

## ARAŞTIRMA MAKALESİ/RESEARCH ARTICLE

# KROMİTİN MİKROELEKTROFORETİK DAVRANIŞI VE FLOTASYONU

## Nermin GENÇE<sup>1</sup>

### ÖZ

Bu çalışmada, kromit ve serpantin seçimli olarak ayrılmasını sağlamak için çeşitli iyonlarla flotasyon reaktiflerinin flotasyona etkisi araştırılmıştır. Kromit ve serpantin flotasyonunda flotasyon reaktiflerinin adsorplanma mekanizmalarını incelemek için, olabildiğince temiz (saf) kromit ve serpantin elektrokinetik potansiyeli ve sıfır yük noktası (s.y.n) belirlenmiş, çeşitli iyonların ve flotasyon reaktiflerinin kromit ve serpantin yüzey özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Kromitin sıfır yük noktası pH=6,3'de serpantin ise pH=5,1'de oluşmaktadır. pH'ın fonksiyonu olarak çizilen elektrokinetik potansiyel değişim eğrisi kromit ve serpantin için potansiyel belirleyici iyonların H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonları olduğunu göstermektedir. Flotasyon deneylerinde en iyi sonuçlar Aero801-Aero825 ile elde edilmiştir. Flotasyon çalışmalarının sonuçları % 48,84 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeren satılabilir konsantrenin % 88,00 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile elde edilebileceğini göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kromit, Serpantin, Flotasyon, Elektrokinetik potansiyel.

## MICROELECTROPHORETIC BEHAVIOUR of CHROMITE and its FLOTATION

### ABSTRACT

In this work, effects of various ions and flotation reagents in chromite-serpentine flotation were investigated with the aim of overcoming the problems encountered in selective flotation of chromite and serpentine. In order to examine the adsorption mechanism of reagents in chromite-serpentine flotation, electrokinetic potential and zero point of charge (z.p.c) of clean (pure) chromite and serpentine were determined and effects of various ions and flotation reagents on surface properties of chromite and serpentine were examined. Zero point of charge of chromite occurs at pH=6.3 while that of serpentine occurs at pH=5.1 The curves of variation of electrokinetic potential as a function of pH show that H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> ions are the potential determining ions for chromite and serpentine. In the flotation tests, the best results were obtained with mixture of Aero801 and Aero825. The results of flotation studies show that commercial concentrate containing 48.84 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> is obtainable with an 88.00 % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> rate of recovery.

**Key Words:** Chromite, serpentine, flotation, electrokinetic potential.

## 1. GİRİŞ

Metalurji, kimya ve refrakter endüstrisinde kullanılan kromit, [(Fe, Mg) O, (Cr, Al, Fe)<sub>2</sub> O<sub>3</sub>], kuramsal olarak % 68,00 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> , % 32,00 FeO içermekte ve genellikle serpantin, olivin ve piroksen ile birlikte bulunmaktadır. Doğal yatakların işletilmesi sonucu üretilen kromit cevheri içerdiği safsızlıklar nedeniyle zenginleştirme süreçlerine tabi tutulduktan sonra endüstride kullanılabilir. Düşük tenörlü kromit cevherleri gra-

vite yöntemi (sallantılı masa, jig, spiral oluk, multi gravite separator) veya manyetik ayırma ile zenginleştirilebilmektedir. Bazen ön zenginleştirme amacıyla ağır ortam ile zenginleştirme yöntemi de uygulanabilmektedir. Ancak ince fraksiyonlarda bu yöntemler pek verimli olamamaktadır. Yoğunluk farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri ve manyetik ayırma genellikle iri boyutlarda (>150-200 µm) uygulanmakta ve artıktaki kromit kayıpları fazla olmaktadır. Flotasyon yöntemi ile daha yüksek tenör ve verimli ürünler elde edilebilmektedir (Atalay,

<sup>1</sup> Anadolu Üniversitesi, Bozıtıyük Meslek Yüksekokulu, Bozıtıyük/Bilecik.

