin tamamı flotasyonla ticari bir öneme sahip olmaktadır.

Çizelge 2.8. Flotasyon yöntemi kullanılarak zenginleştirilen silikat mineralleri

Kuvars	Vollastonit
Feldspat	Spodümen
Mika	Talk
Nefelin Siyenit	Kaolin
Vermikülit	Pyropholit
Potas	Fosfat
Kiyanit	Olivin

Bu mineral gruplarının kimyasal bileşimleri birbirlerine çok benzemelerine rağmen flotasyon ile başarılı bir şekilde zenginleştirilmektedirler. Dünya çapında da

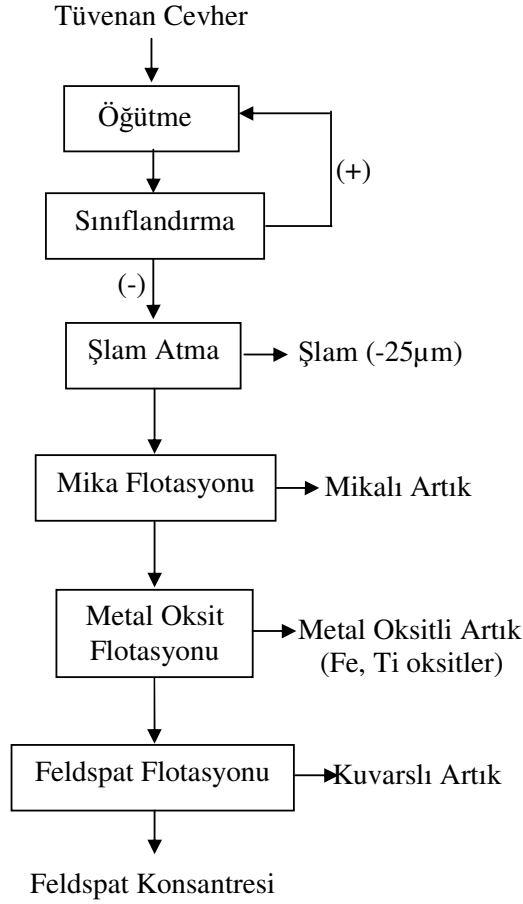
flotasyon yöntemini kullanarak bu mineralleri zenginleştiren birçok tesis bulunmaktadır.

Silikat minerallerinin endüstriyel mineral olarak kullanılabilir hale getirilmesi için beraberindeki safsızlıkların flotasyonla uzaklaştırılmasının dışında, çeşitli metalik minerallerin yanında gang minerali olarak bulunan silikat minerallerinin de flotasyonla uzaklaştırılması söz konusu olabilmektedir. Bu nedenle silikatların flotasyon özelliklerinin (yüzey-ara yüzey özelliklerinin) bilinmesi son derece önemlidir.

Farklı kimyasal yapıları sahip silikatların farklı flotasyon özellikleri göstermesi beklendiğinden her bir silikat yapısının flotasyon özelliklerinin incelenmesi bir zorunluluk haline gelmektedir. Silikat minerallerinin yapıları ve flotasyon özellikleri ile ilgili ilk çalışmalar, 1966 yılında Warren Spring Laboratuvarının fiziko-kimya grubu tarafından yapılarak literatüre kazandırılmıştır. Günümüzde ise, flotasyonda en çok uygulama alanı bulan silikatlar, feldspat ve kuvars mineralleridir. Özellikle feldspatların zenginleştirilmesinde mika flotasyonu, renk vericilerin flotasyonu, kuvars flotasyonu ve Na-K flotasyonu gibi birden fazla flotasyon aşaması görmek mümkündür.

2.2.1. Feldspatların Flotasyonu

Silikatlar içerisinde en ilginç mineral grubu olan feldspatlar, genel olarak kuvarstan normal flotasyon ile diğer minerallerden (mika, turmalin ve ağır mineraller) ise aşamalı olarak ters flotasyon ile zenginleştirilirler. Feldspatların flotasyon ile zenginleştirmesine ait genel akım şeması Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Feldspatların genel flotasyon akım şeması

Feldspat cevherlerinin zenginleştirilmesinde ilk işlem mikanın uzaklaştırılması aşamasıdır. Mika minerallerinin kafes yapısı, silis dört yüzlerinden oluşan iki tabaka arasındaki sekiz yüzeyle boşlukları alüminyum iyonlarının doldurması ile oluşan tabakalı bir yapıdır. Ancak her dört silisyum iyonundan birisinin yerine bir alüminyum iyonunun girmesi ile oluşan elektriksel yük dengesizliği, silis tabakaları arasına giren bir toprak alkali metal iyonu ile karşılanmaktadır. Toprak alkali metal iyonlarının çözeltiye geçmesi ile kafes yapısı negatif yüklü duruma gelmekte ve uygun toplayıcılar kullanılarak mika mineralleri yüzdürülmektedir. Mika flotasyonunda en çok kullanılan yöntemlerden birisi düşük pH'larda (pH 2,5-3,5) toplayıcı olarak az miktarda aminler kullanılarak yüzdürülmesidir. Bir diğer yöntem ise daha az kullanılan yüksek pH'larda (pH 9,0-10,0) katyonik-anyonik toplayıcı

karışımları ile yüzdürülmesidir. Bu yöntemde lignin sülfonat ve sodyum karbonat kullanılarak feldspat ve kuvars mineralleri bastırılmaktadır.

Feldspat cevherinin zenginleştirilmesinde ikinci aşama ise demir içeren renk verici minerallerin (turmalin, gröna ve demir oksitler) uzaklaştırılmasıdır. Bu aşamada mika minerallerinin uzaklaştırılmasıyla zenginleşmiş olan feldspat cevherinden pH 5-5,5'da Na-oleat kullanılarak ya da pH 2-4'de sülfonatlar kullanılarak renk vericiler yüzdürülerek uzaklaştırılır (Manser, 1975; Okur, 1984; Abdel-Khalek vd., 1994; Rao ve Forsberg, 1995; Bayraktar vd., 1995, 1997, 2000; Seyrankaya vd., 1997; Çelik vd., 1998, 2001; Karagüzel vd., 2001; Anı, 2001). Demir oksit flotasyonun düşük pH'larda yapılmasıyla hem demir oksit yüzeyleri temizlenmekte ve flotasyon başarısı artmakta hem de silikatların yüzeyi negatif işaretli olacağından dolayı silikatların flotasyonu engellenmektedir.

Son yıllarda gelişen teknoloji ile birlikte çeşitli kimyasallar üreten şirketler (özellikle Cytec) yeni bir tür yüzey aktif madde geliştirmişlerdir (Aero 704). Feldspatların flotasyonunda, şlam atma işleminden sonra bazik pH'larda (pH 7-9) bu toplayıcılar kullanılarak tek aşamada hem renk verici mineraller hem de mika mineralleri başarıyla yüzdürülerek uzaklaştırılmaktadır (Kurcan vd., 2007). Mika ve renk verici minerallerin birlikte uzaklaştırılmasıyla ilk yatırım ve işletme maliyetlerinin azalması, kapasitenin artması, kontrollerin kolaylaşması gibi avantajlar elde edilmektedir.

Feldspatların flotasyonunda, mika ve demirli safsızlıklar uzaklaştırıldıktan sonraki üçüncü ve son kademe feldspatın kuvarstan yüzdürülerek ayrılmasıdır. Feldspatlarda kuvars gibi silikat tetrahedronundaki dört oksijenin paylaşılması ile oluşan minerallerdir. Fakat bu minerallerde silisin dörtte biri veya yarısı yerine alüminyum gelmiş, elektriksel denge sodyum, potasyum veya kalsiyum ilavesi ile sağlanmıştır. Feldspatların kuvarstan seçimli olarak flotasyonla yüzdürülerek zenginleştirilmeleri, asidik pH'da (2,5-3) katyonik toplayıcılar ile (amin) birlikte HF (hidroflorik asit) kullanılarak mümkün olmaktadır. Bu ortamda feldspat ve kuvars yüzeyleri negatif işaretli olduğundan F^- iyonları feldspatların negatif elektrokinetik potansiyelini

arttırarak amin adsorbsiyonuna uygun duruma getirmektedir. HF'nin feldspatı canlandırıcı etkisinin yanında kuvarısı da bastırıcı bir etkisi görülmektedir. Ancak, HF'nin yüksek maliyeti, aşırı korozyifliği ve çevresel zararları nedeniyle uzun süredir HF dışı yeni yöntemler üzerine çalışılmaktadır. Feldspat-kuvars flotasyonu ile ilgili çalışmalar genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

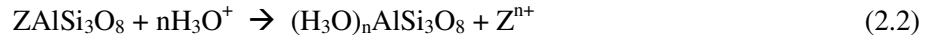
- A. HF kullanılarak yapılan feldspat-kuvars flotasyonu
- B. HF kullanılmadan yapılan feldspat-kuvars flotasyonu
 - 1. Katyonik toplayıcılar ile feldspat-kuvars flotasyonu
 - 2. Anyonik toplayıcılar ile feldspat-kuvars flotasyonu
 - 3. Anyonik-katyonik toplayıcı karışımları ile feldspat-kuvars flotasyonu
 - 4. Noniyonik toplayıcılar ile feldspat-kuvars flotasyonu

A. HF kullanılarak yapılan feldspat-kuvars flotasyonu

HF kullanılarak yapılan feldspat-kuvars flotasyonu, çok düşük pH'larda feldspatın florür iyonu ile canlandırılması ve uzun zincirli alkali katyonik toplayıcılar ile yüzdürülmesi esasına dayanır. Bu veriler ışığında O'Meara vd. (1939), yaptıkları bir çalışmada HF içeren asidik ortamda toplayıcı olarak amin kullanmışlar ve florür iyonlarının feldspat yüzeylerine adsorblanarak feldspatı canlandırıldığını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, HF yerine HCl kullanıldığında verimin düştüğünü tespit etmişlerdir. Florür iyonunun feldspat yüzeyini nasıl bir mekanizma ile canlandırıldığı ise hala netleştirilememiştir. Bu durum, Aplan ve Fuerstenau (1962), Lidström (1965), Smith ve Akhtar (1976) ve Manser (1975) tarafından bazı teoriler ileri sürülerek açıklanmaya çalışılmıştır.

Florür iyonu çapı, elektriksel yükü ve polarize edilebilirliği açısından hidroksil iyonu ile aynı değeriğe sahiptir (Harvey ve Porter, 1963; Cotton ve Wilkinson, 1966; Stumm ve Morgan, 1966). Bu nedenle florür iyonu içeren sulu çözelti ile temasta olan feldspat yüzeylerindeki hidroksil ve/veya oksijen iyonlarının en azından bir bölümünün yerine, florür yer değiştirme yolu ile girebilmektedir (Zadorozhnaya, 1977).

Dean ve Ambrose (1944), düşük pH’larda ve florür iyonu içermeyen ortamlarda feldspat-kuars flotasyonunun amin tipi toplayıcılar ile mümkün olamayacağını belirtmişlerdir. Joy vd. (1966), feldspat minerallerinin yüzeylerinin asit ortamlarda alüminyum oksit bileşenini kaybederek bir silis jeli ile bazik ortamlarda ise silisyum oksit bileşenini kaybederek bir alüminyum oksit veya hidroksit jeli ile kaplandığını belirtmişlerdir. Bu yüzden, özellikle asidik pH değerlerinde ve florürsüz ortamda kationik toplayıcılar ile feldspatların yüzmesi beklenilmemektedir. Bundan dolayı, feldspat flotasyonu ile ilgili temel çalışmalar asidik pH değerlerinde ve florür içeren ortamlarda feldspat canlanma mekanizmasını açıklamak amacıyla yapılmıştır. Feldspatlar sulu çözeltilerde kararsızdır ve kationlarını çözeltiye vererek hidrate olmuş alüminasilikatlar haline dönüşürler. Fogler ve Lunk (1975), feldspat yüzeyindeki tepkimeyi şu şekilde açıklamıştır;



Z^{n+} , “n” yüklü Ca, K ve Na gibi kationları temsil etmektedir.

Florür iyonunun canlandırma mekanizması ile ilgili olarak Aplan ve Fuerstenau (1962), Lidström (1965), Smith ve Akhtar (1976) ve Manser (1975) yaptıkları çalışmaları şu şekilde özetlemişlerdir;

1. Yüzeylerdeki amorf tabakanın çözülüp uzaklaştırılması yoluyla mineral yüzeylerinin temizlenmesi (Dean ve Ambrose, 1944),
2. Çözeltide SiF_6^{2-} veya SiF_6^{2-} amin karmaşıklarının oluşarak yüzey alüminyum atomları üzerine adsorplanması (Smith, 1965; Suliin ve Smith, 1966),
3. Mineral yüzeylerinde negatif yüklü alüminyum- florür komplekslerinin oluşması (Buckhenham ve Rogers, 1954; Schubert ve Abido, 1967),
4. Çözeltideki çok değerlikli potansiyel belirleyici kationların florür ile kompleksler oluşturmaları (Manser, 1975),

5. Mineral yüzeyinde bir potasyum veya sodyum silikoflorür tabakasının oluşması (Manser, 1975).

2, 3, 4 ve 5'deki mekanizmaların feldspat yüzeyindeki negatif zeta potansiyelinin miktarında bir artışa neden olduğu ve katyonik toplayıcıların adsorbsiyonunu arttırdığı düşüncesini desteklemektedir.

Uhlig (1985), tarafından tüm feldspat mineralleri üzerine HF'nin farklı pH'larda flotasyon verimine etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, pH 2,7-1,8 arasında tüm feldspatlar yüksek miktardaki florür konsantrasyonları ile canlandırılabilir. Kuvars pH 3'ün altında yüzmezken feldspatın kuvarstan ayrılabilmesinin florür konsantrasyonunun yeterince yüksek olmasıyla mümkün olabileceğini deneysel olarak göstermiştir.

Okur ve Önal (1984), Simav-Dağardı feldspatlarına üç aşamalı feldspat-kuvars flotasyonu uygulamışlardır. Bu çalışmalarında, HF asit ile birlikte Armac-T kullanmışlar ve feldspat minerallerini yüzdürmüşlerdir. %11,28 olan toplam alkali değeri %71,14 verimle %14,06'ya çıkardıklarını belirtmişlerdir.

Çuhadaroğlu vd. (1992), Karacaören yöresi alkali feldspatlarına iki aşamalı feldspat-kuvars flotasyonu uygulamışlardır. Sonuç olarak pH 3'te Armac T kullanarak % 4,25 K₂O ve %6,24 Na₂O içerikli feldspat konsantresini %75,14 K₂O ve %79,80 Na₂O verimle kazandıklarını bildirmişlerdir.

Geredeli ve Özbayoğlu (1995), Simav yöresi feldspatlarının zenginleştirilmesine yönelik çalışmalarında pH 3'te Armoflote 820 kullanmışlardır. %6,28 K₂O ve %3,57 Na₂O tenörlü cevherden %84,15 K₂O ve %77,51 Na₂O verimle %8,92 K₂O ve %4,29 Na₂O tenörlü konsantre ürettiklerini bildirmişlerdir.

Sümer ve Kaya (1995), Aydın-Çine yöresi feldspatlarını kullanarak üç aşamalı flotasyon yapmışlardır. R840 tipi sülfonat toplayıcısını kullanarak K₂O tenörünü

%8,66'dan %9,82'ye %56 verimle, Na₂O tenörünü ise 2,32'den 2,79'a %69 verimle yükseltmişlerdir.

B. HF kullanılmadan yapılan feldspat-kuars flotasyonu

Florür iyonunun özellikle asit ortamlarda hem zehirli hem de aşırı korozif bir madde olup gerek yatırım ve gerekse işletme masraflarını olumsuz yönde etkilemesi nedeni ile özellikle son yıllarda araştırmacılar florürsüz ortamda feldspat-kuars flotasyonunu araştırmaktadırlar. HF asit kullanılmadan yapılan feldspat-kuars ayırımı çalışmaları incelendiğinde bunların dört ana başlık altında toplanabileceği belirlenmiştir. Bunlar katyonik toplayıcı kullanılarak, anyonik toplayıcı kullanılarak, anyonik-katyonik toplayıcıları birlikte kullanılarak ve iyonik olmayan toplayıcılar kullanılarak yapılan feldspat-kuars ayırımı çalışmalarıdır.

1. Katyonik toplayıcılar ile feldspat-kuars flotasyonu:

Klyachim vd. (1969), HF asitten kaynaklanan zehirliliği azaltmak ve aynı zamanda da feldspat konsantresinin tenörünü arttırmak için, katyonik toplayıcı ve HF ile koşullandırmadan sonra yüzdürme işleminde HF yerine HCl veya H₂SO₄ kullanılmasını önermiştir. Aynı yazar daha sonra (1972), feldspat minerallerinin tetradetil amin ile yüzdürülmeleri sırasında %85 NH₄F.HF ve %15 NH₄F içeren karışımın %30'luk çözeltisinin, eşdeğer HF ile aynı etkiyi gösterdiğini öne sürmüştür.

Malghan (1981), HF kullanmadan feldspat-kuars flotasyonu için ticari isimleri Duomeen TDO ve Armac T olan toplayıcılar ile sülfürik asit kullanmıştır. Bu çalışmalarda kesikli flotasyon deneyleri yaparak, sülfürik asit varlığında toplayıcı olarak “N-tallow 1,3-propilen diamin dioleat” kullanıp HF'siz olarak feldspat flotasyonu yapmıştır. HF'li flotasyonda ise toplayıcı olarak Armac T kullanmıştır. Malghan değişik kimyasal ve fiziksel kompozisyona sahip feldspat cevherine uyguladığı HF'li ve HF'siz flotasyon testleri sonuçlarını karşılaştırmıştır. Konsantre verimi ve tenörünün; besleme tane boyutuna, kondüsyonlama süresine, pulp

yoğunluğuna, pH'ya, toplayıcı ve asit konsantrasyonuna ve kondüsyonlama öncesi pulp pH'sına bağlı değişimleri incelemiştir. Feldspat konsantresi tenörü ve verimi HF'siz flotasyonda oldukça yüksek olmasına karşın HF kullanılan yöntemle karşılaştırma yapıldığında verim ve tenör düşük kalmaktadır. Feldspat verimindeki bu azalmanın HF'siz yöntemin iri taneleri yüzdürmedeki yetersizliğinden, feldspatın tam serbestleşmemesinden ve bağlı tanelerin yüzmemesinden kaynaklandığı sanılmaktadır.

HF'siz yöntemde kullanılan "amin" türü toplayıcının feldspat flotasyonundaki adsorbsiyon mekanizması tam olarak anlaşılamamıştır. Ancak, düşük toplayıcı konsantrasyonlarında ve düşük pH değerlerinde toplayıcı feldspat yüzeyine adsorblanırken kuvars yüzeyine adsorblanmamaktadır. Feldspat yüzeyine olan bu yüksek adsorbsiyon intermoleküler ve iyonmoleküler komplekslerin oluşmasına bağlanmaktadır. Bu kompleksler minerale yüksek bir hidrofobiklik kazandırmaktadır. Burada oluşan iki fonksiyonlu kompleksler, kompleksleri oluşturan türlerden çok daha yüksek yüzey aktivasyonuna sahip olduğundan flotasyon verimini arttırmaktadır. Ancak, birincil ve ikincil aminin, oleik asidin ve buna karşılık gelen iyonların kararlı kompleksler oluşturma hipotezi araştırılmamıştır.

2. Anyonik toplayıcılar ile feldspat-kuvars flotasyonu:

Arsent'ev (1971), Na-feldspat ve K-feldspatın kuvarstan flotasyonla zenginleştirilmesinde, anyonik toplayıcı olarak sabunlar, kuvarsa canlandırmak için pH 10,5-11,0'de CaCl_2 ve feldspatı bastırmak için de nişasta ve sülfite alkol kullanmıştır. Bu yöntemle ekipmanları korozyona karşı korumak gerekmekte ve atık suyun temizlenerek tekrar kullanılması amin-florür yöntemindeki atık suya göre çok daha kolay olmaktadır.

Klyachin (1969) ise feldspatın CuSO_4 , CaCl_2 ya da başka çok değerlikli metal tuzları ile canlandırılabilceğini, ancak birlikte canlanan kuvarsa bastırılması için cevherin

yeniden HCl ya da H₂SO₄ kullanılarak pH 2-3'te işlem görmesi gerektiğini belirtmiştir.

El-Salmawy (1990; 1993), bazı çok değerlikli metal katyonlarının varlığında kuvarsın ve feldspatın SDS ile flotasyonu üzerine çalışmışlardır. Kuvarsın feldspattan ayrılması için yüksek pH'larda canlandırıcı olarak Ca⁺², Ba⁺² ve Sr⁺² gibi toprak alkali metalleri kullanılmasının teorik olarak mümkün olduğunu öne sürmüştür. Kuvarsın canlanma mekanizması hemimisel oluşumuna ve Ca(OH)R₂SO₃ gibi nötr katyon sülfonat kompleksinin yüzeyde çökmesine bağlanmaktadır. Bu sistemde feldspatın bastırılması ise yüksek bazik ortamda feldspat yüzeyinde oluşan hidrate olmuş tabakaya bağlanmıştır.

Bozdoğan vd. (1992), Milas-Çine yöresi cevherlerinin feldspat-kuvars flotasyonunu pH 8-9 ve toplayıcı olarak oleik asit kullanarak gerçekleştirmişlerdir. %9,82 Na₂O ve %0,37 K₂O tenörlü konsantre elde ettiklerini bildirmişlerdir.

3. Anyonik-katyonik toplayıcı karışımları ile feldspat-kuvars flotasyonu:

Ütine (1987)'ye göre çeşitli araştırmacıların anyonik-katyonik toplayıcı karışımları ile yaptıkları çalışmalar aşağıda özetlenmiştir;

Flotasyonda anyonik ve katyonik toplayıcıların birlikte kullanılmalarına ilişkin ilk patent Bunge (1965), tarafından alınmış ve primer amin veya primer amin tuzunun etoksillenmiş veya propoksillenmiş yağ asidi, yağ amid veya yağ aminin koşullandırma sırasında birlikte kullanılmalarını önermiştir.

Revnitsev ve Peskov (1967), anyonik ve katyonik toplayıcıların karışımlarını kullanarak feldspat-kuvars ayrımını gerçekleştirmeye çalışmalar ve Sovyetler Birliği'nden patent almışlardır.