E-posta: ngence@anadolu.edu.tr

Geliş: 20 Ağustos 2001; Düzeltme: 31 Ocak 2002; Kabul: 04 Nisan 2002.

1986; Güney vd. 1994; Kurşun vd. 1994; Boci vd. 1996; Güney vd. 1996; Çiçek vd. 1998).

Bu çalışmanın amacı, büyük bir kromit rezervine sahip olan ve gang minerali olarak serpantinleşmiş olivin ve piroksen içeren Elazığ-Kefdağ kromitlerinin mikroelektroforetik davranışının incelenmesi ve flotasyon yöntemi ile zenginleştirilebilme olanaklarının araştırılmasıdır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Deneysel çalışmalar, elektrokinetik potansiyel ölçümü ve flotasyon çalışmalarını içermektedir.

### 2.1. Malzeme

Elektrokinetik potansiyel ölçümü çalışmalarında Elazığ-Kefdağ kromit tesisinden el ile toplanarak alınan olabildiğince temiz (saf) kromit ve serpantin numuneleri kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan temiz (saf) kromit % 57,85 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 16,40 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 0,50 SiO<sub>2</sub>, % 6,07 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 0,20 CaO ve % 10,96 MgO, temiz (saf) serpantin ise %31,78 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 5,78 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 38,14 SiO<sub>2</sub>, % 7,49 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 1,29 CaO ve % 7,34 MgO içermektedir.

Ölçümlerde kullanılan kromit ve serpantin numuneleri -0,038 mm'e öğütüldükten sonra birkaç kez damıtık su ile yıkanmış ve sonra içinde damıtık su bulunan 1 litrelik dereceli silindir bir kaba konularak birkaç dakika karıştırılmış, 0,010 mm'nin üzerindeki boyuta sahip tanelerin Stokes yasasına göre çökmesi sağlanmış, 0,010 mm ve daha küçük boyuttaki taneler ise elektrokinetik potansiyel ölçümlerinde kullanılmak üzere başka bir kaptaki stok numune olarak saklanmıştır.

Flotasyon çalışmalarında Elazığ-Kefdağ yöresi kromitleri kullanılmıştır. Petrografik ve mineralojik incelemeler başlıca bileşenlerinin kromit, olivin (serpantinleşmiş) ve piroksen olduğunu ortaya koymuştur. Flotasyon çalışmalarında kullanılan kromit numunesi % 38,33 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 18,00 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 12,83 Si<sub>2</sub>O, % 9,38 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 0,40 CaO, % 21,06 MgO içermektedir. Kromitin serbestleşme tane boyutunu belirlemek için numune değişik boyutlarda kırma ve öğütme işlemlerine tabi tutulmuş ve elek fraksiyonları mikroskop altında tane sayımı yöntemi ile incelenmiştir. Mikroskop çalışmaları optimum serbestleşme tane boyutunun 0,210 mm olduğunu göstermiştir. Bu nedenle -0,210 mm tane boyutu öğütme için limit seçilmiş ve tüm numune flotasyon çalışmaları için 0,210 mm'nin altına indirilmiştir.

### 2.2. Elektrokinetik Potansiyel Ölçümü

Mineral taneciklerinin elektrokinetik potansiyelinin ölçülmesinde en çok kullanılan yöntem elektroforez yöntemidir. Bu yöntemde mineral süspansiyonu bir elektroliz cihazında elektrolit olarak kullanılır. Cihaza elektrik akımı verildiğinde süspansiyondaki taneler yüklerine göre çözelti içindeki elektrik alanında hareket ederler. Hareketin hızı ve yönünden yararlanılarak, elektrokinetik potansiyeli hesaplamak ve yüzey elektrik yükünün işaretini belirlemek mümkündür. Mineral tanelerinin elektroforetik hareketliliği makroelektroforez veya mikroelektroforez adı verilen iki yöntemden birisi ile bulunabilir. Makroelektroforetik yönteminde cihazın U şeklindeki tüpünün alt kısmına süspansiyon konur, üstü saf bir sıvı ile doldurulur. Bu sıvı içine platin elektrot daldırılır ve elektrotlara potansiyel farkı uygulandığı zaman, sıvı-süspansiyon sınırlarının hareket ettiği görülür. Hareketin hızından yararlanılarak elektrokinetik potansiyel hesaplanır. Mikroelektroforetik yöntemde, bir mikroskobun görüş alanına yerleştirilmiş ince bir tüp içine süspansiyon konur. Tüp tersinir elektrotlar içerir. Elektrotlara bir voltaj uygulandığı zaman süspansiyon içindeki parçacıklar hareket eder bu hareketin hızından yararlanılarak elektrokinetik potansiyel hesaplanır.