Verheyden ve Hartman (1972), amonyum ya da amin tuzlarının, ester sülfonatların, esteramin tuz sülfonatları karışımlarının veya amonyum ve amin sülfonat tuzları karışımlarının yüzdürmede kullanılabileceğinin öne sürmüşlerdir.

Katayanagi (1973), flotasyon kimyasalı olarak petrol sülfonat ve yüksek molekül ağırlıklı alifatik amin tuzlarının karışımlarını kullanmıştır. Flotasyon, pH'nın ya H_2SO_4 ya da HCl ile 2,5 altına düşürüldüğü pülpe bu toplayıcı karışımı eklenerek yapılmaktadır. Bu yöntemin başlıca sakıncaları yüksek kimyasal madde maliyeti ve yüksek tenörlü feldspat cevherinden feldspatın yeterli verimlerle kazanılamamasıdır.

Katayanagi (1974), daha sonra aynı işlemin, pH değeri HCl kullanılarak 2'ye ayarlanmış ortamda, alkil sülfonik asit tuzları ile birlikte yüksek alkil-alkilin diamin karışımı kullanılarak da yapılabileceğini öne sürmüştür. Katayanagi, feldspatın HF'siz flotasyonundaki mekanizmaları açıklamak için yaptığı çalışmada, alifatik aminin yalnız başına feldspat yüzeyine adsorblanmasının asit ortamlarda flotasyonu sağlamak için yeterli olmadığını, petrol sülfonatın birlikte kullanılmasının toplayıcı adsorbsiyonunu pekiştirerek feldspat flotasyonunun başarısını arttırdığını belirlemiştir.

Daha sonraki çalışmalarda Hanumantha ve Forsberg (1993), ayırimda katyonik ve anyonik toplayıcıların karışımlarının sistem üzerindeki etkisini, yüzey gerilimin ve zeta potansiyeli ölçümleri ile flotasyon deneyleri yaparak belirlemeye çalışmıştır. Sonuçlar, yükleri nötralize etmek için zıt yüklü toplayıcı iyonlarının bir araya gelerek molekül kompleksleri oluşturduklarını göstermektedir. Bu molekül komplekslerini oluşturan moleküllerin her birinin yüzey aktifliği, bunların bir araya gelerek oluşturduğu molekül komplekslerinin yüzey aktifliğinden daha düşüktür. Molekül komplekslerini oluşturan bileşenlerin mol oranları flotasyonda büyük önem taşır. Eğer kullanılan anyonik toplayıcının mol miktarı, katyonik toplayıcının mol miktarından küçük ise flotasyon verimi artar. Eğer tersi bir oran varsa o zaman flotasyon gerçekleştirilememektedir.

Shehu ve Spaziani (1999), düzenleyici olarak EDTA (etildiamintetraasetat) kullanarak feldspat ve kuvarsın flotasyonla birbirlerinden ayrılabilirliklerini araştırmıştır. Toplayıcı olarak “alkil-1,3-propandiamin-2-propanol” ile “petrol sülfonatu” kullanmışlardır. Flotasyonda EDTA’nın kuvarsı bastırıcı bir etkiye neden olduğu anlaşılmıştır. Çalışmanın sonunda EDTA kullanıldığında pH 2’de ve katyonik/anyonik toplayıcı oranı 3:1 olduğunda feldspat ve kuvarsın ayrılabilirdiği belirlenmiştir.

Vidyadhar vd. (2002), pH 1,75-2 arasında tallow alkali propanediaminedioleate karışımı varlığında feldspatı kuvarstan seçici olarak ayırmışlardır. pH 2’nin üzerinde her iki mineralin benzer flotasyon özellikleri verdiğini, altında ise albitin yük farklılığının flotasyonunu kolaylaştırdığını ifade etmişlerdir. Nötr oleik asit molekülleri ile pozitif yüklenmiş diamine parçalarının bir araya gelmesiyle hidrofobiklik önemli derecede artmıştır. Amonyum iyonlarının Si-OH grupları üzerine hidrojen bağı ve elektrostatik çekim ile albit ve kuvars üzerine adsorplandığını iddia etmektedirler.

Kalyon ve Gülsoy (2005), feldspat-kuvars flotasyonunda HF kullanılmayan yöntemlerin karşılaştırmışlardır. Bu çalışmalarında HF kullanılan yöntemi ve HF’siz yöntemlerden katyonik, anyonik, anyonik-katyonik toplayıcı karışımları kullanılarak yapılan flotasyon yöntemlerini karşılaştırmışlardır. Sonuç olarak en iyi sonucu HF kullanılarak yapılan feldspat-kuvars flotasyonunda elde etmişlerdir. HF’siz yöntemler içerisinde ise en iyi sonucu pH 1,75-2,0’da Duomen TDO kullanılan anyonik-katyonik toplayıcı karışımında elde etmişlerdir. Bu sonuçlara göre %5,49 K₂O, % 1,27 Na₂O tenörlü cevherden %10,27 K₂O, %2,42 Na₂O tenörlü konsantreyi %66,18 K₂O ve %67,42 Na₂O verim ile elde ettiklerini bildirmişlerdir.

4. Noniyonik toplayıcılar ile feldspat-kuvars flotasyonu:

El-Salmawy (1993), kuvars ve feldspatın flotasyon davranışlarını incelemek için iyonik olmayan bir toplayıcı olan setiletherpolioksietilen(20) (C₁₆H₃₃(OCH₂CH₂)₂₀OH) (ticari ismi Brij 58)’i kullanmışlardır. Ayrıca bu

toplayıcının katı-sıvı arayüzeyine adsorplanmasının etkisi de araştırılmıştır. Sonuçlar, kuvarsın maksimum oranda yüzmesi için oldukça düşük konsantrasyonda toplayıcı kullanılmasının yeterli olduğunu göstermektedir. HCl ile liç yapıldıktan sonra feldspat flotasyonu sonucunda feldspatın flotasyon davranışının kuvarsın flotasyon davranışına yaklaştığı görülmüştür. Feldspat yüzeyi üzerindeki alkali kationların uzaklaştırılmasının, feldspatın yüzebilirliği üzerine etkisi de bu çalışmada ortaya çıkarılmıştır.

El-Salmawy (1997), sodyum oleat ile birlikte iyonik olmayan bir toplayıcı olan oksietilenik alkil fenol ((C₈H₁₇-C₆H₄-(OCH₂CH₂)_n-OH) n=9-10) diğer adıyla Triton X100'ü kullanarak kuvars ve mikroklin ayrımı üzerine çalışmıştır. İyonik olmayan toplayıcı kullanarak yapılan flotasyonda ilave edilen az miktarda Na-oleat etkisi incelenmiştir. Bu durumda kuvarsın yüzebilirliği artarak geniş bir pH aralığına yayılırken mikroklin yüzmemiştir. Yüksek dozda Na-oleatın kullanıldığında ise Na-oleat katı-sıvı arayüzeyine adsorblanarak misel oluşumuna neden olmaktadır.

2.2.2. Kuvars Flotasyonu

Pek çok cevher içerisinde değersiz mineral olarak bulunan kuvars minerali bazen de kendi başına bir endüstriyel hammadde kaynağıdır. Kuvars minerallerinin zenginleştirilmesinde flotasyon ile zenginleştirme önemli bir yer tutmaktadır. Çünkü çoğu flotasyon yöntemiyle kuvars kaynağında bulunan demir oksit ve karbonatlı safsızlıklar (zirkon, tumalin, limonit, siderit, vb) diğer yöntemlere göre (gravite ve manyetik zenginleştirme) daha kolay bir şekilde uzaklaştırılmaktadır. Kuvars minerallerinin flotasyonunda özellikle demirli ve karbonatlı safsızlıklardan temizlenmesi amacıyla hem işlemin kolaylığından hem de içerisindeki safsızlıkların azlığından dolayı çoğunlukla ters flotasyon uygulanır. Kuvars minerallerinin flotasyonunda en çok dikkat edilmesi gereken konu kuvarsın canlanmasının engellenmesidir. Flotasyon sırasında özellikle demir içeren mineraller bulunduğunda, hafif asidik veya bazik ortamda hidroliz olmuş demir iyonları kuvars yüzeyine adsorblanarak, kuvars yüzeyinin pozitif yüklü olmasına neden olurlar. Benzer etki kalsiyum ve magnezyum iyonları için de geçerlidir. Bu nedenle, kuvarsın içerdiği

safsızlıklardan arındırılması için asidik ortamda (pH 2-3) alkil sülfonat vb. anyonik tip toplayıcılarla ters flotasyon yapılır (Çilek, 2006).

Kuvarsın normal flotasyonu genel olarak iki şekilde sınıflandırılabilir. Bunlar;

- Katyonik toplayıcılar ile,
- Anyonik toplayıcılar ile,

Katyonik toplayıcılar ile kuvars flotasyonu: Kuvars minerallerinin düşük pH (2,5-3,5) değerlerinde katyonik toplayıcılar ile (aminler) yüzebilmesi esasına dayanmaktadır. Bu aşamada en çok dikkat edilmesi gereken konu, daha yüksek pH değerlerinde demir, kalsiyum ve magnezyum gibi iyonlar kuvars yüzeyine adsorblanabilmekte ve kuvars yüzeyini pozitif işaretli yapmaktadır. Bu gibi durumlarda katyonik toplayıcılar kuvars yüzeyini hidrofobik yapamayacaklarından dolayı flotasyon işlemi başarısız olacaktır. Bunun için, kuvars minerallerinin katyonik toplayıcılar ile flotasyonunda dikkatli pH ölçümlerinin yapılması gerekmektedir.

Anyonik toplayıcılar ile kuvars flotasyonu: Kuvars mineralinin yüzey yükü neredeyse bütün pH değerlerinde negatif işaretli olmasından dolayı doğrudan anyonik toplayıcılar ile yüzdürmek neredeyse imkânsızdır. Fakat kuvars yüzeyi, kuşun, çinko, bakır, demir tuzları gibi toprak alkali katyonlar ile canlandırılarak anyonik toplayıcılar (ksantat, sülfonat, vb.) ile yüzdürülebilmektedir. Kuvarsın metal iyonları yardımı ile canlandırılması incelendiği zaman her metal iyonu için değişen bir pH sınırı bulunmaktadır. Bunun nedeni ise kuvarsın canlanmasına neden olan iyonun metal iyonunun hidroliz ürününün olmasıdır. Özet olarak, kuvars anyonik toplayıcılar ile yüzdürmek istendiğinde bir metal iyonu ile canlandırmak gerekmekte ve bu metal iyonunun kuvarsın yüzeyine adsorblanması için ise uygun pH değerinin sağlanması gerekmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deneysel Materyal

Deneysel çalışmalarda, Matel Hammadde San. ve Tic. A.Ş.'den temin edilen feldspat ile kuvars minerali kullanılmıştır. Numunelerin bir kısmı %97'si -75 µm olacak şekilde öğütülmüş, parlak kesit hazırlamada ise iri el numuneleri kullanılmıştır. - 75 µm boyutuna öğütülmüş feldspat ve kuvars numuneleri mikroflotasyon, elektrokinetik potansiyeli ölçümleri ve mineral yüzeyinden çözülen iyonların tespitinde kullanılmak üzere üç farklı boyutta (-38 µm; -75+38 µm; -75 µm) sınıflandırılmıştır. Mikroflotasyon çalışmalarında -38 µm, +38 µm, -75 µm boyutunda sınıflandırılan mineraller kullanılmıştır. Elektrokinetik potansiyel ölçümleri -38 µm boyutunda numunelerle gerçekleştirilmiş, mineral yüzeyinden çözülen iyonların tespitinde ise -75 µm boyutunda sınıflandırılmış mineraller kullanılmıştır. Her bir minerale ait 2x2x2 cm boyutundaki parlak kesitler temas açısı ölçümlerinde kullanılmak üzere büyük el numunelerinden hazırlanmıştır.

Akredite Acme Analytical (Kanada) laboratuvarlarında yaptırılan numunelere ait kimyasal analiz değerleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Feldspat ve kuvars minerallerinin kimyasal analiz sonuçları

Bileşenler	Mineraller	
	Feldspat, (%)	Kuvars, (%)
SiO ₂	68,39	99,04
Al ₂ O ₃	17,43	0,45
Fe ₂ O ₃	<0,04	<0,04
MgO	0,03	0,01
CaO	0,20	0,03
Alkali (Na ₂ O+K ₂ O)	13,68	0,05
TiO ₂	<0,01	0,03
P ₂ O ₅	<0,01	0,01
MnO	<0,01	<0,01
Cr ₂ O ₃	<0,001	0,002
Kızdırma Kaybı	0,2	0,2

Mikroflotasyon ve diğer deneysel çalışmalarda katyonik ve anyonik toplayıcılar, alkali ve toprak alkali metallerin inorganik tuzları ve çeşitli asit ve bazlar kullanılmıştır. Kullanılan bu kimyasalların listesi Çizelge 3.2’de verilmiştir. Ayrıca mikroflotasyon deneylerinin farklı aşamalarında Afyon Kocatepe Maden Mühendisliği Laboratuvarında GFL Marka saf su cihazından üretilen 2,3 µmhos/cm olan saf su, kimyasal analizi Çizelge 3.3’de verilen Erikli marka doğal kaynak suyu ve Afyonkarahisar şebeke suyu kullanılmıştır. Mineral yüzeyinden çözülen iyonların tespiti ve temas açısı ölçümlerinde ise Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı’ndan temin edilen ultra saf su (18,2 MΩ Milli-Q water, Millipore), minerallerin elektrokinetik potansiyel ölçümlerinde ise iletkenliği 2,3 µmhos/cm saf su ile kimyasal içeriği Çizelge 3.4’de verilen Afyon İl Kontrol Laboratuvarı’ndan temin edilen saf su kullanılmıştır.

Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan kimyasal malzemeler ve özellikleri

Kimyasal Cinsi	Kimyasal Adı	Kimyasal Bileşimi	Safılık Derecesi, %	Mol Ağırlığı g/mol	Üretici Firma
İnorganik Tuz	Sodyum Klorür	NaCl	99,5	58,44	Merck
	Potasyum Klorür	KCl	99,5	74,55	Merck
	Kalsiyum Klorür	CaCl ₂	90	110,99	BDH
	Alüminyum Klorür	AlCl ₃	97	131,90	Merck
Yüzey Aktif Madde	Aero 3000C	Tallow alkil asetat	40-70	-	Cytec
	Oleik Asit	C ₁₈ H ₃₄ O ₂	88	282,47	Ricdel-deHaen
	DF-250	Polipropilenglikolmetileter	-	-	Dow Chemicals
	AF-65	-	-	-	Cytec
	AF-70	CH ₃ CHOHCH ₂ CH(CH ₃) ₂ (Methyl isobutyl carbinol)	60-100	102	Cytec
	AF-76	Çeşitli alkol karışımları	60-100	-	Cytec
	AF-88	C ₈ H ₁₇ OH (Aliphatik Alkol)	100	130	Cytec
Asit/Baz	Hidroflorik Asit	HF	38	20,01	Merck
	Hidroklorik Asit	HCl	37	36,46	Merck
	Sodyum Hidroksit	NaOH	97	40,00	Merck

Çizelge 3.3. Erikli marka doğal kaynak suyunun kimyasal içeriği

İyon	İçerik (mg/L)
Kalsiyum	6,8
Magnezyum	1,5
Sülfat	0
Nitrat	0
Florür	0,088
Klorür	10,65
Nitrat	0
Amonyak	0
Fenolik Maddeler	0
Aktif Klor	0
Toplam Sertlik (Fr)	2,4
pH	7,13
Bulanıklık	0,3
İletkenlik	39,8 µmhos/cm

Çizelge 3.4. Afyon İl Kontrol Laboratuvarı saf suyunun kimyasal içeriği

İyon	İçerik (mg/L)
Flor	11,5
Sodyum	-
Potasyum	1,57

3.2. Deneysel Yöntemler

Deneysel çalışmalar, feldspat ve kuvars minerallerinin yüzeylerinden çözünen iyonların analizi, tek ve çok değerlikli katyonların kuvars ve feldspat minerallerinin elektrokinetik potansiyeline etkisi, bu minerallerin farklı ortamlardaki temas açısı ölçümleri ile katyonik toplayıcıların bu minerallerin flotasyonuna etkisinden ibarettir.

3.2.1. Mineral Yüzeylerinden Çözünen İyonların Belirlenmesi

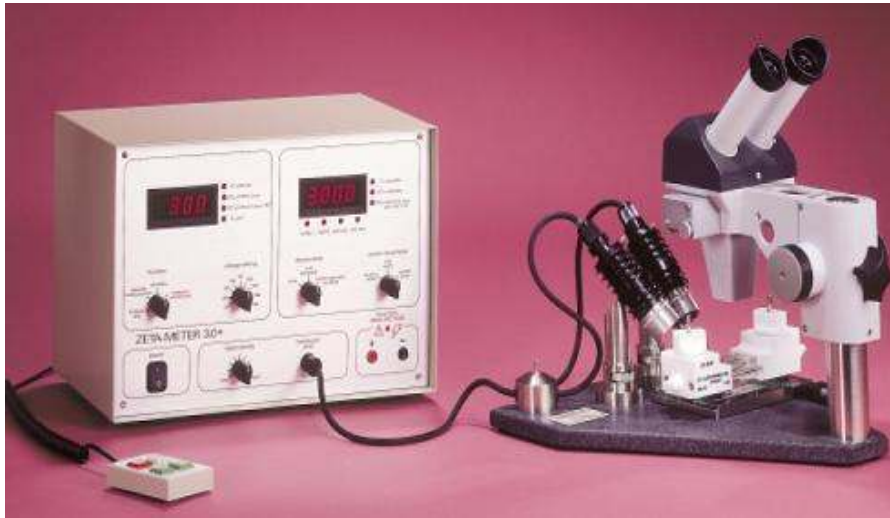
Feldspat ve kuvars mineral yüzeylerinden farklı pH'larda çözünen iyon türü ve miktarını belirleyebilmek için çözücü ortamın iyon analizi yapılmıştır. Bununla, mineral yüzeyinin elektriksel bir yük kazanmasını sağlayan iyonların belirlenmesi amaçlanmıştır.

Feldspat ve kuvars minerallerinin yüzeylerinden çözünen iyonların tespitinde çalışmaları, 18,2 MΩ saflıktaki ultra saf su kullanılmıştır. Analizler için, ağırlıkça %5 katı içeren feldspat ve kuvars süspansiyonları hazırlanmıştır. Minerallerin bulunduğu süspansiyonun analizi, her iki mineral için de pH 2-12 arasında yapılmış, asidik pH'lar hem HCl hem de HF kullanılarak tekrarlanmıştır. Bazı pH'larda ise sadece NaOH kullanılmıştır. Denge pH'sına getirilen süspansiyon 5 dakika boyunca kondüsyonlanmış ve santrifüj cihazı ile katı taneler çöktürülmüştür. Berrak sıvıdan alınan örneklerin Al, Na, K ve F iyonları konsantrasyonu Perkin Elmer Optima 5300 DV marka ICP-OES cihazı ve iyonmetre yardımıyla belirlenmiştir.

3.2.2. Elektrokinetik Ölçümler

Minerallerin elektrokinetik özelliklerin tespiti için yapılan deneyler; kuvars ve feldspat minerallerinin zeta potansiyeline pH'nın etkisi, sıfır yük noktası (syn) tayini, tek ve çok değerlikli katyonlar ile katyonik toplayıcının feldspat ve kuvars minerallerinin zeta potansiyeline etkisinin belirlenmesinden oluşmaktadır.

Zeta potansiyeli ölçümleri, mikro işlem donanımlı mikroelektroforez yöntemi ile çalışan Zeta Meter 3.0 cihazında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Zeta Meter 3.0 cihazı

Zeta Meter 3.0 cihazı ile yapılan zeta potansiyeli ölçümleri, pH'ya ve çeşitli iyon konsantrasyonuna bağlı olarak, feldspat ve kuvars minerallerinin 1 g/L şeklinde hazırlanmış süspansiyonlarının 5 dakikalık kondüsyonlama süresinden sonra yapılmıştır. Zeta potansiyeli ölçümleri sırasındaki pH değişimleri “WTW 720” marka pH metre cihazı ile, süspansiyonun kondüsyonlama işlemi ise “Yellow Line” marka manyetik karıştırıcı kullanılarak yapılmıştır. pH ayarlayıcı olarak isteğe göre %1’lik HF/HCl asit veya 1 N NaOH kullanılmıştır. Zeta potansiyeli ölçümleri boyunca hazırlanan süspansiyonun sürekli pH ölçümleri yapılmış ve süspansiyon sıcaklığı oda sıcaklığında (22-27 °C) sabit tutulmuştur. Hazırlanan süspansiyondan alınan yaklaşık 20 mL’lik numune pleksiglasdan imal edilmiş hücreye konularak ortalama 10 ölçüm yapılmış ve cihaz tarafından belirlenen ortama değer ve standart sapma kaydedilmiştir. Standart sapmanın %2’nin üzerinde olması durumunda ölçümler tekrarlanmıştır.

3.2.3. Temas Açısı Ölçümleri

Feldspat ve kuvars minerallerinin yüzebilme bir başka değişle ıslanabilme karakteristiklerinin belirlenmesi için farklı asidik ve bazik ortamlarda temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Temas açısı ölçümlerinde, Süleyman Demirel Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Flotasyon Laboratuvarında bulunan Romè-hart Model 100 marka temas açısı ölçüm cihazı (Şekil 3.2) kullanılmıştır. Bunun için, kuvars ve feldspat numunelerinden 20x20x20 mm ebatlarında parlak kesitleri hazırlanmıştır. Parlak kesitin hazırlanmasından sonra temas açısı ölçümlerine geçilmiş, her bir deney için farklı mineral yüzeylerinin kullanılmasına özen gösterilmiştir.