Bu çalışmada, kromit ve serpantinün elektrokinetik potansiyeli mikroelektroforez yöntemi ile bulunmuştur. Elektrokinetik potansiyeli hesaplamak için Helmholtz-Smoluchawski eşitliğinden yararlanılmıştır:

$$\zeta = 12,83 \times U$$

Burada;  $\zeta$  = elektrokinetik potansiyel (mV)

U = Tanenin hareketliliği ( $\mu\text{.sn}^{-1}\text{.cm.volt}^{-1}$ )

12,83 katsayısı mikroelektroforez cihazında kullanılan suyun 25°C olduğu durumlarda geçerlidir. Suyun sıcaklığı 20°C olursa katsayı 14,2 olur (Atak, 1974; Atalay, 1986; Castellán, 1971; Fuerstenau vd. 1984; Gence, 1991; Manser, 1973; Mari vd. 1980).

Kromit ve serpantin numunelerinin elektrokinetik potansiyeli Rank-Brothers Mikro-Elektroforez cihazı ile değişik pH'larda ve inorganik tuzlarla organik flotasyon reaktiflerinin değişik konsantrasyonlarında ölçülmüştür. Çözeltilerin pH'larını ayarlamak için analitik derecede HCl ve NaOH kullanılmıştır. Çalışılan her pH'da 20 adet tanenin hareket hızı bulunmuş ve bunların ortalama değerleri alınarak elektrokinetik potansiyel hesabı yapılmıştır.

### 2.3. Flotasyon Deneyleri

Flotasyon çalışmaları Denver tipi laboratuvar ölçekli flotasyon makinası ile 1390 dev/dk'da 1 litrelik flotasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde şebeke suyu ve pH ayarlamak için analitik derece-

de HCl, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve NaOH kullanılmıştır. Çalışmalarda toplayıcı miktarı, pH, bastırıcı reaktif miktarı, yardımcı reaktif miktarı, kıvam süresi, katı oranı, köpük alma süresi gibi parametreler incelenmiştir.

Flotasyon deneyleri üç farklı yöntem uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Birincisinde; toplayıcı reaktif olarak kullanılan sodyum oleat ile kromit yüzdürülürken Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> (SiO<sub>2</sub>:Na<sub>2</sub>O oranı 2,6:1) kullanılarak serpantin bastırılmıştır.

İkincisinde; toplayıcı reaktif olarak Hoechst tarafından üretilen ve katyonik bir reaktif olan Armac-C (coco amine acetate) kullanılarak serpantin yüzdürülürken kromit batan ürün olarak elde edilmiştir. Yardımcı reaktif olarak da gazyağı kullanılmıştır.

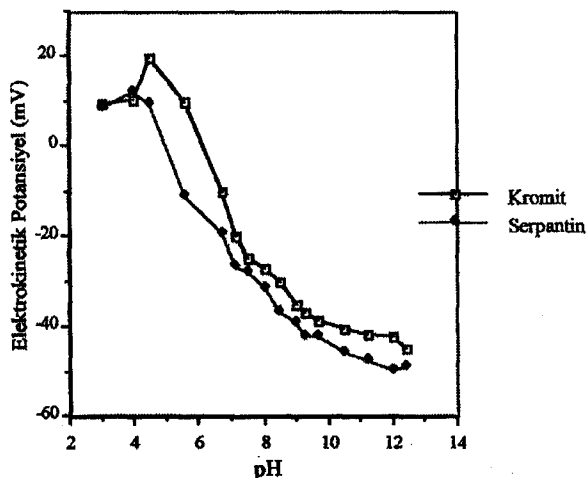
Son olarak, flotasyon deneylerinde Cyanamid tarafından üretilen ve anyonik reaktif olan Aero801 ve Aero825 (petrol sülfonatları) toplayıcı reaktif olarak kullanılmıştır. Serpantini bastırmak için Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> (sodyum fluo silikat), yardımcı reaktif olarak da tall oil ve fuel oil karışımı kullanılmıştır.

### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

#### 3.1. Elektrokinetik Potansiyel Ölçüm Deneylerinin Sonuçları

Kromit ve serpantin numunelerinin elektrokinetik potansiyelinin pH'a göre değişimi Şekil 1'de verilmiştir.

Kromit için sıfır yük noktası pH=6,3, serpantin için pH=5,1 olarak belirlenmiştir. Sıfır yük noktasının altındaki pH'larda her iki mineral içinde yüzey elektrik yükü pozitif işaretli, daha yüksek pH'larda ise negatif işaretlidir (Şekil 1). Çözeltiyeye OH<sup>-</sup> iyonları ilave edildiği zaman OH<sup>-</sup> iyonlarının adsorpsiyonu nedeniyle kromit ve serpantin yüzey elektrik yükü negatif, H<sup>+</sup> iyonları



Şekil 1. pH Değişiminin Kromit ve Serpantin Elektrokinetik Potansiyeline Etkisi.

ilave edildiği zaman ise pozitif işaretli olmaktadır. H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonlarının konsantrasyonlarının değişimi sadece elektrokinetik potansiyelin mutlak değerini değil aynı zamanda işaretini de değiştirmektedir. Bu nedenle H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonları kromit ve serpantin için potansiyel belirleyen iyonlardır. Literatürde de kromit için potansiyel belirleyen iyonların H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonları olduğu saptanmıştır (Atalay, 1986). Silikat mineralleri içinde potansiyel belirleyen iyonlar H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonlarıdır (Manser, 1973).

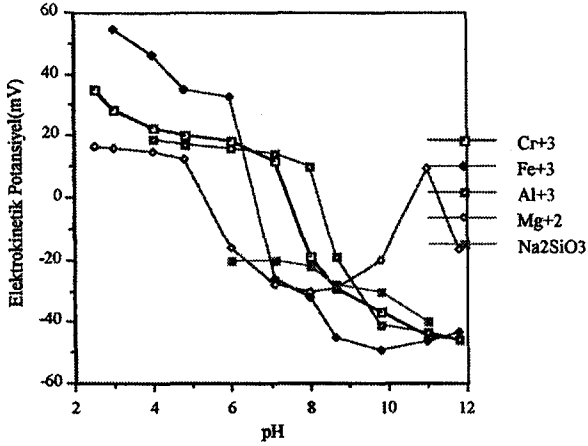
Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> iyonları ile Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'ün kromit ve serpantin elektrokinetik potansiyeline etkisi Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.

Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup> ve Mg<sup>2+</sup> iyonlarının varlığında kromit ve serpantin sıfır yük noktasının daha bazik pH'lara kaydığı saptanmıştır. Cr<sup>3+</sup> iyonunun varlığında kromitin sıfır yük noktası pH=7,6'a serpantin ise pH=7,8'e, Fe<sup>3+</sup> iyonunun varlığında kromitin sıfır yük noktası pH=6,8'e serpantin ise pH=7,8'e, Al<sup>3+</sup> iyonunun varlığında her iki mineralin sıfır yük noktası da pH=8,4'e ve Mg<sup>2+</sup> iyonunun varlığında ise kromitin sıfır yük noktası pH=10,4'e serpantin ise pH=11,1'e yükselmektedir. Literatürde bu katyonların kromit ve serpantin sıfır yük noktasını kendi oksitlerinin sıfır yük noktasına doğru kaydırıldığı ve dolayısıyla her iki mineralin sıfır yük noktasının daha bazik pH'lara kaydığı belirtilmektedir (Parks, 1965; Palmer, 1972; Leja, 1983; Atalay, 1986). Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'ün varlığında ise, silikat iyonlarının kromitin elektrokinetik potansiyelini önemli ölçüde etkilemezken, serpantin elektrokinetik potansiyeli ni daha negatif yaptığı görülmektedir (Şekil 2 ve 3).