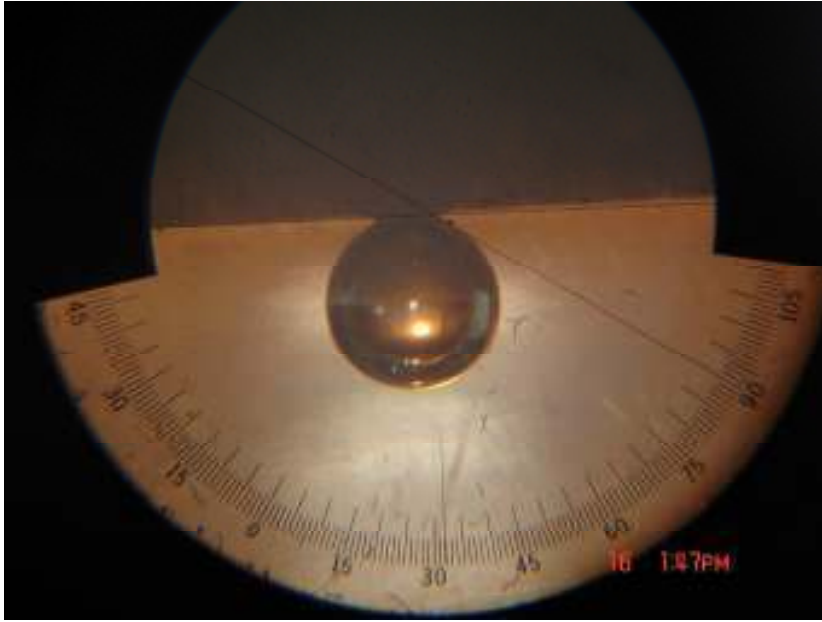


Şekil 3.2. Temas açısı ölçüm cihazı

Temas açısı, her iki mineralin asidik ve bazik ortamlarda anyonik(Oleik asit)/katyonik (Aero 3000C) toplayıcı konsantrasyonları değiştirilmek suretiyle belirlenmiştir. Bunun için feldspat veya kuvars minerallerinin bulunduğu 100 mL'lik saf su süspansiyonunun pH'sı HCl, HF ya da NaOH kullanılarak ayarlanmış daha sonra belirli konsantrasyonlarda toplayıcı ilave edilmiştir. Deneylerde kationik toplayıcının %0,025'lik çözeltisinden faydalanılarak her bir deney için 0,1 mL, anyonik toplayıcının %1'lik çözeltisinden faydalanılarak her bir deney için 0,05-0,5 mL ilave edilmiştir. 3 dakikalık kondüsyonlamanın ardından mineral yüzeyine çok yakın bir yerden şırınga yardımıyla hava kabarcıkları verilmiştir. Mineral yüzeyinin hidrofobikliğine bağlı olarak hava kabarcıkları yüzeye belli bir temas açısı ile tutunmuş ya da hiç tutunmamıştır (Şekil 3.3). Ölçümler, hava kabarcığının mineral yüzeyine tutunduğu durumlarda gerçekleştirilmiştir. Tutunmayan şartlarda ise 3 dakika boyunca mineral yüzeyine hava kabarcığı gönderme çalışmalarına devam edilmiş ve daha sonra temas açısı ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.3. Mineralin parlak kesitine hava kabarcığının tutunması



Şekil 3.4. Mineral üzerinde tutunmuş hava kabarcığı ve temas açısının ölçülmesi

3.2.4. Mikroflotasyon Deneyleri

Mikroflotasyon deneyleri, feldspat ve kuvars minerallerinin flotasyon özelliklerinin belirlenmesi, canlandırıcı (HF) ile bazı katyonların bu iki mineralin yüzebilirliğine etkisinin araştırılması ve feldspat-kuvars mineralleri karışımlarında mineral özelliklerinin flotasyon başarısına etkisini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

Mikroflotasyon deneylerinde, 50 mm çapında, 150 mm yüksekliğinde, 250 ml hacimli flotasyon hücresi kullanılmıştır. Flotasyon hücresinin karıştırma mekanizması, köpük alma sırasında herhangi bir sorunla karşılaşmamak için bir manyetik karıştırıcı ve bir manyetik balıktan ibarettir. Flotasyon için gerekli olan hava 10 L/dk kapasiteli küçük hava üreticisinden temin edilmiştir. Mikroflotasyon deney düzeneği Şekil 3.5’de görülmektedir.



Şekil 3.5. Mikroflotasyon deney düzeneği

Mikroflotasyon deneyleri için hazırlanan bu düzende; hava akış hızı, akış ölçerden veya hava üreticisi üzerindeki ayar bölümünden, karıştırma hızı ise manyetik karıştırıcı üzerindeki hız ayar bölümünden ayarlanabilmektedir. Mikroflotasyon deneylerinde Çizelge 3.5’de verilen değişkenler sabit tutulmuştur.

Çizelge 3.5. Mikroflotasyon deneylerinde kullanılan değişkenler

Flotasyon Değişkenleri	Değerler
Tane boyutu	-75 µm
Hava hızı	4 L/dk
Karıştırma hızı	800 d/dk
Köpük yüksekliği	3 cm
Katı oranı	% 10
pH kondüsyonlama	5 dk
Toplayıcı kondüsyonlama	3 dk
Köpürtücü kondüsyonlama	1 dk
Köpük alma süresi	3 dk
Asit	HCl/HF
Katyonik toplayıcı	Aero 3000C
Anyonik toplayıcı	Oleik Asit
Köpürtücü türü	DF-250

Mikroflotasyon deneylerini müteakip elde edilen yüzen ve batan ürünler filtrasyon ile katı-sıvı ayırımına tutulmuş, daha sonra etüvde (105 °C) kurutulmuştur.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

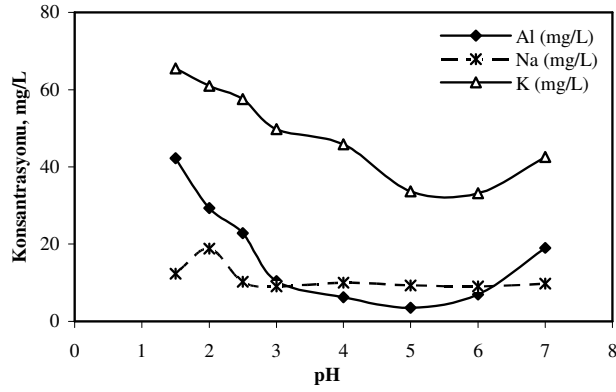
Bu bölümde, feldspat (ortoklaz) ve kuvars minerallerinin yüzeylerinden çözünen iyonların ve bu iyonların minerallerin yüzey potansiyellerini nasıl değiştirdiğinin belirlenmesi için minerallerin asidik ve bazik pH değerlerinde, bulundukları sıvı ortamın iyon analizleri ve aynı ortamda zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Bu veriler ışığında, mineral yüzeyinden hangi ortam şartlarında hangi iyonun ne kadar çözüldüğü belirlenerek bunun minerallerin zeta potansiyelini nasıl etkilediği gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların dışında, ortamda bulunabilecek katyonların etkisini belirlemek için bu katyonlar ile minerallerin zeta potansiyeli ölçümleri ve mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu sayede, bu katyonların minerallerin yüzey potansiyelini ve amin adsorbsiyonunu nasıl değiştirdiği belirlenmiştir. Ayrıca, katyonik toplayıcılar (amin tipi) ile zeta potansiyeli ölçümleri, temas açısı ölçümleri ve mikroflotasyon deneyleri yapılarak, bu toplayıcıların hangi şartlarda bu minerallere adsorplandığı ve bu minerallerin hidrofobik olduğu belirlenmiştir. Böylece, bu minerallerin aynı ortamda bulunmaları durumunda seçici olarak flotasyonla ayrıldıkları ortam şartları belirlenebilecektir.

4.1. Mineral Yüzeylerinden Çözünen İyonların Belirlenmesi

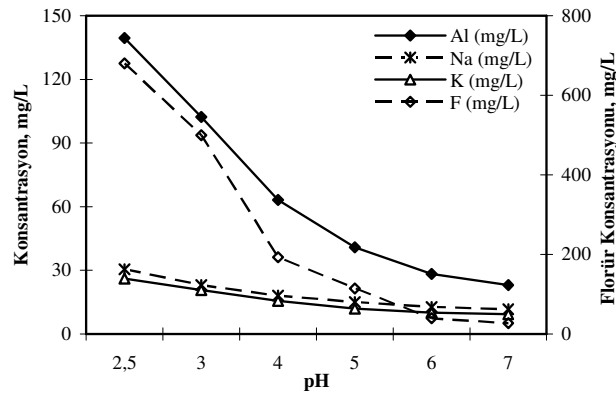
Feldspat ve kuvars minerali yüzeylerinden çözünen iyonların asidik ve bazik pH'larda bu minerallerin yüzey elektrik yüküne etkisi araştırılmıştır. HCl ve NaOH ile pH ayarı yapılan deneylerde süspansiyonda bulunan Al^{3+} , Na^+ ve K^+ iyonlarının, HF varlığında ise Al^{3+} , Na^+ , K^+ , F^- iyonlarının konsantrasyonu belirlenmiştir.

4.1.1 Asidik Ortamda Minerallerden Çözünen İyonlarının Belirlenmesi

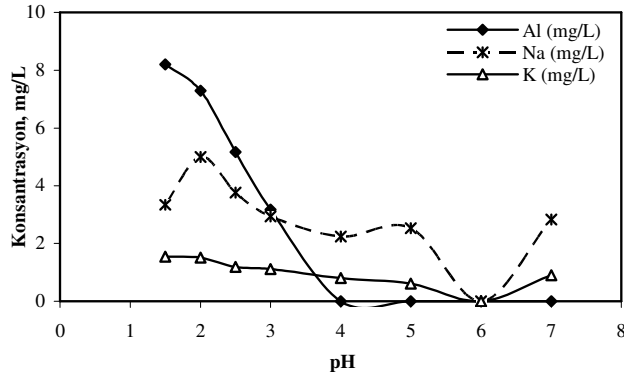
HCl ve HF varlığında feldspat ve kuvars minerallerinden oluşan süspansiyonda pH 1,5-7 aralığında çözeltiye geçen iyonların konsantrasyonu sırasıyla Şekil 4.1-4.4'de verilmiştir.



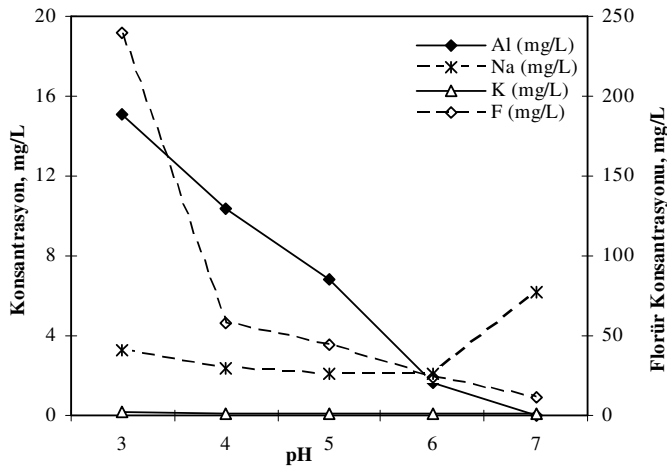
Şekil 4.1. HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu



Şekil 4.2. HF ile hazırlanmış süspansiyonda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu



Şekil 4.3. HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, kuvars mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu



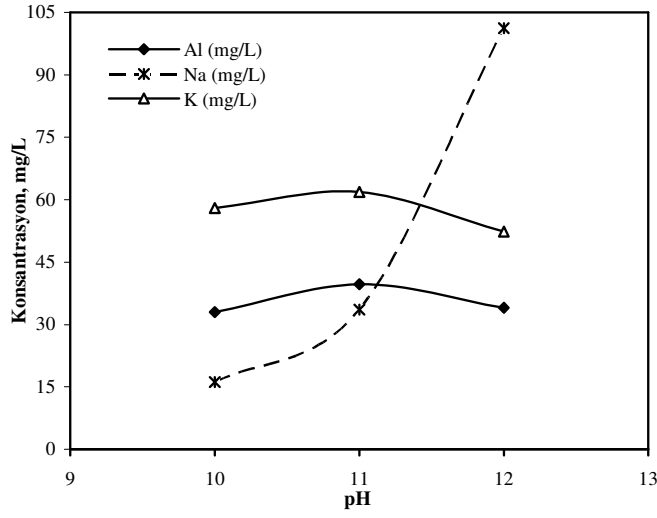
Şekil 4.4. HF ile hazırlanmış süspansiyonda, kuvars mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'den görüldüğü gibi ortamda H_3O^+ iyonu konsantrasyonu arttıkça feldspat yüzeyinden çözünen katyonların konsantrasyonu da artmaktadır. Bunun nedeni, Denklem 2.2'de de görüldüğü gibi süspansiyon içerisinde bulunan H_3O^+ iyonlarının mineral yüzeyindeki katyonlar ile yer değiştirmesidir. Bu yüzden, ortamda bulunan H_3O^+ iyonu konsantrasyonu arttıkça mineral yüzeyine daha fazla H_3O^+ bağ yapmakta ve mineral yüzeyinden daha fazla katyon çözünmektedir. Deneylerde kullanılan kuvars mineralinin içerisinde bulunan çok az miktardaki feldspat mineralleri için de aynı durumun geçerli olduğu Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'dan

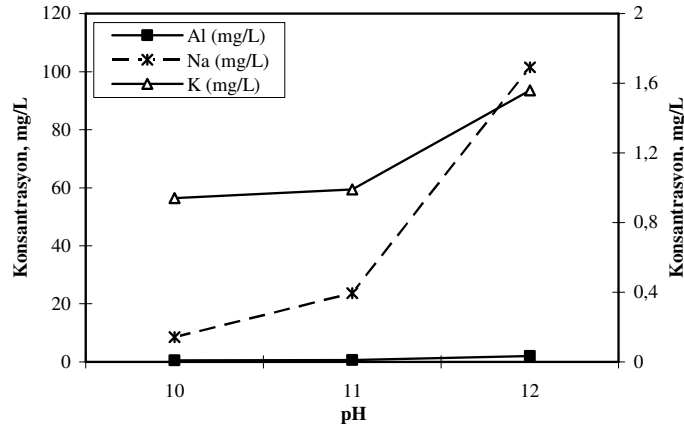
görülmektedir. $\text{pH} > 2$ olduğu ortam şartlarında mineral yüzeyindeki bu iyonların sulu çözeltiye geçmeleri mineral yüzeyine negatif bir yük kazandırmaktadır. Her iki ortamda yapılan (HCl ve HF) ölçümler karşılaştırıldığında K^+ ve Al^{3+} iyonlarının mineral yüzeyinden sulu çözeltiye geçme miktarlarında önemli bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin, florür iyonlarının elektronegatifliğinin klor iyonlarına göre çok daha fazla olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu sayede florür iyonları mineral yüzeyinden daha fazla katyonun çözülmesine neden olmaktadır. Ayrıca bu durum, HF içeren ortamlarda feldspat mineralinin yüzeyinin neden daha yüksek değerlerde negatif işaretli olduğunu ve çok düşük pH'larda bile negatif işaretli kalabildiğini göstermektedir. HCl kullanılarak hazırlanmış pH 2,5'da feldspat mineralinden 57,58 mg/L K^+ iyonu, 22,87 mg/L Al^{3+} iyonu çözünmektedir. HF kullanılarak hazırlanmış pH 2,5'da ise feldspat mineralinden 139,8 mg/L K^+ iyonu, 139,4 mg/L Al^{3+} iyonu çözünmektedir. Görüldüğü gibi ortamda florür iyonu yokken H_3O^+ iyonlarının ortoklaz yüzeyindeki katyonlar ile yer değiştirmesiyle K^+ iyonları açığa çıkmakta ve bu yüzden bu katyon Al^{3+} iyonuna göre daha fazla çözünmektedir. Ortama florür iyonu ilave edildiğinde F^- iyonunun Al^{3+} iyonu ile karmaşık yapıli bileşikler oluşturmamasından dolayı daha fazla Al^{3+} iyonu çözünmektedir. Yüzeyden daha fazla Al^{3+} iyonunun çözünebilmesi için de K^+ iyonunun çözünmesi gerekmektedir. Bu yüzden, mineral yüzeyinde çözünen K^+ iyonu konsantrasyonu da artmaktadır. Florür içeren ortamlarda K^+ iyonu konsantrasyonu ile Al^{3+} iyonu konsantrasyonunun neredeyse aynı olmasının nedeni ise ortoklaz mineralinde aynı miktarda bulunmalarıdır.

4.1.2 Bazik Ortamda Minerallerden Çözünen İyonlarının Belirlenmesi

Bazik ortamda (pH 10-12) feldspat ve kuvars minerallerinden çözünen iyonların konsantrasyonu Şekil 4.30-4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.5. NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu



Şekil 4.6. NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda, kuvars mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu

Bazık ortamda yapılan feldspat ve kuvars mineralinin su analizleri Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'de görülmektedir. Şekillerde de görüldüğü gibi bazık ortamda mineral yüzeyinden çözünen katyonların konsantrasyonu asidik ortamdakine göre oldukça azdır. Bunun sebebi, ortam pH'ını ayarlamak için kullanılan NaOH'tir. NaOH kullanımı sırasında ortamda fazla miktarda Na^+ katyonu bulunarak mineral yüzeyinden çözünecek diğer katyonların sulu çözeltiye geçmesini engellemektedir.

Ancak, mineral yüzeyinden yine de bir miktar katyon çözünmesi olmakta ve mineral yüzeyini negatif potansiyel kazandırmaktadır. Na^+ iyonundaki hızlı artış ise bazik ortamı ayarlamak için kullanılan NaOH 'den kaynaklanmaktadır.

Bu bölümde, feldspat ve kuvars minerallerinin yüzeylerinden farklı asidik ve bazik ortamlarda çözünen katyonlar ve miktarları belirlenmiştir. Ortamın pH'sı küçüldükçe (H_3O^+ iyonunun katyonlar ile yer değiştirme isteğinden dolayı) feldspat mineralinden çözünen katyonların miktarı artmaktadır. HCl ve HF içeren ortamlar karşılaştırılırsa florür iyonu içeren ortamlarda daha fazla katyon çözünmektedir. Bunun nedeni ise F^- iyonlarının elektronegatifliğinin Cl^- iyonuna göre daha fazla olması ve atom çapının neredeyse yarısı olmasıdır. Bu sayede OH^- iyonları ile daha kolay yer değiştirebilmektedir.

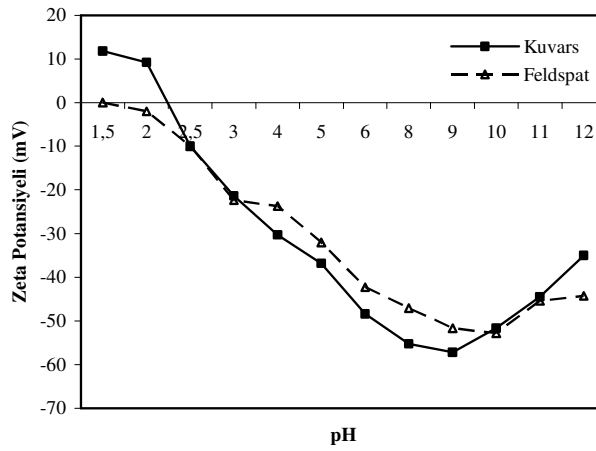
Mineral yüzeylerinden katyonların çözünmesinin ve bu çözünen katyonların diğer minerallerin yüzeylerine adsorblanmalarının sonucu olarak mineral yüzeyleri belirli bir yük kazanmaktadır. Mineral yüzeylerinde oluşan bu yükün değeri ve işareti, yapılan zeta potansiyeli ölçümleri ile belirlenmiştir. Feldspat ve kuvars minerallerinin yüzey yüklerinin oluşma mekanizması ile birlikte açıklanmasıyla bu iki mineralin flotasyonla ayrılmasının hangi şartlarda mümkün olduğu tanımlanmıştır.

4.2. Zeta Potansiyeli Ölçümleri

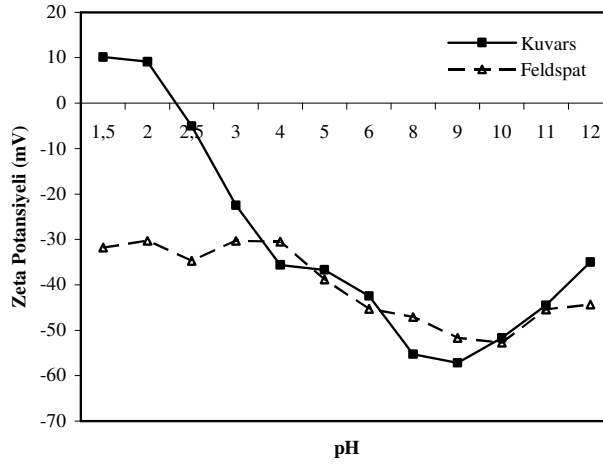
Flotasyon ile zenginleştirmede, katı ve sıvı fazın fizikokimyasal özellikleri zenginleştirmeyi etkileyen en önemli faktördür. Bu bölümde, flotasyon ile birbirlerinden ayrılması düşünülen feldspat ve kuvars minerallerinin yüzey yükleri flotasyon koşullarına göre araştırılmıştır. pH'ya bağlı zeta potansiyeli ölçümleri, tek ve çok değerlikli iyonların varlığında ve katyonik toplayıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

4.2.1. Ortam pH'sının Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Zeta Potansiyeline Etkisi

Feldspat ve kuvars, birer silikat minerali olduğundan ve benzer kimyasal ve fizikokimyasal özellikler sergilediklerinden, bu iki mineralin flotasyon yöntemiyle zenginleştirilmesinde zeta potansiyeli ölçümleri önemli bir yer tutmaktadır. 1 g/L katı konsantrasyonda hazırlanan feldspat ve kuvars süspansiyonlarının asidik ve bazik pH'lardaki zeta potansiyeli Şekil 4.7-4.8'de görülmektedir. Asidik ortamdaki ölçümler hem HCl asit hem de HF asit kullanılarak yapılmıştır. Çünkü Dean ve Ambrose (1944) ile Joy vd. (1966), asidik pH'larda ve florür içermeyen ortamlarda feldspat-kuvars flotasyonunun katyonik toplayıcılar ile mümkün olmayacağını belirtmişlerdir. Bu çalışmalar göz önüne alındığında, daha sonra yapılacak feldspat zenginleştirme deneylerinde florür iyonu bir canlandırıcı olarak kullanılacağından ölçümlerde her iki asit türü de kullanılmıştır.