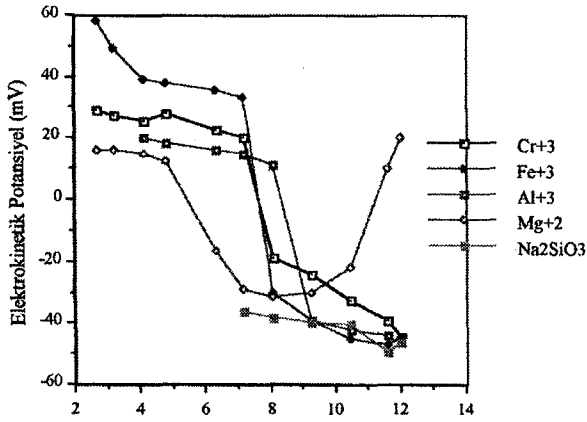
Sodyum oleat, Aero801, Aero825 ve Armac-C gibi flotasyon reaktiflerinin kromit ve serpantin elektrokinetik potansiyeline etkisi değişik pH'larda incelenmiş ve sonuçlar Şekil 4 ve 5'de verilmiştir.

Flotasyon reaktifleri, katı-sıvı ara yüzeyinde yüzey elektrik yükünü ve/veya yüzeyin hidrofobik-hidrofillik özelliğini kontrol etmek için adsorplanan elemanlar olarak kullanılmıştır. Flotasyon reaktifleri kromit ve serpantin ile muamele edilirse ya reaktif ve mineralin ters işaretli yüzey yükleri nedeniyle veya kimyasal etkileşim sonucu bir adsorpsiyon olayı oluşur. Bunlardan birincisine fiziksel adsorpsiyon, ikincisine ise kimyasal adsorpsiyon adı verilir (Du Rietz, 1975; Cases vd.1985).

Sodyum oleatın (C<sub>17</sub>H<sub>35</sub>COO<sup>-</sup>) varlığında kromit ve serpantin sıfır yük noktası pH=4,2'e inmiştir (Şekil 4 ve 5). Sıfır yük noktasının altındaki pH'larda, kromit ve serpantin yüzeyi pozitif işaretlidir (Şekil 1) ve bu pH değerlerinde kromit ve serpantin sodyum oleat ile muamele edildiğinde RCOO<sup>-</sup>(karboksilat) iyonları mineral yüzeyine fiziksel olarak adsorplanmıştır ve H<sup>+</sup> (potansiyeli belirleyen) iyonlarının artması nedeniyle kromit ve serpantin sıfır yük noktası daha asidik pH'a



Şekil 2. 10-4 M Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'ün Kromitin Elektrokinetik Potansiyeline Etkisi.



Şekil 3. 10-4 M Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup> ve Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'ün Serpantin Elektrokinetik Potansiyeline Etkisi.

kaymıştır. Sıfır yük noktasının üzerindeki pH'larda ise kromit ve serpantin yüzeyleri negatif işaretlidir (Şekil 1) ve bu pH değerlerinde kromit ve serpantin sodyum oleat ile muamele edildiğinde mineral yüzeyi ile aynı işaretli olan RCOO<sup>-</sup> iyonları mineral yüzeyine sadece kimyasal olarak adsorplanabilir. Bunun sonucu olarak da yüzeyin net negatif yükü artar (Akhtar ve Lai, 1975).