Şekil 4.7. HCl/NaOH ile pH'ya bağlı zeta potansiyeli ölçümleri



Şekil 4.8. HF/NaOH ile pH'ya bağlı zeta potansiyeli ölçümleri

Şekil 4.7'den de görüldüğü gibi, HCl varlığında feldspatın sıfır yük noktası pH 1,75 iken, kuvarsın sıfır yük noktası pH 2,25 olarak belirlenmiştir. HF varlığında ise feldspatın yüzey elektrik yükü, bütün pH değerlerinde negatif ölçülmüş, kuvarsın sıfır yük noktası pH 2,3 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.8). Şekillerden de görüldüğü gibi ortamdaki hidrojen iyonu konsantrasyonu arttığında mineral yüzeyine H_3O^+ iyonları adsorblanmakta ve yüzey yükünün negatifliği azalmaktadır. pH arttıkça ortamdaki OH^- iyonlarının konsantrasyonu artmakta ve mineral yüzeyindeki H_3O^+ iyonlarının çözünmesini sağlamaktadır. Bu sayede yüzey yükü negatifliği artmaktadır. Bunun dışında, feldspat ve kuvars minerali çok küçük pH'lar hariç negatif yüzey yüküne sahip olduğu görülmektedir.

Feldspat ve kuvars yüzeyleri negatif ve pozitif yüklü sitelerden oluşmaktadır. Feldspatın yüzeyindeki pozitif yükler, Na^+ ve K^+ iyonlarının mevcudiyeti nedeniyle, negatif yüklü yüzeyler ise polar silonal ($Si-OH$) ve nonpolar siloksen ($Si-O-Si$) nedeni ile oluşmaktadır. pH artışına bağlı olarak feldspat yüzeylerin negatif yüzey elektrik yükü kazanması ve bu yükün mutlak değerinin pH artışına bağlı olarak artması silisile asit ($Si-O^-$) artışı ile izah edilebilir. Şöyleki;



Bunun tersine, pH'nın azalmasıyla feldspat yüzeylerinden pozitif yükler azalmakta, yani negatif yüklerin mutlak değeri hızla düşmektedir. Şöyleki;



yada,

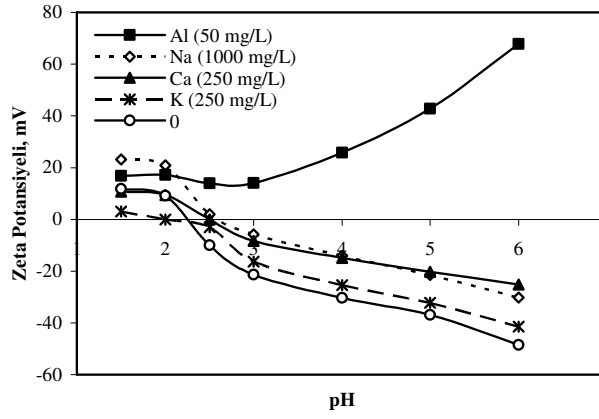


olarak izah edilebilir (Prasanphan ve Nuntiya, 2006).

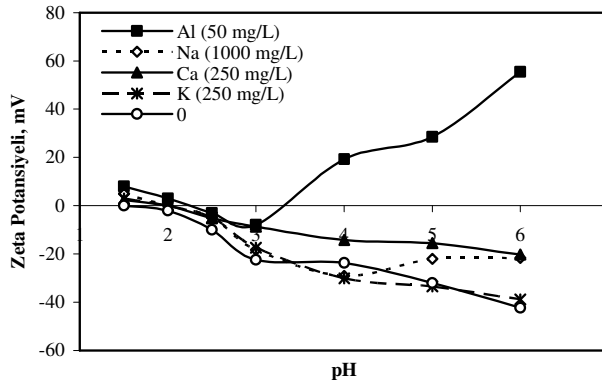
HCl ve HF ile yapılan zeta potansiyeli ölçümleri karşılaştırılacak olursa kuvars minerali için herhangi bir farklılık gözlemlenememiştir. Ancak feldspat mineralinin yüzey yükü çok düşük pH'larda bile negatif işaretli kalmakta ve sıfır yük noktası okunamamaktadır. Bunun nedeni, feldspat yüzeyinde bulunan Al-OH bağlarındaki OH⁻ iyonu ile F⁻ iyonun yer değiştirerek çözünürlüğü daha az olan bir bileşik oluşturmasıdır (Zadorozhnaya, 1977). Bu durum Cl⁻ iyonu bulunan ortamlarda gözlemlenememiştir. Çünkü Cl⁻ iyonunun elektronegatifliği florür iyonuna göre daha düşük olmasının yanında iyon çapı florür iyonuna göre daha büyük olmasıdır. Böylece Cl⁻ iyonları, OH⁻ iyonları ile yer değiştiremeyerek mineral yüzeyine H₃O⁺ iyonlarının adsorbanmasını kolaylaştırmakta ve yüzey potansiyelinin işaret değiştirmesine neden olmaktadır.

4.2.2. Bazı Katyonların Zeta Potansiyeline Etkisi

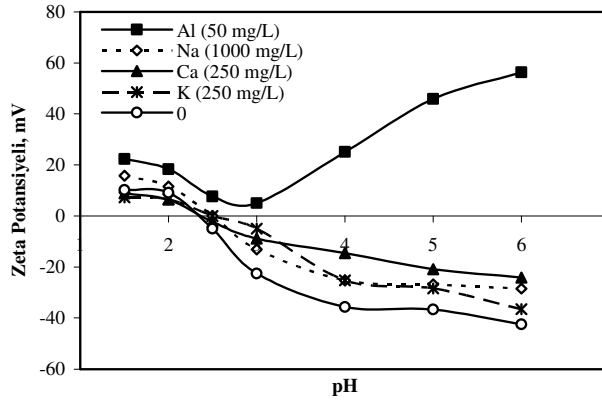
Minerallerin yüzey yüklerinin belirlenmesinde süspansiyonun pH'sı kadar ortamda bulunan iyonların ve bu iyonların konsantrasyonunun da etkisi büyüktür. Bu yüzden minerallerden çözünerek ortama geçebilecek ve/veya kullanılan sıvı içerisinde bulunabilecek iyonların, feldspat ve kuvars minerallerinin zeta potansiyeline etkisinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu bölümde Na⁺, K⁺, Ca²⁺ ve Al³⁺ gibi tek ve çok değerlikli iyonların, feldspat ve kuvars minerallerinin zeta potansiyeline etkisi belirlenecektir. Bunun için, pH'ya bağlı olarak yapılan zeta potansiyeli ölçümlerinde bu iyonların tuzları (NaCl, KCl, CaCl₂, AlCl₃) kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de verilmiştir.



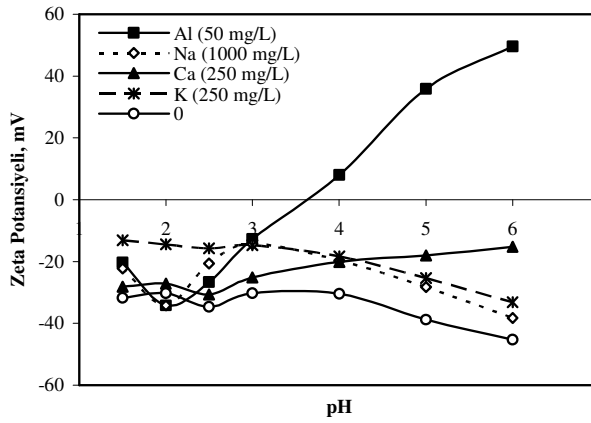
Şekil 4.9. HCl ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların kuvarsın zeta potansiyeline etkisi



Şekil 4.10. HCl ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların feldspatın zeta potansiyeline etkisi



Şekil 4.11. HF ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların kuvarsın zeta potansiyeline etkisi



Şekil 4.12. HF ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonları feldspatın zeta potansiyeline etkisi

Görüldüğü gibi, tek ve çift değerlikli katyonların (Na^+ , K^+ ve Ca^{2+}) her iki mineralin zeta potansiyeline etkisi marjinal düzeydedir. Özellikle iyon değiştirme yeteneğine sahip olmayan ve çok düşük iyon değiştirme özelliği gösteren minerallerde Na^+ , K^+ ve Ca^{2+} gibi tek ve çift değerlikli katyonların elektriksel çift tabayı bastırdıkları yani yüzey yükünün mutlak değerini azalttıkları literatürden bilinmektedir. Üç değerlikli katyon (Al^{3+}) ise bu iki mineralin zeta potansiyelinin değerini ve işaretini çok daha düşük konsantrasyon ile değiştirmiştir. Tek ve çift değerlikli katyonların tersine Al^{3+} feldspat ve kuvars minerallerinin yüzey yüklerinin değerini ve işaretini özellikle pH

artışıyla birlikte değiştirmesi, ortamdaki $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ bileşikleri varlığına atfedilebilir. Nitekim NaOH ile yapılan deneylerde, yani bazik şartlarda Al^{3+} iyonunun her iki mineralin yüzey elektrik yükünün işaretini ve mutlak değerini önemli ölçüde değiştirmesi ve ölçülen yüksek pozitif yükler bunu doğrular mahiyettedir. Artan pH ile birlikte ortamda CaOH^+ mevcudiyeti ve buna bağlı olarak her iki mineralin yüzey elektrik yükünün artması ve pozitif yük sergilemesi (Şekil 4.13-4.14) bunun bir başka şekli olarak gösterilebilir.

Farklı değerlikli iyonların yüzey yükünü farklı etkilemesi de aşağıdaki eşitlik ile açıklanmaktadır (Çilek, 2006):

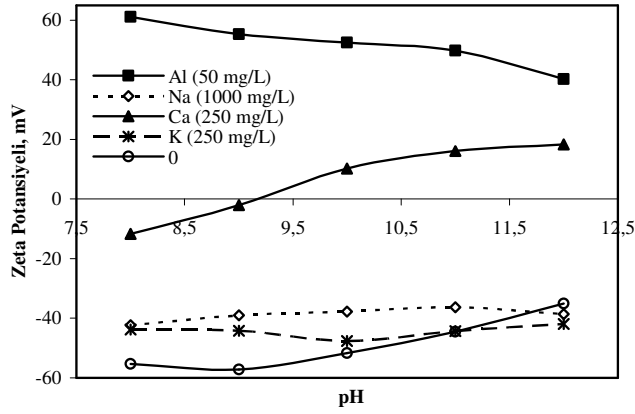
$$\Psi = \Psi_0 \exp(-\kappa\chi) \quad (4.4)$$

$$\kappa = 0,328 \cdot 10^{10} (c^I z^2)^{0,5} \quad (4.5)$$

Burada; c^I elektrolit konsantrasyonu, z zıt yüklü iyon değerliliği, Ψ_0 yüzey potansiyeli, Ψ $x(m)$ mesafedeki potansiyeldir. Formüllerden de görüldüğü gibi aynı konsantrasyonda yüksek değerlikli iyonlar yüzey yükünü daha çok etkilemektedirler. Ayrıca bu durum, Schulze-Hardy kuralı ile Formül 4.6'deki gibi açıklanabilir (Shaw, 1970).

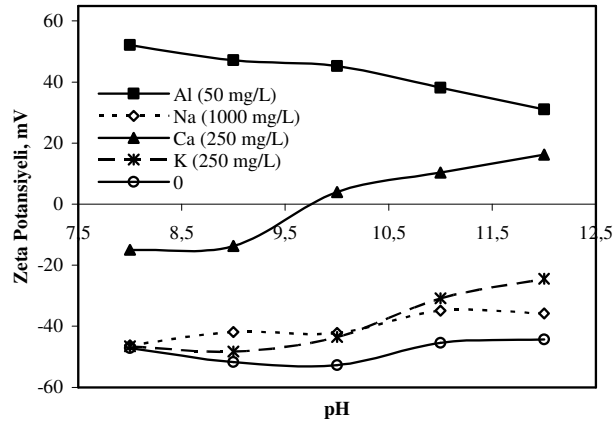
$$c_t = z^{-6} \quad (4.6)$$

Burada; c_t iyon derişimi, z zıt yüklü iyon değerliliğidir.



Şekil 4.13. NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların kuvarsın zeta potansiyeline etkisi

Bu iyonların feldspat ve kuvars minerallerine HCl ve HF ortamlarındaki etkileri karşılaştırılacak olursa her iki ortamda da etki mekanizmasının değişmediği görülmektedir.

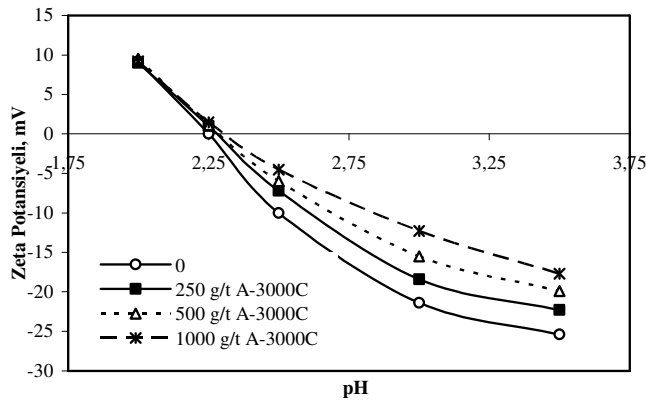


Şekil 4.14. NaOH ile hazırlanmış süspansiyonda bulunan katyonların feldspatın zeta potansiyeline etkisi

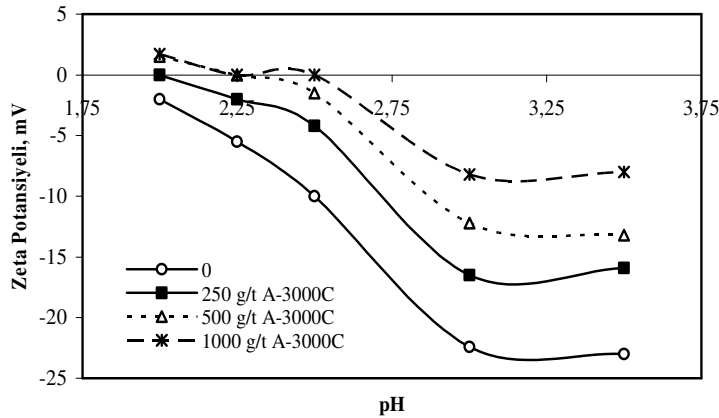
4.2.3. Katyonik Toplayıcının Zeta Potansiyeline Etkisi

Çok düşük pH'lar hariç neredeyse bütün pH'larda yüzey yükü negatif olan feldspat ve kuvars minerallerine hidrofobik (susevmez) özellik kazandırabilmek için katyonik

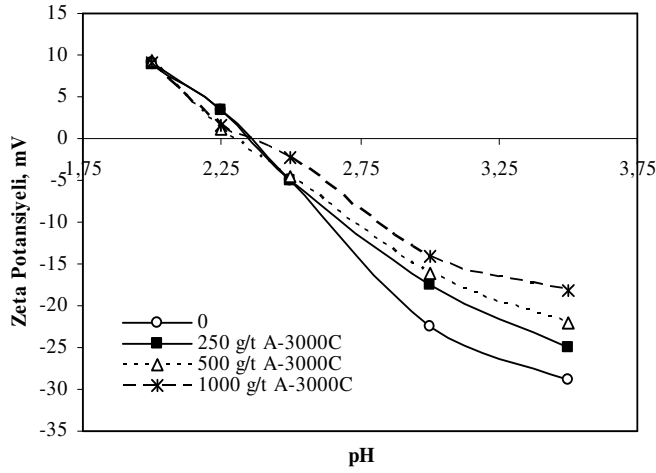
toplayıcıların (aminler) kullanılması gerekmektedir. Kullanılan bu katyonik toplayıcıların mineral yüzeyine hangi şartlarda ne derecede adsorblandığını belirleyebilmek için zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Bunun için, HCl ve HF varlığında minerallerin yüzey elektrik yüküne farklı konsantrasyonlarda amin (Aero 3000C) toplayıcıların etkisi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.15-4.18’de görülmektedir.



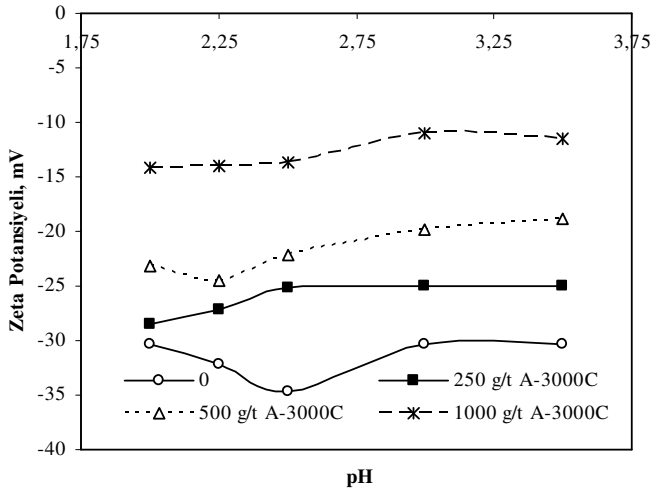
Şekil 4.15. HCl ile hazırlanmış süspansiyonda katyonik toplayıcının (Aero 3000C) kuvarsın zeta potansiyeline etkisi



Şekil 4.16. HCl ile hazırlanmış süspansiyonda katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspatın zeta potansiyeline etkisi



Şekil 4.17. HF ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) kuvarsın zeta potansiyeline etkisi



Şekil 4.18. HF ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspatın zeta potansiyeline etkisi

Görüldüğü gibi aminler negatif yüklü yüzeylere adsorblanmakta ve yüzeyin negatif değerini azaltmaktadır. Genel olarak bakıldığında yüzeydeki negatif yükler arttıkça adsorblanan toplayıcı miktarı da artmaktadır. Yine aynı şekilde bu artış toplayıcının süspansiyon içerisindeki konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da görüldüğü gibi pozitif yüklü yüzeylerde reaktif adsorpsiyonu söz konusu değildir.

İki mineralin farklı ortamlardaki zeta potansiyeli ölçümleri karşılaştırılacak olursa; kuvars minerali için her iki ortamda da yapılmış zeta potansiyeli ölçümlerinde hiçbir farklılık gözlenmemektedir. Fakat feldspat minerali için yapılmış zeta potansiyeli ölçümlerinde bazı farklılıklar görülmektedir. Bu farklılık, HF ile yapılmış ölçümlerde katyonik toplayıcının daha çok adsorblandığıdır. Bunun nedeni de aminlerin Al-OH^- bileşiğinde OH^- yerine geçen F^- iyonları ile daha sağlam ve kararlı bileşik oluşturmasıdır (Smith,1965).

Yapılan zeta potansiyeli ölçümlerinden şu sonuçlar çıkarılabilir;

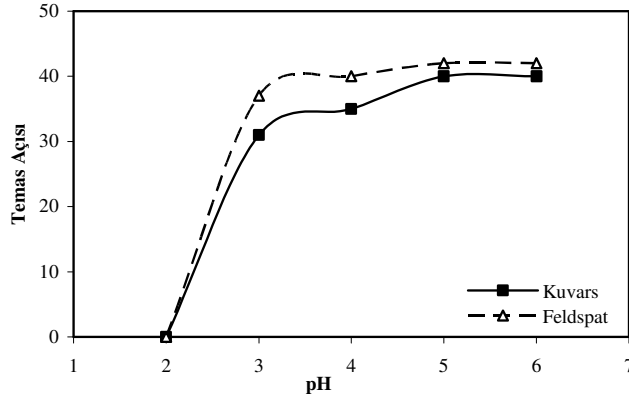
- Saf su ile yapılan zeta potansiyeli ölçümlerinden de görüldüğü gibi bu iki mineralin yüzey özellikleri birbirine çok benzemektedir. Sadece florür iyonu içeren ortamlarda pH 1,5-3 arasında yüzey potansiyeli farklılıkları görülmektedir.
- Tek ve çok değerlikli katyonlar ile yapılan zeta potansiyeli ölçümlerinde de bu iki mineral benzer yüzey özellikleri göstermektedir.
- HCl ve HF ile hazırlanmış ortamlarda katyonik toplayıcılar kuvars yüzeyine $\text{pH} \geq 3$ olduğu durumlarda adsorblanmakta, $2,5 \leq \text{pH} \leq 3$ olduğu durumlarda çok yüksek toplayıcı konsantrasyonlarında adsorblanmakta, daha düşük pH'larda ise adsorblanmamaktadır. Feldspat yüzeyine de bütün pH aralıklarında adsorblanmaktadır. Buna göre, feldspat ve kuvars minerallerinin flotasyon ile ayrılmasının $\text{pH} \geq 3$ 'de katyonik toplayıcılar ile florür iyonları bulunmadan çok zor olduğu ve $\text{pH} \leq 3$ 'de yüksek toplayıcı konsantrasyonlarında aminlerin çok az miktarlarda kuvars yüzeyine adsorblanmasından dolayı toplayıcı konsantrasyonunun çok iyi ayarlanması gerektiği sonucuna varılabilir.

4.3. Temas Açısı Ölçümleri

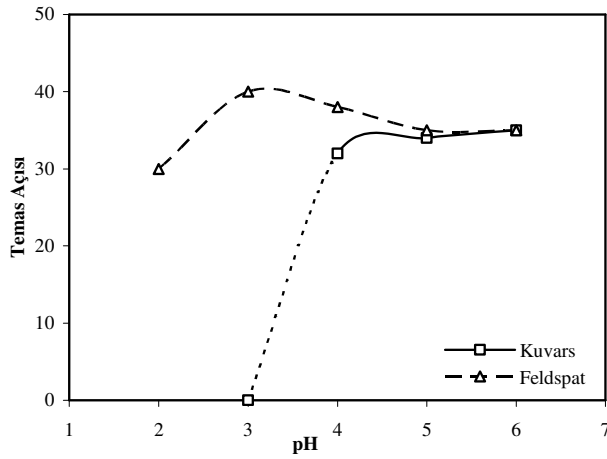
Feldspat ve kuvars minerallerinin arayüzey özelliklerine ve dolayısıyla yüzeyliliklerine katyonik ve anyonik toplayıcıların etkisini tespit etmek için ortam pH'sı HCl ve HF ile ayarlanan süspansiyonlarda temas açısı ölçümleri yapılmıştır.

4.3.1. Katyonik Toplayıcının Minerallerin Temas Açısına Etkisi

Farklı pH'larda, amin (Aero 3000C) kullanılarak ölçülen temas açısı değerleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de görülmektedir.



Şekil 4.19. HCl ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspat ve kuvars mineralinin temas açısına etkisi



Şekil 4.20. HF ile hazırlanmış süspansiyonda, katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspat ve kuvars mineralinin temas açısına etkisi

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi HCl ile hazırlanmış ortamlarda katyonik toplayıcılar negatif yüklü feldspat ve kuvars minerallerine adsorblanmakta ve benzer temas

açıları okunmaktadır. Şekil 4.20'e bakılacak olursa HF ile hazırlanmış ortamda katyonik toplayıcılar $pH \leq 3$ olduğunda kuvars yüzeyine adsorblanmazken feldspat yüzeyine daha önce açıkladığı gibi F^- iyonlarının oluşturduğu mekanizmadan dolayı adsorblanabilmektedir. Yalnız deneysel çalışmalar sırasındaki gözlemlere göre, pH 3'de kuvars minerali çok az miktarlarda da olsa hidrofobik olmaktadır. Çünkü parlak kesitlere kabarcık yapışmakta ama kabarcık yapıştıktan kısa bir süre sonra koptuğu için temas açısı okunamamaktadır. Bu yüzden bu pH'daki temas açısı değeri "0" olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak HCl ile hazırlanan ortamlarda bu iki mineral arasında hiçbir hidrofobiklik farkı meydana gelmez ikin HF ile hazırlanmış pH 3 ve altındaki ortamlarda katyonik toplayıcılar ile bu iki mineral arasında bir hidrofobiklik farkı oluşmaktadır. Buda bu iki mineralin flotasyon yöntemiyle ve katyonik toplayıcılarla ayrılabilceği ortam şartlarının sadece F^- içeren ortamlarda meydana geldiğini göstermektedir.

4.3.2. Anyonik Toplayıcının Minerallerin Temas Açısına Etkisi

Ancak, beklenildiği gibi, pH 2-6 arasında bu iki mineral için herhangi bir temas açısı okunamamıştır. Bunun nedeni asidik pH değerlerinde oleik asitteki etkin iyon (monomer) açığa çıkmamaktadır. Oleik asidin etkin grubu açığa çıkmadığından dolayı minerallere adsorblanamamakta ve hidrofobik yapamamaktadır. Diğer bir nedeni ise, bu pH aralıklarında her iki mineralin yüzey yüklerinin negatif işaretli olmasıdır. Bu yüzden anyonik toplayıcılar mineral yüzeylerine adsorblanamamakta ve mineral ıslanmaktadır.

4.4. Mikroflotasyon Deneyleri

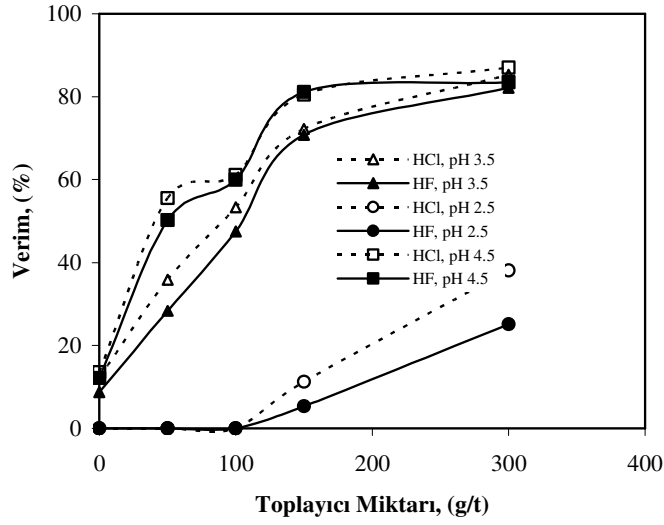
Toplayıcıların belirli bir süre içinde mineral yüzeyine adsorblanabilme yeteneği mineralin ve toplayıcıların özellikleri ile ortam pH'sına bağlıdır. Bu bağlamda gerek feldspat ve kuvarsın adsorbtif davranışı, gerekse deneylerde kullanılacak olan katyonik toplayıcının söz konusu minerallerin yüzeyindeki adsorbsiyon mekanizmasını ortaya koymak, köpürtücü miktarının etkisini belirlemek için farklı köpürtücü ve toplayıcı konsantrasyonlarında ve süspansiyon pH'larında

mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde kullanılacak toplayıcı türü daha sonraki zenginleştirme deneylerinde de kullanılacak olan Cytac firmasının “Aero 3000C” ticari ismiyle ürettiği amin türü katyonik toplayıcı olarak seçilmiştir. Her iki mineralinde çok düşük pH değerleri hariç negatif işaretli olmasından ve ortama ilave edilen katyonların her iki mineralinde yüzey yükünü değiştirmesinden dolayı deneylerin anyonik toplayıcılar ile tekrarlanmasına gerek görülmemiştir.

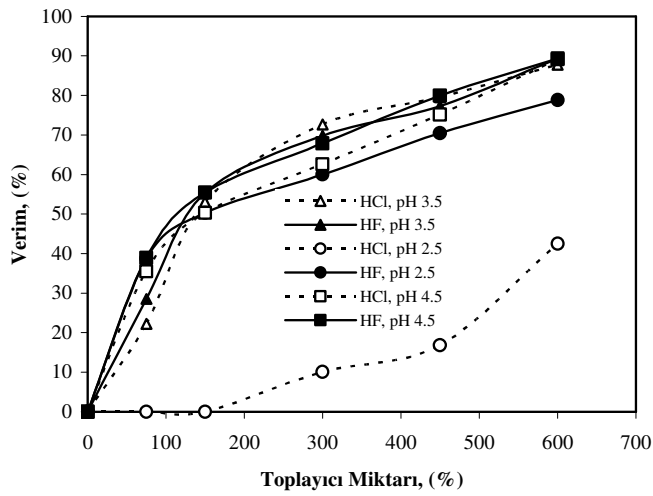
4.4.1. Toplayıcı Miktarının Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi

Yüzey gerilimini değiştiren en önemli kimyasallar her biri birer yüzey aktif madde (yam) olan toplayıcılar ve köpürtücülerdir. Polar ve apolar gibi iki gruptan oluşan yüzey aktif maddelerdeki etkin grup içinde bulunan polar kafa bir anyon veya katyon olabilir. Su içine atıldıklarında çözünme sonucu polar kafaya zıt işaretli iyon çözeltiye geçerken, geriye kalan etkin grup yani monomer ise arayüzeyde bulunur. Bu durum kullanılan yüzey aktif maddenin konsantrasyonu ile doğrudan ilişkilidir. Yüzey aktif madde konsantrasyonu arttıkça, çözelti içinde iki monomerin apolar kuyruklarının birleşmesiyle önce dimerler ve konsantrasyonun daha da artmasıyla ise miseller oluşurlar. Yüzey aktif maddelerin arayüzeyde bulunma eğilimleri, onların çözelti içinde monomer halinde olması ile mümkündür. Bu gerçeklerle, flotasyonda yüzey aktif madde konsantrasyonu veya kullanım miktarı, misel oluşumunun başladığı kritik misel konsantrasyonundan (kmk) daha az olmalıdır (Çilek, 2006).

Amin (Aero 3000C) konsantrasyonu değişiminin etkisi Çizelge 3.5’de verilen sabitlerin dışında farklı pH’larda (2,5; 3,5; 4,5) ve 75 g/t köpürtücü konsantrasyonunda gerçekleştirilmiş ve sonuçlar Şekil 4.21 ve Şekil 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Toplayıcı miktarının (Aero 3000C) kuvars mineralinin yüzebilirliğine etkisi



Şekil 4.22. Toplayıcı miktarının (Aero 3000C) feldspat mineralinin yüzebilirliğine etkisi

Görüldüğü gibi toplayıcı miktarındaki artışa paralel olarak yüzen mineral verimi her iki ortamda (HCl ve HF) ve üç farklı pH değerinde de artmaktadır. Bunun başlıca nedeni, toplayıcı konsantrasyonu arttıkça mineral yüzeyleri daha fazla hidrofobik

özellik kazanmakta ve konsantreye gelen mineral miktarı daha fazla olmaktadır. Bu durum daha önce yapılan zeta potansiyeli ölçümleri ile de uyum içerisindedir (Şekil 4.15-4.18). Her iki mineral için de toplayıcı miktarı artışına paralel olarak kazanılan mineral verimi üç pH değerinde de artmakta ve hiçbir dönüm noktası gözlemlenmemektedir. Bu yüzden, bu toplayıcı konsantrasyonlarında misel yapının oluşmadığı söylenebilmektedir. Toplayıcı konsantrasyonuna bağlı olarak mineral verimlerindeki artışa bakılacak olursa, bütün pH'larda da kuvars minerali için 300 g/t, feldspat minerali için 600 g/t maksimum verim elde edilen noktalar olmaktadır. Bu yüzden, bundan sonraki mikroflotasyon deneylerinde bu konsantrasyonlarda Aero 3000C kullanılması uygun görülmüştür. Kuvars ve feldspat mineralleri için Aero 3000C konsantrasyonunun belirlenmesinde elde edilen en yüksek mineral verimleri ise; kuvars minerali için 300 g/t kullanılarak HCl ile ayarlanan ortamda %85,25, HF ile ayarlanan ortamda ise %82,2 mineral verimi, feldspat minerali için 600 g/t kullanılarak HCl ile ayarlanan ortamda %87,82, HF ile ayarlanan ortamda ise %89,33 mineral verimi elde edilmiştir.

Her iki ortamda da (HCl ve HF) pH 3,5 ve 4,5'da kuvars mineralinin zeta potansiyeli -20 ile -40 mV arasında değiştiği için bu pH aralıklarında kuvars mineralinin verimi Aero 3000C konsantrasyonu arttıkça artmakta ve 300 g/t'da maksimuma ulaşmaktadır. Her iki ortamda da pH 2,5 da kuvarsın zeta potansiyeli -5 ile -10 mV olduğundan bu pH değerlerinde sadece yüksek Aero 3000C konsantrasyonlarında yüzebilmektedir. Fakat, düşük zeta potansiyeline sahip tanelerin birleşmesinden dolayı kuvars verimi %40'ı geçmemektedir. Bunların dışında, pH 3,5 ve 4,5'da amin tipi toplayıcılar kullanılmadan elde edilen %10-15 mineral veriminin, kabarcıklar arasında kalan sıvı filminde mekanik olarak taşınan tanelerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Her iki ortamda da (HCl ve HF) pH 2,5-3,5-4,5'da feldspat mineralinin zeta potansiyeli -20 ile -40 mV arasında olduğu için bu pH aralıklarında feldspat mineralinin verimi Aero 3000C konsantrasyonu arttıkça artmaktadır ve 600 g/t'da maksimum verime ulaşmaktadır. pH 2,5'da HCl ile hazırlanmış ortamda ise feldspat mineralinin zeta potansiyeli -10 mV civarında olduğu için toplayıcının adsorbsiyonu

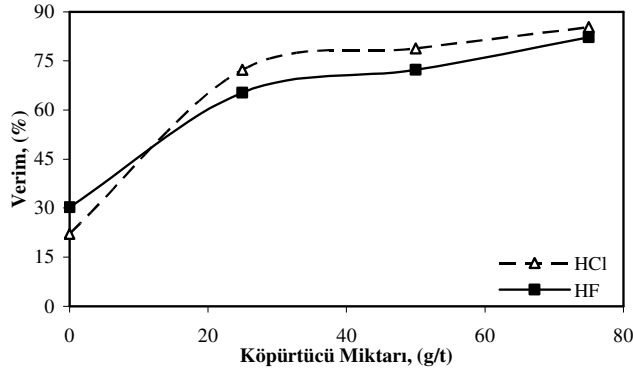
zorlaşmakta ve düşük Aero 3000C konsantrasyonlarında feldspat mineralleri yüzmektedir. Ancak, pH 2,5’da florür iyonu içeren ortamda yapılan flotasyonlardan, florür iyonu içermeyen ortamda yapılan flotasyon sonuçlarına göre daha yüksek mineral verimleri elde edilmiştir. Bu sonuçların nedeni; Al-OH olan feldspat yüzeylerinin F⁻ iyonları ile Eşitlik 4.7 ve 4.8’de olduğu gibi kompleks bileşikler oluşturarak aminlerde daha sağlam bağ yapmalarındır. Bu yüzden, çok düşük pH’larda bile feldspat mineralleri F⁻ iyonu içeren ortamlarda aminler ile yüzelebilmektedir.



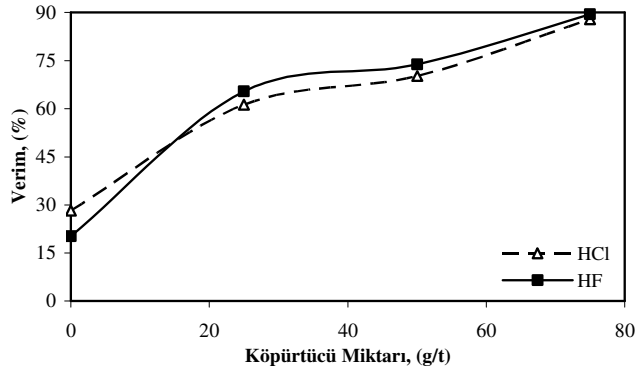
Sonuç olarak, feldspat ve kuvars mineralleri pH 3,5 ve 4,5’da her iki ortamda yüksek mineral verimleri ile, pH 2,5 ise sadece HCl ile hazırlanmış ortamlarda düşük verimler ile yüzdürülebilmektedirler. Ancak pH 2,5’da HF ile hazırlanmış ortamlarda kuvars yüksek toplayıcı konsantrasyonları kullanarak çok düşük mineral verimleri ile yüzebilirken, feldspat minerali yüksek mineral verimleri ile yüzelebilmektedir. Bu yüzden aynı ortamda bulunan feldspat ve kuvars minerallerinin pH 2,5’da F⁻ içeren ortamlarda 100 g/t amin toplayıcılar ile birbirinden ayrılabilceği kanısına varılabilir.

4.4.2. Köpürtücü Miktarının Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi

Feldspat ve kuvars flotasyonu için HCl ve HF içeren ortamlarda yapılan mikroflotasyon deneylerinde köpürtücü miktarının tespiti için yapılan deneylerde her iki mineral için maksimum flotasyon veriminin elde edildiği pH değeri ve toplayıcı miktarı esas alınmıştır. Bu deneylerde, Çizelge 3.5’de verilen flotasyon şartlarının dışında, ortam pH’sı 3,5 ve toplayıcı miktarı kuvars flotasyonu için 300 g/t, feldspat flotasyonu için ise 600 g/t alınmıştır. Sonuçlar Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de gösterilmiştir.



Şekil 4.23. Köpürtücü miktarının (DF-250) kuvars flotasyonuna etkisi



Şekil 4.24. Köpürtücü miktarının (DF-250) feldspat flotasyonuna etkisi

Şekillerden de görüleceği gibi mikroflotasyon deneylerinde köpürtücü miktarının mineral verimi açısından oldukça büyük önemi vardır. Genel olarak köpürtücü miktarının artmasıyla mineral verimi de artmış ve 75 g/t'da maksimum mineral verimine ulaşmıştır. Bu noktadaki mineral verimleri; kuvars için HCl ile ayarlanan ortamda %85,25, HF ile ayarlanan ortamda ise %82,20 mineral verimi, feldspat için HCl ile ayarlanan ortamda %87,82, HF ile ayarlanan ortamda ise %89,33 mineral verimi elde edilmiştir. Köpürtücü kullanılmadan yapılan mikroflotasyon deneylerinde ise % 20-30 arasında değişen mineral verimleri elde edilmiştir. Kuvars mineralinin pH 3,5'ta 300 g/t toplayıcı (Aero 3000C) ile köpürtücü kullanılmadan yapılan deneylerinde HCl ile hazırlanmış pülpde % 22,15 mineral verimi elde edilirken HF ile hazırlanmış pülpde ise % 30,25 mineral verimi elde edilmiştir. Feldspat mineralinin pH 3,5'ta 600 g/t toplayıcı (Aero 3000C) ile köpürtücü

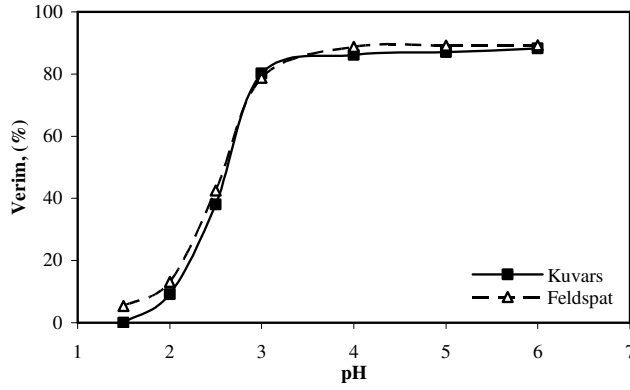
kullanılmadan yapılan deneylerinde ise HCl ile hazırlanmış pülpte % 28,15 mineral verimi elde edilirken HF ile hazırlanmış pülpte ise % 20,18 mineral verimi elde edilmiştir. Bunun, toplayıcının (Aero 3000C) köpürtücü etkisinin olmasından kaynaklanan bir sonuç olduğu düşünülmektedir. Herhangi bir köpürtücü kullanılmasa bile ortama ilave edilen aminler hem minerallere adsorblanarak hidrofobik özellik kazandıracaklar hem de köpürtücünün görevini üstlenerek hidrofobik olmuş tanelerin oluşan küçük kabarcıklara tutunarak konsantre bölümüne geçmesine yardımcı olacaklardır.

HCl ve HF içeren ortamlar karşılaştırıldığında çok büyük farklılıkların olduğu gözlenmemiştir. Fakat kuvars için HCl kullanılan ortamda, feldspat için de HF kullanılan ortamda daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. HF ile hazırlanmış pülplerde kuvars minerali, feldspat mineraline göre daha az yüzmektedir. Ancak, bu iki mineralin aynı pülp için de bulunduğu durumlarda, amin türü toplayıcılar ve florür iyonları kullanılarak yapılan flotasyonda, köpürtücünün minerallerin ayırımında ihmal edilebilir bir rol oynadığı söylenebilir.

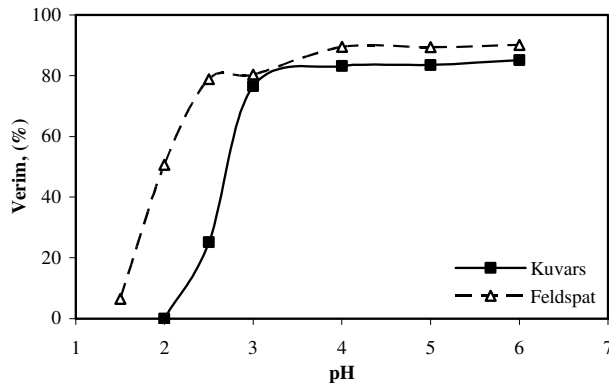
4.4.3. pH'nın Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi

Flotasyonda $[H_3O^+]$ konsantrasyonunun bir fonksiyonu olan ortam pH'sı pek çok açıdan önemlidir. Suyu oluşturan (H_3O^+ ve OH^-) iyonlar, özellikle oksitli minerallerin yüzey özelliklerini belirleyici ya da potansiyel belirleyici iyon olduklarından, bu tip minerallerin flotasyonunda mineral yüzeyi ile suyun iyonları arasında oluşacak tepkimeler flotasyonun başarısında anahtar rolü oynayabilir. Bu açıdan bakıldığında, pülp içine ilave edilecek pH ayarlayıcılar sadece pülp pH'sını değiştirmekle kalmazlar, ayrıca, pülp içindeki minerallerin yüzey yüklerinin niteliklerini de belirlediklerinden bastırıcı veya canlandırıcı olarak da tanımlanabilirler (Çilek, 2006). Bu yüzden feldspat ve kuvars minerallerinin yüzebilirliklerine pH'nın etkisini görebilmek için HCl ve HF ile ayarlanmış pülplerde mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde, Çizelge 3.5'de verilen sabitlerin dışında, pH 1,5-6, toplayıcı miktarı kuvars flotasyonu için 300 g/t,

feldspat flotasyonu için 600 g/t ve köpürtücü miktarı 75 g/t olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’de verilmiştir.



Şekil 4.25. HCl ile hazırlanmış pülpte, pH'nın kuvars ve feldspatın flotasyonuna etkisi



Şekil 4.26. HF ile hazırlanmış pülpte, pH'nın kuvars ve feldspatın flotasyonuna etkisi

Görüldüğü gibi, ortam pH'sının her iki mineralin flotasyonunda da çok büyük önemi bulunmaktadır. Bu etki özellikle pH 3'ün altında tam olarak ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bu sonuçlar zeta potansiyeli ölçümleri ile de örtüşmektedir.

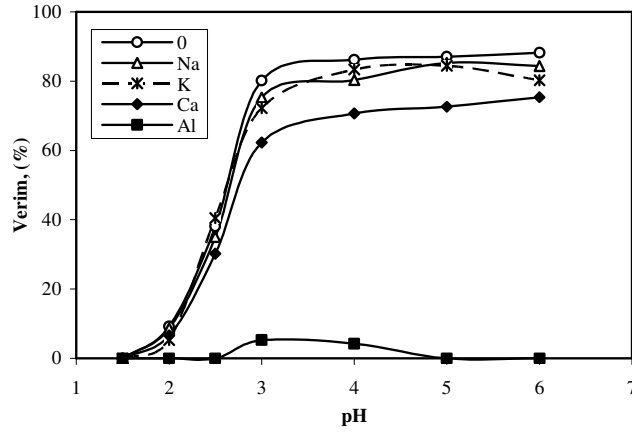
HCl ile hazırlanmış ortamdaki feldspat ve kuvars minerallerinin flotasyonunda her iki mineral arasında hiçbir farklılık gözlemlenemez iken HF ile hazırlanmış ortamda özellikle pH 3'ün altında belirgin farklılıklar gözlemlenmiştir. Bu farklılık F

iyonunun feldspat yüzeyindeki Al-OH^- bağlarındaki OH^- iyonu ile yer değiştirmesinden kaynaklanmaktadır. Bunun sonucu olarak Al-F^- bağları ile aminler daha kararlı bileşikler meydana getirmekte ve pH 3'ün altında bile feldspatın hidrofobik kalmasını sağlamaktadır. Feldspat ve kuvars minerallerinin pH'ya bağlı flotasyon deneylerinde elde edilen en iyi sonuçlar ise; HCl ile hazırlanmış pH 6 da kuvars için %88,2 mineral verimi, feldspat için %85,15 mineral verimidir. HF ile hazırlanmış pH 6 da ise kuvars için %89,23 mineral verimi, feldspat için %90,15 mineral verimi elde edilmiştir. Feldspat-kuvars mineral flotasyonunun yapılması düşünülen pH 2,5'da (HF) ise kuvars için %25,1 mineral verimi, feldspat için de %78,85 mineral verimi elde edilmiştir. HCl ve HF ile ayarlanan ve pH 3'ün üzerindeki bütün pH değerlerinde her iki mineralde katyonik toplayıcılar ile başarılı bir şekilde yüzdürülebildiğinden bu pH değerlerinde herhangi bir zenginleştirmenin olmasının beklenmeyeceği açıktır. Aynı şekilde, HCl ile ayarlanan ve pH 1,5-3 arasındaki pülplerde her iki mineralden de benzer verimler elde edildiği için bu şartlarda bir zenginleştirme yapılamamaktadır. Ancak HF ile ayarlanan ve pH 1,5-3 arasındaki pülplerde elde edilen feldspat ve kuvars verimlerinde farklılıklar gözlemlendiği için bu şartlarda iki mineral flotasyonla birbirinden ayrılabilir. Çünkü bu şartlarda iki mineralinde hidrofobiklik farklılığı belirgin bir şekilde görülmektedir. Deneysel sonuçlardan, HCl ile ayarlanmış ortamlarda feldspat-kuvars ayrımının yapılamayacağı HF ile ayarlanmış ortamlarda ise düşük toplayıcı konsantrasyonları ile pH 3'ün altında feldspat-kuvars ayrımının yapılabileceği belirlenmiştir.