Cyanamid tarafından üretilen Aero801 ve Aero825 (petrol sülfonatu) anyonik reaktiflerdir. Kromit ve serpantin Aero801 ve Aero825 ile muamele edildiğinde, tüm pH değerlerinde her iki mineral yüzeyi de negatif işaret taşımaktadır. Sıfır yük noktasının altındaki pH'larda kromit ve serpantin yüzeyi pozitif işaretlidir (Şekil 1) ve RSO<sub>4</sub><sup>2-</sup> iyonları kromit ve serpantin yüzeyine fiziksel olarak adsorplanır. Sıfır yük noktasının üzerindeki pH'larda ise kromit ve serpantin yüzeyi negatif işaretlidir (Şekil 1) ve RSO<sub>4</sub><sup>-</sup> iyonları spesifik olarak kromit ve serpantin yüzeyine adsorbe olurlar ve yüzeylerin net negatif yükünün artmasına neden olurlar (Şekil 4 ve 5).

Hoechst tarafından üretilen Armac-C (coco amine acetate) katyonik bir reaktiftir. Armac-C ile muamele edildiğinde kromit ve serpantinın sıfır yük noktası pH=9,9 olmaktadır. Minerallerin sıfır yük noktalarının üzerindeki pH'larda yüzeyler negatif işaretlidir (Şekil 1) ve RNH<sub>3</sub><sup>+</sup> (amin) iyonları ters işaretli kromit ve serpantin yüzeylerine elektrostatik olarak adsorbe olur ve böylece bu minerallerin sıfır yük noktalarının daha bazik pH'lara kaymasına neden olur (Şekil 4 ve 5).

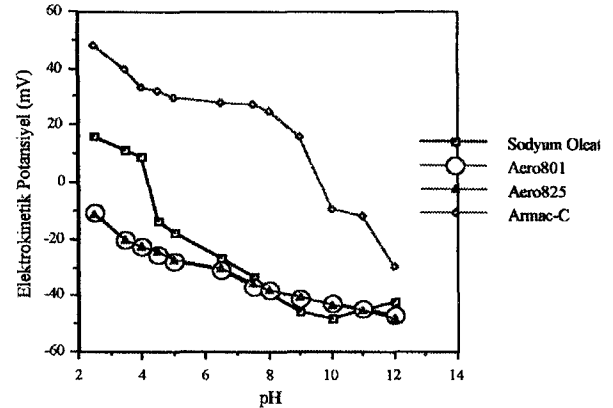
## 3.2. Flotasyon Deneylerinin Sonuçları

### 3.2.1. Sodyum Oleat Flotasyonu

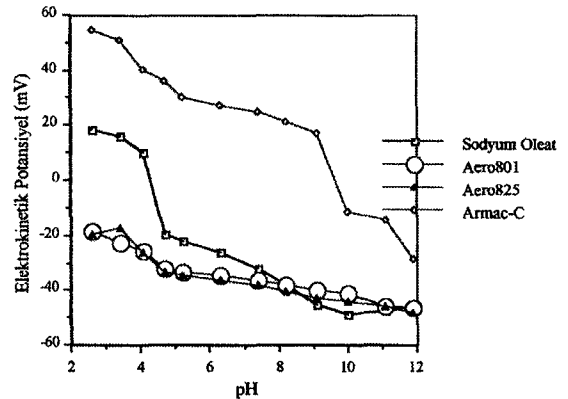
Toplayıcı reaktif olarak sodyum oleatın kullanıldığı flotasyon deneylerinde Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tenör ve verimi açısından en iyi sonuçlar aşağıdaki deney koşullarında elde edilmiş ve en iyi sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.

Deney koşulları:

Sodyum oleat	: 1000g/ton
pH	: 8,5
Kıvam süresi	: 15 dk
Katı oranı	: %50 K
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	: 2000g/ton
Köpük alma süresi	: 5 dk



Şekil 4. Flotasyon Reaktiflerinin Kromitin Elektrokinetik Potansiyeline Etkisi.



Şekil 5. Flotasyon Reaktiflerinin Serpantin Elektrokinetik Potansiyeline Etkisi.

Tablo 1. Sodyum Oleat Flotasyonu Sonuçları.

ÜRÜNLER	MİKTAR, %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	SiO <sub>2</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	MgO, %	DAĞILIM, % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	67,95	47,94	15,65	7,51	6,34	11,97	84,99
Artık	32,05	17,96	22,98	24,11	15,83	40,33	15,01
TOPLAM	100,00	38,33	18,00	12,83	9,38	21,06	100,00

Tablo 2. Armac-C Flotasyonu Sonuçları.