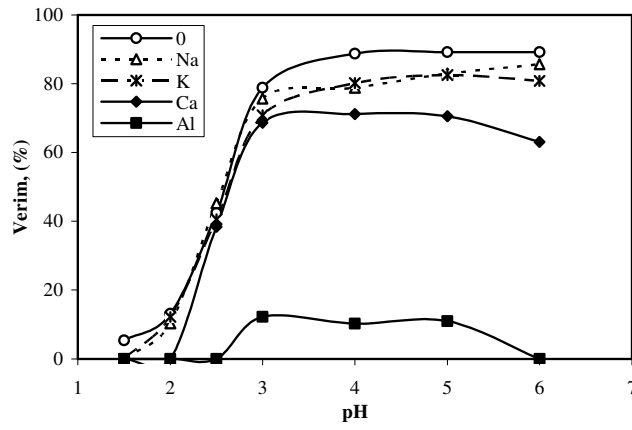
4.4.4. Bazı Katyonların Feldspat ve Kuvars Minerallerinin Flotasyonuna Etkisi

Feldspat ve kuvars minerallerinin flotasyonuna, tek ve çok değerlikli iyonların etkisini görebilmek için bu iyonların tuzları (NaCl , KCl , CaCl_2 ve AlCl_3) kullanılarak mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerde, Çizelge 3.5'de verilen flotasyon şartlarının dışında pH 1,5-6, toplayıcı miktarı kuvars flotasyonu için 300 g/t, feldspat flotasyonu için 600 g/t ve 75 g/t köpürtücü kullanılmıştır. Kullanılacak tuzlarının miktarı ise daha önce yapılan zeta potansiyeli ölçümlerine dayanarak NaCl ve KCl için 500 g/t, CaCl_2 için 250 g/t, AlCl_3 için 50 g/t olarak belirlenmiştir. Ayrıca

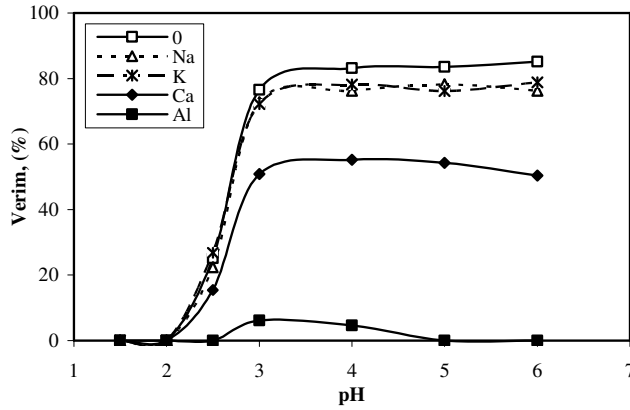
her iki mineral için de HCl ve HF ile ayarlanmış ortamlarda ayrı ayrı mikroflotasyon deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.27-4.30'da verilmiştir.



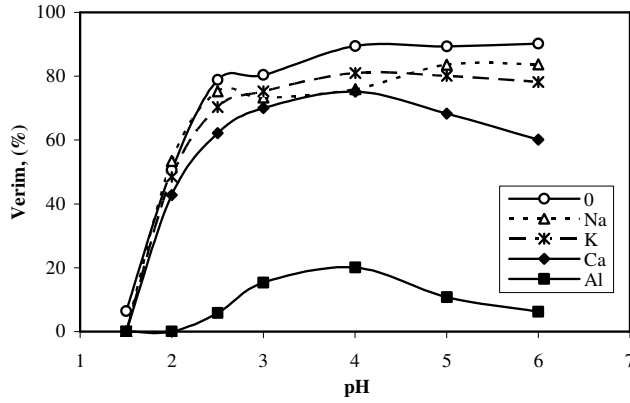
Şekil 4.27. HCl ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların kuvars flotasyonuna etkisi



Şekil 4.28. HCl ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların feldspat flotasyonuna etkisi



Şekil 4.29. HF ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların kuvars flotasyonuna etkisi



Şekil 4.30. HF ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların feldspat flotasyonuna etkisi

Şekillerden de görüleceği gibi HCl ve HF ile hazırlanmış asidik ortamlardaki mikroflotasyon deneylerine tek değerlikli iyonların neredeyse hiçbir etkisi olmamıştır. Bu iyonlar yalnızca nötr pH'lara yakın yerlerde mineral yüzeylerine adsorblanabildikleri ve mineral veriminin azalmasına neden oldukları belirlenmiştir. Ca^{2+} iyonu ise HCl ve HF ile hazırlanmış her iki ortamda da özellikle pH 3'ten sonra etkisini arttırmış ve mineral veriminin azalmasına neden olmuştur. Al^{3+} iyonu ise neredeyse bütün pH değerlerinde mineral yüzeyine adsorblanmakta ve mineral verimini büyük ölçüde düşürmektedir. Genel olarak tek değerlikli ve çift değerlikli iyonlar kullanıldığında negatif yüklü yüzeylere bu iyonlar adsorblanmakta ve zeta potansiyeli ölçümlerinden de görüldüğü gibi mineral yüzeyinin yükünü

azaltmaktadır. Bu nedenle, aminlerin mineral yüzeyine adsorbsiyonu ile birlikte mineral verimi de azalmaktadır. Sonuç olarak, bu katyonların varlığında bu minerallerin katyonik toplayıcılar ile flotasyonu zorlaşmaktadır. İyonların mineral yüzeylerini farklı pH'larda etkilemelerinin nedeni ise, bu iyonların hidrolize başladıkları pH'ların farklılığından ve iyon değerliliklerinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, iki mineralin aynı ortamda bulunduğu düşünülürse, tek ve çok değerlikli katyonların kullanılmasının bu minerallerin seçimli flotasyonuna bir katkı sağlamayacağı açıkça görülmektedir.

Bu bölümde, feldspat ve kuvars minerallerinin yüzey özellikleri araştırılarak bir sonraki zenginleştirme aşamasında kullanılacak flotasyon şartları belirlenmiştir.

- ✓ Feldspat ve kuvars minerallerinin yüzey potansiyeli farklılıklarının olduğu ortam şartlarının belirlenmesi ve bu yüzey potansiyelinin oluşma mekanizmasının açıklamasına yönelik, zeta potansiyeli ölçümleri ile minerallerin bulunduğu süspansiyonun iyon analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak, feldspat ve kuvars mineralleri, ortamda bulunan H_3O^+ ve OH^- iyonlarının mineral yüzeyine adsorblanması ve feldspat mineralinden çözünen katyonların etkisi ile çok küçük pH'lar hariç negatif yük kazandığı belirlenmiştir. Bunun dışında, ortamda bulunan F^- iyonlarının mineral yüzeyinde bulunan OH^- iyonları ile yer değiştirmesinden dolayı feldspat minerallerinin çok düşük pH'larda bile ($pH \leq 2,5$) florür içeren ortamlarda negatif işaretli kaldıkları gözlenmiştir. Bu ölçümlerin sonucunda, feldspat ve kuvars minerallerinin yüzey yükü farklılığının olduğu pH aralığı, florür iyonu içeren ortamlarda pH 1,5-3 olarak belirlenmiştir.
- ✓ Feldspat ve kuvars mineralleri arasında yüzey yükü farklılıkları oluşturabilmek için süspansiyona katyonlar ilave edilmiş ve zeta potansiyeli ölçümleri yapılmıştır. Ortama ilave edilen katyonların iki mineralin de yüzeyine adsorblanarak yüzey yüklerini değiştirdiği belirlenmiştir. Sonuç olarak kullanılan katyonlar ile minerallerin yüzey potansiyellerinde herhangi bir farklılık elde edilememiştir.

- ✓ Katyonik toplayıcıların hangi şartlarda bu iki mineralin yüzeyine adsorblanarak hidrofobik yaptığının belirlenmesi ve bu iki mineral arasında hidrofobiklik farkının araştırılması için amin tipi toplayıcı ile zeta potansiyeli ölçümleri ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Yine benzer şekilde iki mineral arasında neredeyse bütün pH'larda çok büyük farklılıklar gözlemlenememiştir. Sadece F⁻ içeren ortamlarda pH 1,5-3 arasında bu iki mineralin hidrofobiklik derecelerinde farklılıklar belirlenmiştir.
- ✓ Bu iki mineralin aynı ortamda bulunması durumunda gerekli olan pülp pH'sı, toplayıcı konsantrasyonu, köpürtücü konsantrasyonu gibi flotasyon şartlarının belirlenmesi ve bu minerallerin yüksek mineral verimi ile yüzdürülebilmesi için gerekli olan flotasyon şartları mikroflotasyon deneyleri ile belirlenmiştir. Buna göre, her iki mineralin flotasyonunda toplayıcı konsantrasyonu, köpürtücü konsantrasyonu ve pH'ın çok önemli flotasyon değişkenleri olduğu görülmüştür. Toplayıcı ve köpürtücü miktarı arttıkça iki mineralinde mineral veriminin arttığı deneyler sonucu belirlenmiş ve bu iki mineralin seçimli flotasyonunda 200-600 g/t toplayıcı ve 50-150 g/t köpürtücü kullanılmasına karar verilmiştir. İki mineral için de neredeyse bütün pH değerlerinde benzer mineral verimleri elde edilmiştir. Zeta potansiyeli ölçümlerine göre iki mineralin yüzey farklılığı gösterdiği bölge F⁻ iyonu içeren pH 1,5-3 aralığıdır. Daha sonra yapılan temas açısı ölçümleri ve mikroflotasyon deneylerinde de bu pH aralığı dışında bu iki mineralin yüzme davranışlarında çok büyük farklılıklar belirlenmemiştir. Bu yüzden bu iki mineralin seçimli flotasyonunun F⁻ içeren ortamda pH 2,5'da yapılmasına karar verilmiştir.

4.5. Zenginleştirme Çalışmaları

Çeşitli değişkenlerin feldspat ve kuvars minerallerinin yüzebilirlik özelliklerine etkisi incelendikten sonra bu bölümde birbiriyle belirli oranlarda karıştırılan feldspat ve kuvars mineralleri flotasyon yöntemiyle zenginleştirilecektir. Ayrıca zenginleştirme deneylerinin ilk aşamasında farklı köpürtücü türleri kullanılarak köpürtücü türünün

feldspat flotasyonuna etkisi belirlenmiş ve daha sonraki deneylerde kullanılmak üzere köpürtücü türü seçilmiştir. Deneylerde farklı fraksiyonlarda sınıflandırılmış (-0,075; -0,075+0,038; -0,038 mm) feldspat kuvars karışımları kullanılmıştır. Karışım oluşturulurken feldspat yataklarında bulunan serbestleşebilir ortalama kuvars oranı göz önüne alınarak %15 oranında kuvars %85 oranında feldspat olarak belirlenmiştir. Hazırlanan karışımın hesaplanan kimyasal analiz verileri Çizelge 4.1’de verilmiştir. Feldspat ve kuvars karışımının mikroflotasyon ile zenginleştirildiği deneylerde kullanılan sabit ve değişken şartlar Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Flotasyon deneyleri için oluşturulan yapay cevherin kimyasal analizi

Bileşenler	İçerik, (%)
SiO ₂	72,99
Al ₂ O ₃	14,88
Fe ₂ O ₃	<0,04
MgO	0,027
CaO	0,17
Alkali (Na ₂ O+K ₂ O)	11,62
TiO ₂	<0,02
P ₂ O ₅	<0,01
MnO	<0,01
Cr ₂ O ₃	<0,001
Kızdırma Kaybı	0,2

Çizelge 4.2. Mikroflotasyon deneylerinde kullanılan sabit ve değişken şartlar

Flotasyon Değişkenleri	Değerler
Hava Akış Hızı	4 L/dk
Karıştırma Hızı	800 d/dk
Köpük Yüksekliği	3 cm
pH Kondüsyonlama	5 dk
Top.Kondüsyonlama Süresi	3 dk
Köp. Kondüsyonlama Süresi	1 dk
Köpük Alma Süresi	3 dk
pH Ayarlayıcı	HF
Katyonik Toplayıcı	Aero 3000C
Köpürtücü Türü	AF-65/AF-70/AF-76/AF-88
Tane Boyutu	-0,075/-0,038/-0,075+0,038 mm
Toplayıcı Miktarı	200-400-600 g/t
Köpürtücü Miktarı	50-100-150 g/t
Katı Oranı	%10-15-20

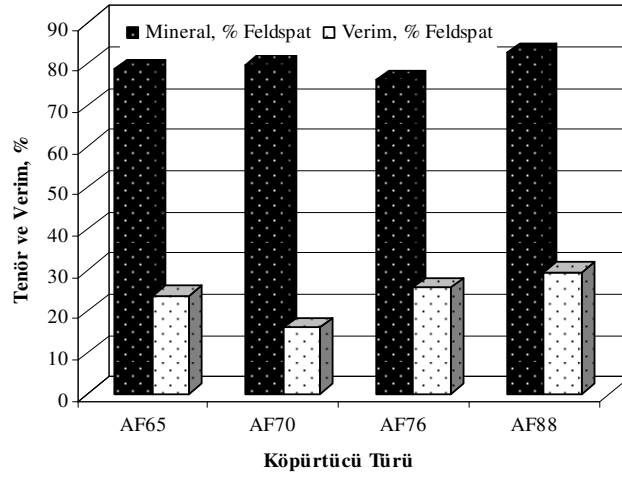
Üç tane boyutunda hazırlanan numunelerin zenginleştirilmesinde, toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı ve katı oranı değişken olarak kabul edilmiştir. İstatistiksel deney tasarımına göre bu üç değişkenin üç farklı değerinin kullanılması durumunda (3^3) her bir tane boyutu için 27 adet deneyin yapılması gerekmektedir. Bunun yerine parçalı faktör (3^{3-1}) deney tasarımı yöntemi kullanılarak 9 adet deneyle, 27 adet deneyden elde edilecek verilerle varılacak sonuçlara ulaşılması mümkündür (Box vd., 1978; Montgomery, 1991). Flotasyon sonuçlarının değerlendirilmesinde en önemli bağımlı değişkenin konsantre tenörü ve verimi olduğu bilinmektedir. Her bir boyut grubu için yapılan deneysel ve istatistiksel değerlendirmelerle tane boyutu-flotasyon başarısı da ilişkilendirilmeye çalışılmıştır. Mühendislik çalışmalarında kabul edilen %95 güvenilirlik sınırı kullanılmış olup, değerlendirmede daha düşük güvenilirlikle etki eden değişkenlere ve iç etkileşimlere yer verilmemiştir. Bu amaçla istatistiksel sonuçlar iki grupta verilmiştir: Birincisi; değişkenlerin bağımlı değişkenlere ne kadar etkiliklerinin Yates algoritması kullanılarak belirlenen etki kestirimleridir ve bu kestirimler etki değerlendirme çizelgesinde verilmiştir. İkincisi ise, bağımlı değişkenlerde değişime neden olan bağımsız değişkenlerin ve iç etkileşimlerinin f istatistiği ile değerlendirildiği değişim analizi (anova) çizelgesi de verilmiştir.

4.4.5.1. Köpürtücü Türünün Flotasyona Etkisi

Zenginleştirme deneylerinde feldspat-kuvars karışımının mikroflotasyon yöntemiyle ayrılmasına köpürtücü türünün etkisini belirlemek amacıyla “Cytec” firmasından temin edilen dört çeşit köpürtücü türü kullanılmıştır. Bunlar; AF-65, AF-70, AF-76 ve AF-88’dir. Mikroflotasyon deneylerinden kullanılan şartlar Çizelge 4.3’de, elde edilen sonuçlar ise Şekil 4.31’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Köpürtücü türünün belirlenmesinde kullanılan sabit flotasyon değişkenleri

Değişkenler	Değerler
Tane Boyutu	-75 μ m
Katı Oranı	% 5
Toplayıcı Miktarı	400 g/t
Köpürtücü Miktarı	100 g/t



Şekil 4.31. Köpürtücü türünün feldspat flotasyonuna etkisi

Dört farklı köpürtücü türü ile yapılan feldspat flotasyonunda en iyi sonuç AF-88 türü köpürtücü ile elde edilmiş olup, %29,50 verimle %82,85 feldspat tenörlü konsantre elde edilmiştir.

4.5.2. Tane Boyutunun Flotasyon Başarısına Etkisi

Tane boyutunun flotasyona etkisini belirlemek için yapılan zenginleştirme deneylerinde değişken olarak tane boyutu, toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı ve pülöp katı oranı flotasyon değişkenleri olarak belirlenmiştir. Söz konusu değişkenlerin uygulama aralıklarının belirlenmesinde daha önceki yapılan mikroflotasyon deney sonuçları baz alınmıştır.

Çizelge 4.4. -0,075 mm, -0,075+0,038 mm ve -0,038 mm fraksiyonlarının her biri için 3^{3-1} deney tasarımıyla kullanılan faktörler ve seviyeleri

Toplayıcı mik. (g/t)	Köpürtücü mik. (g/t)	Katı oranı (%)
200	50	10
200	100	20
200	150	15
400	50	20
400	100	15
400	150	10
600	50	15
600	100	10
600	150	20

Bu veriler kullanılarak, bağımlı değişkenlerin her birisinin (konsantre tenörü ve verimi) bağımlı değişkenlerle (toplayıcı miktarı, M_t , köpürtücü miktarı, M_k , katı oranı, x) olan ilişkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Hazırlanan deney tasarımına göre yapılan mikroflotasyon deney sonuçları, etki değerleri ve değişim analizleri Çizelge 4.5-4.13’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. -0,075 mm fraksiyonunda yapılan flotasyon deneyi sonuçları

Deney No	Ürünler	Ağırlık, (%)	Mineral, (% Feldspat)	Verim, (% Feldspat)
1	Konsantre	10,96	82,9	12,2
	Artık	89,04	73,41	87,8
2	Konsantre	25,47	82,2	28,12
	Artık	74,53	71,8	71,88
3	Konsantre	27,57	82,36	30,5
	Artık	72,43	71,44	69,5
4	Konsantre	67,65	82,01	74,52
	Artık	32,35	58,64	25,48
5	Konsantre	59,00	81,52	64,6
	Artık	41,00	64,28	35,4
6	Konsantre	54,48	82,03	60,02
	Artık	45,52	65,39	39,98
7	Konsantre	70,39	81,59	77,14
	Artık	29,61	57,48	22,86
8	Konsantre	69,65	81,71	76,44
	Artık	30,35	57,79	23,56
9	Konsantre	75,02	80,91	81,53
	Artık	24,98	55,05	18,47
Besleme		100	74,45	100

Çizelge 4.6. -0.075 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin flotasyon başarısı üzerindeki etki değerleri

Değişkenler		Etki (kestirim)
Bağımlı	Bağımsız	(%)
Tenör	M_t (g/t)	-1.0833
Verim	M_t (g/t)	55.575

Çizelge 4.7. -0.075 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin değişim analizi

Bağımlı değişken	Değişimin kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F (Hesapla)	$F_{0.05, 1, 8}$ (Teorik)
Tenör	M_t (g/t)	1.760417	1	1.760417	36,41404	5.32
	Hata	0.096689	2	0.048344		
Verim	M_t (g/t)	4632.897	1	4632.897	97.67886	5.32
	Hata	94.860	2	47.430		

-0,075 mm tane boyutunda feldspat tenörünü etkileyen en önemli değişken toplayıcı miktardır. Diğer değişkenler ise %95 güvenirlilik sınırına girememişler ve toplayıcı miktarına göre daha az etkili olmuşlardır. Bir başka ifadeyle toplayıcı miktarındaki her seviyelik artış feldspat tenörünü 1,0833 birim düşürmektedir.

Bu tane boyutunda feldspat verimini etkileyen en önemli flotasyon değişkeni ise toplayıcı miktardır. Diğer değişkenlerin etkisi ise %95 güvenirlilik sınırına girmemişlerdir. Bu etki sayısal olarak ifade edilecek olursa, toplayıcı miktarındaki her artış feldspat verimini 55,575 birim artırdığı söylenebilir.

Çizelge 4.8. -0,075+0,038 mm fraksiyonunda yapılan flotasyon deneyi sonuçları

Deney No	Ürünler	Ağırlık, (%)	Mineral, (% Feldspat)	Verim, (% Feldspat)
1	Konsantre	68,25	85,07	77,99
	Artık	31,75	51,61	22,01
2	Konsantre	80,02	84,22	90,52
	Artık	19,98	35,32	9,48
3	Konsantre	78,12	83,61	87,73
	Artık	21,88	41,75	12,27
4	Konsantre	82,04	83,7	92,23
	Artık	17,96	32,21	7,77
5	Konsantre	80,23	83,11	89,56
	Artık	19,77	39,32	10,44
6	Konsantre	72,12	82,97	80,37
	Artık	27,88	52,42	19,63
7	Konsantre	82,89	81,84	91,12
	Artık	17,11	38,64	8,88
8	Konsantre	75,88	82,07	83,65
	Artık	24,12	50,47	16,35
9	Konsantre	86,92	81,58	95,24
	Artık	13,08	27,10	4,76
Besleme		100	74,45	100

Çizelge 4.9. -0.075+ 0.038 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin flotasyon başarısı üzerindeki etki değerleri

Değişkenler		Etki (kestirim)
Bağımlı	Bağımsız	(%)
Tenör	M _i (g/t)	-2.47000
	M _k (g/t)	-0.81677
Verim	M _i (g/t)	4.958
	M _k (g/t)	12.078
	x (%)	2.845

Çizelge 4.10. -0.075 +0.038 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin değişim analizi

Bağımlı değişken	Değişimin kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F (Hesapla)	F _{0.05, 1, 8} (Teorik)
Tenör	M _t (g/t)	9,15135	1	9,151350	205,9569	5.32
	M _k (g/t)	1,00042	1	1,000417	22,5150	
	Hata	0,08887	2	0,044433		
Verim	M _t (g/t)	36.8780	1	36.8780	146.9486	5.32
	M _k (g/t)	218.8256	1	218.8256	871.9607	5.32
	X (%)	16.1918	1	16.1918	64.5199	5.32
	Hata	0.5019	2	0.2510		

-0,075+0,038 mm tane boyutunda feldspat tenörünü etkileyen en önemli değişken toplayıcı miktardır. Diğer değişkenlerden köpürtücü miktarı daha az etkili olmuş, katı oranı ise %95 güvenirlik sınırına girmemiştir. Bir başka ifadeyle, toplayıcı miktarındaki her seviyelik artış feldspat tenörünü 2,47 birim düşürürken köpürtücü miktarındaki her seviyelik artış feldspat tenörünü 0,81677 birim düşürmektedir.

Feldspat verimini etkileyen en önemli flotasyon değişkeni ise köpürtücü miktardır. Diğer değişkenler ise köpürtücü miktarına göre daha az etkili olmakta ve sırasıyla bunu toplayıcı miktarı ve katı oranı izlemektedir. Değişkenler arası bir karşılaştırma yapılırsa köpürtücü miktarının feldspat verimine etkisi toplayıcı miktarının etkisinin 2,4 katı, katı oranının etkisinin 4,2 katı olduğu görülmektedir. Bu etki sayısal olarak ifade edilecek olursa, köpürtücü miktarındaki her artış feldspat verimini 12,078 birim artırdığı söylenebilir.

Çizelge 4.11. -0,038 mm fraksiyonunda yapılan flotasyon deneyi sonuçları

Deney No	Ürünler	Ağırlık, (%)	Mineral, (% Feldspat)	Verim, (% Feldspat)
1	Konsantre	0	0	0
	Artık	100	74,45	100
2	Konsantre	10,54	80,89	11,45
	Artık	89,46	73,63	88,55
3	Konsantre	7,63	80,74	8,27
	Artık	82,37	82,92	91,73
4	Konsantre	27,53	80,54	29,78
	Artık	72,47	72,14	70,22
5	Konsantre	28,02	80,08	30,14
	Artık	71,98	72,26	69,86
6	Konsantre	19,35	80,44	20,91
	Artık	80,65	73,01	79,09
7	Konsantre	35,63	78,93	37,77
	Artık	64,37	71,97	62,23
8	Konsantre	33,57	78,98	35,61
	Artık	66,43	72,16	64,39
9	Konsantre	38,38	78,36	40,40
	Artık	61,62	72,01	59,60
Besleme		100	74,45	100

Çizelge 4.12. - 0.038 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin flotasyon başarısı üzerindeki etki değerleri

Değişkenler		Etki (kestirim)
Bağımlı	Bağımsız	(%)
Tenör	-	-
Verim	M _t (g/t)	31.859
	M _k (g/t)	4.768
	x (%)	8.439

Çizelge 4.13. -0.038 mm için tasarlanmış deneylerde kullanılan değişkenlerin değişim analizi

Bağımlı değişken	Değişimin kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Ortalama kareler	F (Hesapla)	F _{0.05, 1, 8} (Teorik)
Tenör	-	-	-	-	-	-
Verim	M _i (g/t)	1522.502	1	1522.502	1204.015	5.32
	M _k (g/t)	45.462	1	45.462	35.952	5.32
	X (%)	106.814	1	106.814	84.470	5.32
	Hata	2.529	2	1.265		

-0,038 mm tane boyutunda feldspat tenörünü etkileyen %95 güvenirlilik sınırına girmiş bir flotasyon değişkeni yoktur.

Feldspat verimini etkileyen en önemli flotasyon değişkeni ise toplayıcı miktardır. Diğer değişkenler ise toplayıcı miktarına göre daha az etkili olmakta ve sırasıyla bunu katı oranı ve köpürtücü miktarı takip etmektedir. Değişkenler arası bir karşılaştırma yapılırsa toplayıcı miktarının feldspat verimine etkisi katı oranı etkisinin 3,8 katı, köpürtücü miktarı etkisinin ise 6,7 katı olduğu görülmektedir. Bu etki sayısal olarak ifade edilecek olursa toplayıcı miktarındaki her artış feldspat verimini 31,859 birim artırdığı söylenebilir.

Özet olarak, üç farklı tane boyutunda numune ile yapılan zenginleştirme deneylerinde, bağımlı değişkenlerin feldspat tenör ve verimine etkisinin farklı olduğu belirlenmiştir. Geniş bir boyut dağılımına sahip -0,075 mm tane boyutunda, feldspat verimini etkileyen en önemli değişken toplayıcı miktarı, şlam boyutu içermeyen -0,075 + 0,038 mm tane boyutunda feldspat verimini etkileyen en önemli değişken ise köpürtücü miktarıdır. Şlam boyutu olarak kabul edilen -0,038 mm tane boyutunda feldspat verimini etkileyen en önemli değişken ise toplayıcı miktarı olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi şlam içeren karışım ile yapılan flotasyon deneylerinde mineral verimini etkileyen en önemli değişken toplayıcı miktarı iken, şlam içermeyen -0,075+0,038 mm tane boyutunda köpürtücü miktarı olmuştur. Bunun başlıca nedeni, tane boyutu küçüldükçe minerallerin yüzey alanının artmasıdır. Yüzey alanı fazla olan numunelerde yeterli hidrofobikliğin sağlanabilmesi için daha

fazla toplayıcının kullanılması gerekmektedir. Aynı zamanda şlam (-0,038 mm) içeren numunelerle yapılan flotasyon deneylerinde yüzdürülmesi istenen mineralin yüzeyi şlamla kaplanmakta, buda toplayıcı adsorbsiyonunu önlemektedir. Bu yüzden, şlam içeren deneylerde daha düşük mineral verimi ve tenörü elde edilmiştir.

Şlam boyutu olan -0,038 mm'de herhangi bir değişken %95 güvenirlik sınırına girerek ön plana çıkmazken, diğer boyutlarda toplayı miktarı en etkili değişken olmuştur. -0,075 mm ve -0,075+0,038 mm tane boyutlarında toplayı miktarının feldspat tenörüne etkisi karşılaştırıldığında -0,075 mm tane boyutunda minerallerin yüzey alanı daha fazla olduğu için toplayıcı miktarındaki her artış bu tane boyutunu daha az etkilemektedir.

Kullanılan numunenin kimyasal içeriği incelendiğinde %5-10 arasında kil içerdiği görülmektedir. Karışımında az miktarda bulunan kil mineralleri özellikle -0,075 mm ve -0,038 mm tane boyutunda flotasyona etki ederek mineral tenör ve verimini olumsuz etkilemektedir. Bu yüzden bu tane boyutlarında oluşan düşük tenör ve verimin elde edilmesinin nedenlerinden biri olarak ta kil minerallerinin varlığı gösterilebilir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Temel çalışmalarla feldspat ve kuvars minerallerinin yüzey özellikleri ve flotasyon özellikleri belirlenmiş, daha sonra belirlenen flotasyon şartları ile farklı tane boyutlarında sınıflandırılmış (-0,075 mm; -0,038 mm; +0,038 mm) feldspat ve kuvars minerallerinden hazırlanan yapay cevherin flotasyonu yapılarak mineral özelliklerinden tane boyutunun flotasyon başarısına etkisi araştırılmıştır. Feldspat ve kuvars mineralinin seçimli ayrımını ortaya koymak için yapılan temel çalışmalarda mineral yüzeyinden çözülen iyonların tespiti, minerallerin zeta potansiyeli ölçümleri, temas açısı ölçümleri ve mikroflotasyon deneyleri yapılmıştır. Tane boyutunun feldspat ve kuvars flotasyonuna etkisi ise istatistiksel yöntemler de kullanılarak değerlendirilmiştir.

Temel çalışmalar sonucunda;

- Feldspat ve kuvars minerallerinin pH 2,5-12 arasında yüzey yüklerinin negatif işaretli olduğu ve feldspat mineralinin florür içeren ve $\text{pH} \leq 2,5$ olduğunda da negatif işaretli olarak kaldığı belirlenmiştir.
- Süspansiyona ilave edilen katyonların her iki mineralinde yüzeyine adsorblanması sonucu mineraller arası herhangi bir yüzey yükü farklılığı sağlanamamıştır.
- pH 3-12 arasında iki mineralinde katyonik toplayıcılarla hidrofobik olduğu ve yüksek verimler ile yüzebildiği belirlenmiştir. Bunun yanında florür içeren ortamlarda $\text{pH} \leq 3$ olduğu durumlarda feldspat minerali yüksek verimle yüzdürülürken kuvars minerali neredeyse hiç yüzmemiştir.
- Her iki mineralle yapılan mikroflotasyon çalışmalarından, toplayıcı miktarı, köpürtücü miktarı ve pH'nın çok önemli flotasyon değişkenleri olduğu belirlenmiş ve bu iki mineralin tane boyutuna bağlı seçimli flotasyonunda 200-600 g/t toplayıcı ve 50-150 g/t köpürtücü kullanılmasına karar

verilmiştir. İki mineral arasında yüzey yükü farklılığı florür içeren ortamlarda $\text{pH} \leq 3$ 'de sağlandığı için gerekli olan pülp pH'sının 2,5 olması uygun görülmüştür.

Tane boyutuna bağlı yapay cevherle yapılan feldspat-kuars flotasyonu sonucunda;

- Tane boyutunun feldspat tenörü ve verimi üzerindeki etkisi belirlenmiştir. Geniş bir boyut dağılımına sahip -0,075 mm tane boyutunda feldspat verimini etkileyen en önemli değişkenin toplayıcı miktarı, şlam içermeyen -0,075 +0,038 mm tane boyutunda köpürtücü miktarı, şlam boyutu olan -0,038 mm'de toplayıcı miktarı olduğu belirlenmiştir. Daha fazla yüzey alanına sahip tane boyutunu içeren flotasyonlarda, mineral verimini etkileyen en önemli değişkenin toplayıcı miktarı olduğu ortaya konulmuştur.
- Şlam boyutu olan -0,038 mm tane boyutunu içeren deneylerde düşük verim ve tenörün elde edilmesinin nedeninin düşük zeta potansiyeline (kuvars: -10 mV; feldspat: -30 mV) sahip mineral tanelerinin şlam kaplama ve/veya topaklanmasının bir sonucu olduğu kanısına varılmıştır.
- Flotasyon deneylerinde kullanılan feldspat ve kuvars mineral karışımının kimyasal analizi incelendiğinde düşük miktarlarda kil içerdiği görülmektedir. Az miktarda bulunan bu kil mineralleri, özellikle -0,075 ve -0,038 mm tane boyutu ile yapılan flotasyon deneylerinde verim ve tenörü olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, bu tane boyutlarında düşük feldspat tenör ve veriminin elde edilmesinin nedenlerinden birisi olarak ta kil mineralleri gösterilebilmektedir.

Yapay cevher ile yapılan deneylerde feldspatın kuvarstan seçimli olarak ayrımında tane boyutunun etkisi belirlenmiştir. Buna göre, şlam boyutu içeren (-0,075 ve -0,038 mm) flotasyon deneylerinde, şlam uzaklaştırılarak yapılan flotasyon deneylerinden elde edilen mineral verimini elde etmek için çok daha fazla toplayıcı sarfiyatı gerekmektedir. Ayrıca mineral taneleri, şlam kaplama ve topaklanma gibi alt

süreçlerin gelişebileceği tane boyutu ve zeta potansiyeline sahip olduklarından mineral verimi ve tenörü olumsuz etkilenmektedir. Ayrıca şlam uzaklaştırma sırasında cevher içerisinde bulunan kil mineralleri de uzaklaştırılmakta ve flotasyon sırasında ortaya çıkacak olumsuz etkileri bu sayede engellenmektedir. Bu yüzden, hem ekonomiklik hem de ürün kalitesi bakımından feldspattan kuvarsın flotasyonla ayrılmasında şlam uzaklaştırmanın uygun bir uygulama olacağı görülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Akar, A., Kemal, M., Malayoğlu, U. ve Seyrankaya, A., 1994. Gördes-Köprübaşı (Manisa) Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesinin Araştırılması. 15. Yıl sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, 4-7 Nisan, 355-361, Adana.
- Anı, V., 2001. Flotation of Silicate Minerals: Physico-Chemical Studies in the Presence of Alkylamines and Mixed (Cationic/Anionic/Non-ionic) Collectors. ISSN: 1402-1544, Lulea University of Thechnology, Phd. Thesis, 112 s, İsveç.
- Aplan, F.F., Fuerstenau, D.W., 1962. Froth Flotation. 50th Anniversary volume, American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers, Inc., 108, New York, ABD.
- Arsent'ev, V. A., 1971. Separation of Quartz and Feldspars by Anionic Collector. Nov. Issled. Khim, Met. Obagashch, No: 3, 3-7.
- Atak, S., 1982. Flotasyon, İlkeleri ve Uygulaması. İTÜ Maden Fakültesi yayınları, 168 s, İstanbul.
- Bayat, O., Arslan, V., Cebeci, Y., 2005. Combined Application of Different Collectors in the Flotation Concentration of Turkish Feldspars. Mineral Engineering, 19, 98-101.
- Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., 1997. Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamate and Soaps of Vegetable Oils. Minerals Engineering, 12, 1363-1374.
- Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Ekmekçi, Z., Can, M., 1999. Temel Seramik ve Cam Hammaddelerimizdeki (Feldspat, Kuvars, Kaolin) Kalite Sorunları ve Çözüm Önerileri. 3.Endüstriyel hammaddeler sempozyumu, 14-15 Ekim, 22-33, İzmir.
- Bayraktar, İ., Gülsoy, Ö. Y., Can, M., Orhan, E. C., 2001. Feldspat Zenginleştirilmesi. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 97-105, İzmir.
- Bilir, K., Öteyaka, B., Uçbaş, Y., Bozkurt, R., Süer, Ü., 1997. Modifiye Flotasyon Kolonunda İri Taneli Feldspatlarının Zenginleştirilmesi. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 16-17 Ekim, İzmir.
- Bolger, R., 1995. Industrial Minerals Handy Book. 56 s, ABD.
- Box, G.E.P., Hunter, W.G., Hunter, J.S., 1978. Statistics for Experimenters. Wiley, 45 s, New York.

- Bozdoğan, I., 1999. Turkish Feldspar, Feldspar from Turkey. Sunu, 18 s, Fransa.
- Bunchenham, M.H., Rogers, J., 1954. Flotation of Quartz and Feldspar by Dodecylamine. Trans, AIME, c.64, 11-30.
- Bunge vd., 1965. USA Patent No: 3.179.250 ve Kanada Patent No: 709.873.
- Cotton, W.A., Wilkinsom, G., 1966. Advanced Inorganic Chemistry. Interscience Publ., 78 s, New York, ABD.
- Cöcen, İ., Ermiş, İ., 1997. Yüksek Titan İçerikli Aydın-Çine Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesi. Yerbilimleri Dergisi, c.31, 151-157, Adana.
- Çelik, M.S., Can, İ., Eren, R.H., 1998. Removal of Titanium Impurities from Feldspar Ores by a New Flotation Collectors. Minerals Engineering, 11 (12), 1201-1208.
- Çelik, M.S., Pehlivanoglu, B., Aslanbaş, A., Asmatülü, R., 2001. Flotation of Colored impruties from Feldspar Ores. Minerals and Metallurgical Processing, 18, 101-105.
- Çilek, E. C., 2006. Mineral Flotasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No: 59. 158 s, Isparta.
- Çuhadaroglu, D., Okur, E., Toroğlu, İ., 1992. Karacaören (Simav) Alkali Feldspatların Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması. 4. Uluslararası Cevher Hazırlama Sempozyumu Bildiriler Kitabı Cilt 2, 665-675, Antalya.
- Dean, R.S., Ambrose, P.M., 1944. Development and Use of Certain Flotation Agents. USBM Bulletin, 449 s.
- Demir, C., Ersoy, B., Çelik, M. S., 2001. Fluorürlü ortamda Na-Feldspat/K-Feldspat Ayrımı. 4. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 18-19 Ekim, 112-118.
- El-Salmavy, M. S., Nakahiro, Y. And Wakamatsu T., 1990. Activation of Quartz and Feldspar with Metal Ions in Flotation. II. International Mineral Processing Syposium, İTÜ, 16-18 Eylül, 449-458, İstanbul.
- El-Salmavy, M. S., Nakahiro, Y. And Wakamatsu T., 1993. The Role of Alkaline Earth Cations in Flotation Seperation of Quartz from Feldspar. Mineral Engineering, 6 (12), 1231-1243.
- El-Salmavy, M. S., Nakahiro, Y. And Wakamatsu T., 1993. The Role of Surface Silanol Groups in Flotation Seperation of Quartz from Feldspar Using Nonionic Surfactants. XVIII. Intenational Mineral Proccesing Congress, 23-28 May, 845-849, Sydney, Avustralya.

- El-Salmavy, M. S., 1997. Solution Chemistry of Anionic/Nonionic Surfactants and its Role in Flotation Separation of Quartz from Feldspar. Proceedings of the XX IMPC, 617-625, Aachen.
- Feldspat, Türk Taş Dünyası, <http://www.tr01.com/arsiv-baslik66.0.html>. Erişim tarihi: 01.10.2007.
- Fuerstenau, D. W., Pradip, 2005. Zeta Potentials in the Flotation of Oxide and Silicate Minerals. Advances in Colloid and Interface Science, 9 (26), 9-26.
- Garip, F., 1996. Aydın-Çine Feldspatlarının Flotasyon İle Zenginleştirilmesi. Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, c.11 (1), 50-53, Konya.
- Gence, N., 1997. Feldspat Flotasyonu. Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, c.10 (2), 1-11.
- Geredeli, A., Özbayoğlu, G., 1995. Simav Feldspatının Flotasyonu, Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 71-81, İzmir.
- Gülsoy, Ö. Y., Kılavuz, Ö. Ş., 2002. Potasyum Feldspat Kuvars Flotasyonunda Toplayıcı Olarak Metal Tuzları ile Birlikte Na-Oleat Kullanımı. Madencilik Dergisi, Mart 2002, 22-34.
- Gülsoy, Ö. Y., Orhan, E. C., Can, N. M., Bayraktar, İ., 2004. Manyetik Ayırma ve Flotasyonla Magmatik ve Metamorfik Kayaçlardan Feldspat Üretimi. Hacettepe Üniversitesi, Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 30, 49-61.
- Günçelik, S., 2006. K-Feldspat ile Na-Feldspatın Flotasyonla Seçimli Ayırımında Çok Değerlikli İyonların Etki Mekanizmasının Araştırılması. Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 143 s, Kütahya.
- Gürsoy, H., 1999. Sarıcakaya Yöresi Altere Granitlerinden Feldspatın Kazanımı. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67 s, Eskişehir.
- Harvey, K. B., Porter, G. B., 1963. Introduction to Physical Inorganic Chemistry. Addison-Wesley Publ. Co., Reading, 98 s, İngiltere.
- Hanumantha, R. K., Forsberg, K. S. E., 1993. Flotation of Mica Minerals and Selectivity Between Muscovite and Biotite While Using Mixed Anionic and Cationic Collectors. XVIII. International Mineral Processing Congress, Cilt 4, 22-28 May, 834-844, Sydney, Avustralya.
- Huang, Z., Yan, Z., Gu, T., 1989. Mixed Adsorption of Cationic and Anionic Surfactants from Aqueous Solution on Silica Gel. Colloids and Surfaces, 36, 353-358.

- Joy, A.S., Manser, R.M., Lloyd, K., Watson, D., 1966. Flotation of Silicates. 2. Adsorption of Ions on Feldspar in Relation to its Flotation Response. Trans. Instn. Min. Metal., c.75, 81-86.
- Kalyon, D., Gülsoy, Ö.Y., 2005. Feldspat-Kuvars Ayrımında Hidroflorik Asit Kullanılmayan Flotasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması. Yer Bilimleri, 26 (1), 49-59.
- Kangal, O., 1998. Yüksek Titanyum İçeren Albit Cevherlerinin Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 176 s, İstanbul.
- Karagüzel, C., 2000. Simav-Gördes Yöresi Feldspatlarının Seramik Sanayinde Kullanım Olanaklarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 198 s, Kütahya.
- Karagüzel, C., Yamık A., Bentli, İ., 2000. Beneficiation of Simav-Dağardı Feldspar by Flotation. Mineral Processing on the Verge of the 21st Century, (Eds) Özbayoğlu, G., Hoşten, Ç. vd., 8th International Mineral Processing Symposium, Printed in Balkema, 16-18 October, 331-334, Antalya.
- Karagüzel, C., 2005. Na-K Feldspat Minerallerinin Flotasyon Yöntemi ile Ayrımında Hidrofobisiteyi Etkileyen Parametreler. Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 201 s, Eskişehir.
- Katayanagi, A., 1974. Flotation Separation of Feldspar. United States Patent, Patent No: 3.844.939, October 1974.
- Katayanagi, T., 1973. A New Feldspar Flotation Process without Hydrofluoric Acid. Ceramics Japan, 8, 58-61.
- Kılavuz, F. Ş., Gülsoy, Ö. Y., 2000. The Effects of Metal Ions on the Selectivity of Feldspar-Quartz Separation. Mineral Processing on the Verge of the 21st Century, Özbayoğlu et al. (eds), 225-229, Rotterdam.
- Klyachin, V.V., Danisova, N.N., Kropanev, S.I., 1969. Mineral Exploration, Mining and Processing Patents, SSCB Patent No: 213.724, 8 s.
- Klyachin, V.V., 1972. New Efficient Reagent for the Flotation of Feldspar Raw Material. Stekleo Keramika, 9, 30-31.
- Kurcan, İ., Kaya, E., Keçeci, İ., Malayoğlu, U., Seyrankaya, A., 2007. Feldspat Cevheri İçerisindeki Mika ve Demir-Titan Oksitlerin Flotasyon ile Bazik Ortamda Tek Kademe ile Uzaklaştırılması. 6. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 1-3 Şubat, 156-163, İzmir.
- Lidström, L., 1965. Bonding of Amines to Silicates. Surface Chemistry, Ekwall, P., et al. (eds.), 42-53.

- DPT, 1995. Seramik-Refrakter-Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Cilt 1, No: DPT: 2418-OİK:477, 145 s, ANKARA.
- DPT, 1995. Seramik-Refrakter-Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu. T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Cilt 3, No: DPT: 2418-OİK:477, 187 s, ANKARA.
- DPT, 2001. Seramik-Refrakter-Cam Hammaddeleri Çalışma Grubu Raporu. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, No: DPT: 2611-OİK:622, 148 s, ANKARA.
- Malghan, S. G., 1981. Mining Engineering, 33, 1616.
- Manser, R.M., 1975. Handbook of Silicate Flotation. Warren Spring Laboratory, Stevanage, 87 s, İngiltere.
- Matel Hammadde Sanayi ve Ticaret A.Ş.,
http://www.matel.com.tr/wps/portal/matel_ana?changeLocale=tr. Erişim Tarihi: 01.10.2007.
- Montgomery, D.C., 1991. Design and Analysis of Experiments. Third Edition, Wiley& Sons, Inc., New York, 521-548.
- MTA Rapor No: 6723, 7338, 104, 5326, 154, 8365, 2759, 6331, 1956, 1960, 1966, 1974, 1978, 1980, 1983, 1988.
- Okur, E., 1984. Simav-Dağardı Feldspatlarının Zenginleştirme olanaklarının Araştırılması. Anadolu Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayın No: 13, 18 s, Eskişehir.
- Okur, E., 1985. Simav-Dağardı Feldspatlarının Elektrostatik Ayırma ile Zenginleştirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi Cilt 2, Sayı 2, 61-68, Eskişehir.
- O'Meara, R.G., Norman, J.E., Hammond, W.E., 1939. Froth Flotation and Agglomerate Tabling of Feldspars. Forty-first annual meeting, American Ceramic Society, 18 (8), 286-292, Chicago, ABD.
- Orhan, E. C., Bayraktar, İ., 2006. Amine-Oleate Interactions in Feldspar Flotation. Minerals Engineering, 19, 48-55.
- Önal, G., 1985. Cevher Hazırlamada Flotasyon Dışındaki Zenginleştirme Yöntemleri. İTÜ, Maden Fakültesi, 153s, İstanbul.

- Öteyaka, B., Bilir, K., Gürsoy, H., Üçbaş, Y., Bozkurt, R., Çiftçi, M., 2000. Recovery of Feldspar from Altered Granites. VIII. IMPS, Balkema, Eds. Özbayoğlu, G., Hoşten, Ç., Atalay, M.Ü., Hiçyılmaz, C., Arol, A.İ., 323-326.
- Özpeker, I., 1999. Feldspat Envarteri. İMMİB, 83 s, İstanbul.
- Perkins, D., 2002. Mineralogy. Prentice-Hall Inc., New Jersey, 8 s, ABD.
- Prasanphan, S., Nuntiya, A., 2006. Elektrokinetic Properties of Kaolins, Sodium Feldspar and Quartz. Chiang Mai. J. Sci., 33(2), 183-190.
- Rao, K.H., Forssberg, K. S. E., 1985. Feldspar Flotation: Theory and Practice in selected Topics in Mineral Processing. Eds. Gash, A., Kumar, R., Baltimore Port City Pres, 86-117.
- Rao, K. H., Forsberg, K. S. E., 1993. Solution Chemistry of Mixed Cationic/Anionic Collectors and Flotation Separation of Feldspar from Quartz. XVIII International Mineral Processing Congress, 22-28 May, Sydney, Avustralya.
- Revnitvsev, V. I., Peskov, V. V., 1967. Flotation Feldspar-Quartz Rocks. SSCB Patenti No: 197.683, CA 68:61063 V, 7 s.
- Revnitvzev, V. I., 1968. Flotation Separation of Minerals of the Isomorphous Group of Feldspars. 8th International Mineral Processing Cong., 234 s, Leningrad.
- Saklar, S., Oktay, C., 2003. Yozgat Yöresi Granitlerinin Feldspat Yönünden Zenginleştirilmesi. MTA Dergisi, 127, 103-108.
- Schubert, H., ağabeydo, A.M., 1967. Activation of Orthoclase by Means of HF During Flotation with Cation Active Collectors. Bergakademie, 19 (10), 601-605.
- Seyrankaya, A., Akar, A., Güler, E., Akar, G., 1997. Aydın-Çine ve Muğla-Milas Feldspatlarının Flotasyonla Zenginleştirilmesi. 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 236-246, İzmir.
- Seyrankaya, A., 2003. Muğla-Milas Yöresi Albit Cevherlerinden Mika ve Ağır Minerallerin Flotasyon ile Uzaklaştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi, 5 (3), İzmir.
- Shaw, D.J., 1970. Introduction to Colloid and Surface Chemistry. ISBN: 0 408 700211, 2. Baskı, Butterworth & Co.Ltd., 55-186, London, İngiltere.
- Shehu, N., Spaziani, E., 1999. Separation of Feldspar from Quartz Using Edta as Modifier. Mineral Engineering, 12 (11), 1393-1397.
- Smith, R. W., Akhtar, S., 1976. Cationic Flotation of Oxides and Silicates. Flotation A.M. Gaudin Memorial, 1 (6), 432 s, New York, ABD.

- Smith, R. W., 1965. Activation of Beryl and Feldspars by Fluorides in Cationic Collector Systems. SME Transactions, 232, 160-168.
- Stumm, W., Morgan, J.J., 1966. Aquatic Chemistry. Willey-Interscience Publ., 32 s, New York, ABD.
- Suliin, D. B., Smith, R. W., 1966. Hallimond Tube Investigations of Fluoride Activation of Beryl and Feldspar in Cationic Collector System. Trans. Instn. Min. Metal., 75, 333-336.
- Sümer, G., Kaya, M., 1995. Aydın-Çine Feldspatlarının Flotasyon ile Zenginleştirilmesi. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu. 21-22 Nisan, 45-49, İzmir.
- Uhlig, D., 1985. Relationship Between Properties and Flotation Behaviour of Feldspars. XV. International Mineral Proc. Cong., Vol.2, 265-277, Cannes, Fransa.
- Ütine, T., 1987. Köpüklü Yüzdürme ile Feldspat/Kuvars ayırımında Yüzey Kimyası. Madencilik, 26 (4), 7-22.
- Verhayden et all., 1972. Mineral Exploration. Mining and Processing Patents, UK Patent No: 1259738, 9 s.
- Vidyadhar, A., Hanumantha Rao, K., Forssberg, K. S. E., 2002. Adsorption of N-Tallow 1,3-Propanediamine-Dioleate Colector on Albite and Quartz Minerals, and Selective Flotation of Albite from Grek Stefania Feldspar Ore. Journal of Colloid and Interference Science, 248, 19-29.
- Warren, L. J., Kitchener, J. A., 1972. Role of Fluoride in Flotations of Feldspar: Adsorptions on Quartz, Corundum and Potassium Feldspar. Trans. Instn. Min. Metal., 81, 137-147.
- Yılmaz, Y., 1999. Feldspat, Endüstriyel Mineraller El Kitabı. Önal vd. (eds), İMİB yayınları, 92 s, İstanbul.
- Zadorozhnaya, F.I., 1977. Effect of Fluoride Ions on the Selectivity of the Flotation of Aluminosilicates and Quartz. Soversh. Technol. Obagashch. Miner. Syr'ya. 17-26.

EKLER

EK-1

HCl ve HF ile hazırlanmış süspansiyonlarda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu

pH	HCl			HF			
	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	F (mg/L)
1,5	42,25	12,31	65,51	-	-	-	-
2	29,38	18,79	60,96	-	-	-	-
2,5	22,87	10,22	57,58	139,40	30,50	139,80	680
3	10,44	9,04	49,78	102,30	23,00	110,00	500
4	6,22	10,02	45,87	63,15	18,10	83,00	193
5	3,51	9,34	33,66	40,87	15,10	63,34	115
6	7,01	9,00	33,19	28,41	12,69	53,90	39,8
7	19,07	9,81	42,59	22,96	11,71	50,00	27,1

EK-2

NaOH ile hazırlanmış süspansiyonlarda, feldspat mineralinden çözünen iyonların konsantrasyonu

pH	NaOH		
	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
9,7	33,74	11,76	55,27
10	32,95	16,11	57,97
11	39,68	33,57	61,85
12	34,03	101,20	52,36

EK-3

HCl ve HF ile hazırlanmış süspansiyonlarda, kuvars numunesinde bulunan safsızlıklardan çözünen iyonların konsantrasyonu

pH	HCl			HF			
	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)	F (mg/L)
1,5	8,20	3,34	1,55	-	-	-	-
1,88	8,10	5,40	1,59	-	-	-	-
2	7,28	17,35	1,51	-	-	-	-
2,5	5,17	3,76	1,19	-	-	-	-
3	3,17	2,94	1,12	15,13	3,23	1,84	240
4	*ND	2,24	0,80	10,33	2,34	0,98	58,3
5	*ND	2,54	0,61	6,80	2,09	1,21	44,2
5,5	*ND	10,82	1,04	-	-	-	-
6	-	-	-	1,63	2,11	1,15	23,7
7	*ND	2,83	0,91	*ND	6,21	0,76	11,7

EK-4

NaOH ile hazırlanmış süspansiyonlarda, kuvars numunesinde bulunan safsızlıklardan çözünen iyonların konsantrasyonu

pH	NaOH		
	Al (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
9,7	1,67	1,40	0,40
10	0,48	8,46	0,94
11	0,64	23,74	0,99
12	1,99	101,50	1,56

EK-5

Mineral yüzeyinden çözülen iyonların tespitinde kullanılan saf suyun kimyasal analizi

Saf Su	F (mg/L)	Na (mg/L)	K (mg/L)
	11,5	*ND	1,57

EK-6

HCl ile hazırlanmış süspansiyonlarda kuvars mineralinin zeta potansiyeli ölçümleri

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)				
		Saf Su	Al ³⁺ (50 mg/L)	Na ⁺ (1000 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)
HCl	1,5	+11,8	+16,87	+23,10	+10,8	+3,0
	2	+9,18	+17,18	+20,89	+9,4	0
	2,5	-10,0	+13,90	+2,00	0	-3,0
	3	-21,4	+14,02	-5,7	-8,3	-16,3
	4	-30,3	+25,86	-14,0	-14,8	-25,4
	5	-36,8	+42,80	-21,5	-20,2	-32,3
	6	-48,4	+67,77	-30,2	-25,2	-41,5

EK-7

HF ile hazırlanmış süspansiyonlarda kuvars mineralinin zeta potansiyeli ölçümleri

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)				
		Saf Su	Al ³⁺ (50 mg/L)	Na ⁺ (1000 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)
HF	1,5	+10,15	+22,4	+15,8	+8,8	+7,3
HCl	2	+9,11	+18,4	+11,5	+6,4	+6,5
HF	2,5	-5,0	+7,7	0	-2,2	0
	3	-22,5	+5,0	-13,1	-8,8	-5,0
	4	-35,6	+25,12	-25,3	-14,5	-25,2
	5	-36,7	+45,8	-26,8	-20,8	-28,3
	6	-42,5	+56,28	-28,5	-24,1	-36,5

EK-8

NaOH ile hazırlanmış süspansiyonlarda kuvars mineralinin zeta potansiyeli ölçümleri

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)				
		Saf Su	Al ³⁺ (50 mg/L)	Na ⁺ (1000 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)
NaOH	8	-55,3	+61,2	-42,3	-11,7	-43,8
	9	-57,2	+55,3	-39,0	-2,0	-44,2
	10	-51,7	+52,5	-37,8	+10,3	-47,6
	11	-44,5	+49,8	-36,3	+16,13	-44,3
	12	-35,0	+40,3	-38,6	+18,4	-41,9

EK-9

HCl ile hazırlanmış süspansiyonlarda feldspat mineralinin zeta potansiyeli ölçümleri

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)				
		Saf Su	Al ³⁺ (50 mg/L)	Na ⁺ (1000 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)
HCl	1,5	0	+8,0	+5,0	+2,3	+3,0
	2	-2,0	+3,0	0	0	0
	2,5	-10,0	-3,0	-5,0	-5,2	-5,0
	3	-22,4	-8,0	-18,3	-8,7	-17,3
	4	-23,7	+19,31	-29,0	-14,2	-30,1
	5	-32,0	+28,5	-22,0	-15,5	-33,5
	6	-42,3	+55,42	-21,7	-20,2	-38,8

EK-10

HF ile hazırlanmış süspansiyonlarda feldspat mineralinin zeta potansiyeli ölçümleri

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)				
		Saf Su	Al ³⁺ (50 mg/L)	Na ⁺ (1000 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)
HF HCl	1,5	-31,8	-20,3	-22,3	-28,2	-13,2
	2	-30,3	-34,2	-34,2	-27,2	-14,5
HF	2,5	-34,7	-26,7	-20,7	-30,7	-15,8
	3	-30,3	-12,8	-14,4	-25,2	-14,8
	4	-30,5	+7,98	-19,7	-20,1	-18,3
	5	-38,8	+35,8	-28,3	-18,1	-25,4
	6	-45,3	+49,6	-38,3	-15,2	-33,2

EK-11

NaOH ile hazırlanmış süspansiyonlarda feldspat mineralinin zeta potansiyeli ölçümleri

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)				
		Saf Su	Al ³⁺ (50 mg/L)	Na ⁺ (1000 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)
NaOH	8	-47,1	+52,1	-46,2	-14,9	-46,6
	9	-51,7	+47,2	-41,9	-13,7	-48,3
	10	-52,8	+45,3	-42,2	+4,0	-43,5
	11	-45,4	+38,2	-34,8	+10,38	-30,8
	12	-44,3	+31,1	-35,8	+16,2	-24,5

EK-12

HCl ile hazırlanmış süspansiyonlarda katyonik toplayıcının (Aero 3000C) kuvarsın zeta potansiyeline etkisi

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)			
		Saf Su	250 g/t A-3000C	500 g/t A-3000C	1000 g/t A-3000C
HCl	2	+9,18	+9	+9,5	+9,2
	2,25	0,0	+1	+1,1	+1,5
	2,5	-10,0	-7,2	-6	-4,5
	3	-21,4	-18,4	-15,5	-12,3
	3,5	-25,4	-22,3	-19,9	-17,7

EK-13

HF ile hazırlanmış süspansiyonlarda katyonik toplayıcının (Aero 3000C) kuvarsın zeta potansiyeline etkisi

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)			
		Saf Su	250 g/t A-3000C	500 g/t A-3000C	1000 g/t A-3000C
HF	2	+9,11	+8,8	+9,4	+9,2
	2,25	+3,3	+3,5	+1,1	+1,5
	2,5	-5,0	-5,0	-4,5	-2,2
	3	-22,5	-17,5	-16,2	-14,0
	3,5	-28,8	-25,1	-22,0	-18,2

EK-14

HCl ile hazırlanmış süspansiyonlarda katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspatın zeta potansiyeline etkisi

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)			
		Saf Su	250 g/t A-3000C	500 g/t A-3000C	1000 g/t A-3000C
HCl	2	-2,0	0,0	+1,5	+1,7
	2,25	-5,5	-2,0	0,0	0,0
	2,5	-10,0	-4,2	-1,5	0,0
	3	-22,4	-16,5	-12,2	-8,2
	3,5	-23,0	-15,9	-13,2	-8,0

EK-15

HF ile hazırlanmış süspansiyonlarda katyonik toplayıcının (Aero 3000C) feldspatın zeta potansiyeline etkisi

Asit	pH	Zeta Potansiyeli (mV)			
		Saf Su	250 g/t A-3000C	500 g/t A-3000C	1000 g/t A-3000C
HCl	2	-30,3	-28,5	-23,2	-14,2
	2,25	-32,2	-27,2	-24,5	-14,0
	2,5	-34,7	-25,1	-22,1	-13,7
	3	-30,3	-25,0	-19,8	-11,0
	3,5	-30,4	-25,0	-18,8	-11,5

EK-16

HCl ve HF ile hazırlanmış süspansiyonlarda katyonik toplayıcı (Aero 3000C) ile temas açısı ölçümleri

pH	Temas Açısı, Derece			
	HCl		HF	
	Feldspat	Kuvars	Feldspat	Kuvars
2	0	0	30	0
3	37	31	40	0
4	40	35	38	32
5	42	40	35	34
6	42	40	35	35

EK-17

Toplayıcı miktarının (Aero 3000C) kuvars mineralinin yüzebilirliğine etkisi

pH	Toplayıcı Miktarı, (g/t)	Kuvars Verimi, (%)	
		HCl	HF
2,5	0	0	0
	50	0	0
	100	0	0
	150	11,25	5,30
	300	38,10	25,10
3,5	0	12,20	8,73
	50	35,80	28,30
	100	53,30	47,50
	150	72,25	70,80
	300	85,25	82,20
4,5	0	13,50	12,10
	50	55,55	50,22
	100	61,11	59,98
	150	80,50	81,12
	300	87,00	83,50

EK-18

Toplayıcı miktarının (Aero 3000C) feldspat mineralinin yüzebilirliğine etkisi

pH	Toplayıcı Miktarı, (g/t)	Feldspat Verimi, (%)	
		HCl	HF
2,5	0	0	0
	75	0	38,77
	150	0	50,33
	300	10,11	59,98
	450	16,87	70,45
	600	42,5	78,85
3,5	0	0	0
	75	22,22	28,5
	150	53,12	55,39
	300	72,63	69,81
	450	79,55	77,31
	600	87,82	89,33
4,5	0	0	0
	75	35,54	38,87
	150	50,33	55,44
	300	62,54	67,87
	450	75,12	79,9
	600	89,15	89,33

EK-19

Köpürtücü miktarının (DF-250) kuvars mineralinin yüzebilirliğine etkisi

Köpürtücü Miktarı, (g/t)	Kuvars Verimi, (%)	
	HCl	HF
0	22,15	30,25
25	72,25	65,3
50	78,8	72,2
75	85,25	82,2

EK-20

Köpürtücü miktarının (DF-250) feldspat mineralinin yüzebilirliğine etkisi

Köpürtücü Miktarı, (g/t)	Feldspat Verimi, (%)	
	HCl	HF
0	28,15	20,18
25	61,18	65,35
50	70,15	73,8
75	87,82	89,33

EK-21

pH'nın feldspat ve kuvars minerallerinin yüzebilirliğine etkisi

pH	Mineral Verimi, (%)			
	Feldspat		Kuars	
	HCl	HF	HCl	HF
1,5	5,3	6,5	0	0
2	13,1	50,63	9,2	0
2,5	42,5	78,85	38,1	25,1
3	78,8	80,33	80,18	76,5
4	88,8	89,5	86,19	83,18
5	89,15	89,33	87	83,5
6	89,23	90,15	88,2	85,15

EK-22

HCl ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların kuvars flotasyonuna etkisi

Asit	pH	Mineral Verimi, (%)				
		Saf Su	Na ⁺ (1000 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	Al ³⁺ (50 mg/L)
HCl	1,5	0	0	0	0	0
	2	9,20	8,70	5,30	6,58	0
	2,5	38,10	35,10	40,50	30,20	0
	3	80,18	75,30	72,20	62,30	5,28
	4	86,19	80,30	83,35	70,65	4,30
	5	87,00	85,22	84,45	72,58	0
	6	88,20	84,38	80,22	75,38	0

EK-23

HCl ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların feldspat flotasyonuna etkisi

Asit	pH	Mineral Verimi, (%)				
		Saf Su	Na ⁺ (1000 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	Al ³⁺ (50 mg/L)
HCl	1,5	5,3	0	0	0	0
	2	13,1	10,3	12,2	0	0
	2,5	42,5	45,3	40,5	38,4	0
	3	78,8	75,65	70,8	68,65	12,22
	4	88,8	78,8	80,11	71,22	10,25
	5	89,15	82,9	82,48	70,5	10,95
	6	89,23	85,6	80,83	63,1	0

EK-24

HF ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların kuvars flotasyonuna etkisi

Asit	pH	Mineral Verimi, (%)				
		Saf Su	Na ⁺ (1000 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	Al ³⁺ (50 mg/L)
HF	1,5	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0
	2,5	25,1	22,3	26,8	15,4	0
	3	76,5	72,8	72,18	50,83	6,1
	4	83,18	76,23	78,13	55,11	4,6
	5	83,5	78,15	76,11	54,22	0
	6	85,15	76,22	78,82	50,38	0

EK-25

HF ile hazırlanmış pülpte, bazı katyonların feldspat flotasyonuna etkisi

Asit	pH	Mineral Verimi, (%)				
		Saf Su	Na ⁺ (1000 mg/L)	K ⁺ (250 mg/L)	Ca ²⁺ (250 mg/L)	Al ³⁺ (50 mg/L)
HF	1,5	6,5	0	0	0	0
	2	50,63	53,5	48,5	42,8	0
	2,5	78,85	75,3	70,25	62,2	5,8
	3	80,33	73,25	75,23	70	15,35
	4	89,5	75,9	80,97	75,15	20,12
	5	89,33	83,63	80,11	68,28	10,8
	6	90,15	83,7	78,19	60,1	6,3

EK-26

Köpürtücü türünün feldspat flotasyonuna etkisi

Köpürtücü Türü	Ağ, (%)	K₂O Tenörü, (%)	K₂O Verim, (%)
AF65	22,45	78,80	23,76
AF70	14,95	79,90	16,04
AF76	25,28	76,23	25,88
AF88	26,51	82,85	29,50

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Selçuk ÖZGEN
Doğum Yeri ve Yılı : Bucak/1982
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Burdur Endüstri Meslek Lisesi, 1996-1999
Lisans : Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi
Maden Mühendisliği Bölümü, 2000-2004

Çalıştığı Kurum/Kurumlar Yıl

Dicle Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, 2005-2006
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 2006-...