ÜRÜNLER	MİKTAR, %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	SiO <sub>2</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	MgO, %	DAĞILIM, % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	66,18	47,79	15,76	7,13	5,95	11,89	82,51
Artık	33,82	19,82	22,38	23,98	16,09	39,00	17,49
TOPLAM	100,00	38,33	18,00	12,83	9,38	21,06	100,00

Literatürde serpantini bastırmak için kullanılan Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>'ün serpantin net negatif yüzey yükünü artırarak sodyum oleat ile serpantin arasındaki etkileşim olasılığını azalttığı belirtilmektedir (Leja, 1983). Şekil 2 ve 3'de de görüldüğü gibi silikat iyonları bazik pH'da kromitin elektrokinetik potansiyelini önemli ölçüde etkilemezken, serpantin elektrokinetik potansiyelini daha negatif yapmaktadır. Sonuç olarak, kromit flotasyonunda toplayıcı reaktif olarak sodyum oleat ve serpantini bastırmak içinde Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub> kullanılırsa kromit serpantinden seçimli olarak ayrılabilir. Elektrokinetik potansiyel ölçümleri, bazik pH'larda sodyum oleatın kromit tarafından kimyasal olarak adsorplanmasına karşın serpantin ile sodyum oleat arasında herhangi bir kimyasal etkileşimin olmadığını göstermektedir. Literatürde de RCOO<sup>-</sup> iyonlarının kromit tarafından kimyasal olarak adsorplandığı belirtilmektedir (Atalay, 1986).

### 3.2.2. Armac-C Flotasyonu

Armac-C ile yapılan flotasyon deneylerinde serpantin yüzen kromit ise batan ürün olarak elde edilmiştir. Aşağıdaki deney koşullarında elde edilen en iyi sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Deney koşulları:

Armac-C	: 1500g/ton
pH	: 7,0
Kıvam süresi	: 20dk
Gazyağı	: 2500g/ton
Katı oranı	: %50 K
Köpük alma süresi	: 3dk

pH=7,0'de kromit ve serpantin negatif yüzey yüküne sahiptir. Ancak bu pH'da serpantin yüzey elektrik yükü kromite göre daha fazla negatiftir (Şekil 1). Bu nedenle RNH<sub>3</sub><sup>+</sup> iyonları öncelikle serpantin yüzeyine adsorbe olurlar ve pH=7,0'de Armac-C ile flotasyon yapılırsa serpantin seçimli olarak kromitten ayrılabilir. Yardımcı reaktif olarak kullanılan gazyağı, serpantin yüzeyine adsorbe olarak serpantin köpük zonuna daha kolay ulaşabilmesine yardımcı olmakta ve böylece hem kullanılan toplayıcı reaktif miktarı azalmakta hem de temiz bir kromit konsantresi elde etmek mümkün olabilmektedir.

### 3.2.3. Sülfonat Flotasyonu

Aero801 ve Aero825 ile yapılan flotasyon çalışmalarında aşağıdaki deney koşullarında elde edilen en iyi sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Deney koşulları:

Aero801+Aero825	: 750g/ton+750g/ton
pH	: 3,0
Kıvam süresi	: 20dk
Katı oranı	: %60 K
Tall oil+fuel oil	: 750g/ton+750g/ton
Na <sub>2</sub> SİF <sub>6</sub>	: 200g/ton
Köpük alma süresi	: 3dk

Kromit ve serpantin Aero801 ve Aero825 ile muamele edildiğinde, çalışılan tüm pH değerlerinde her iki mineral yüzeyi de negatif işaret taşımaktadır. Sıfır yük noktasının altındaki pH'larda (Şekil 1) kromit ve ser-

Tablo 3. Aero801+Aero825 Flotasyonu Sonuçları.

ÜRÜNLER	MİKTAR, %	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	SiO <sub>2</sub> , %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %	MgO, %	DAĞILIM, % Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Konsantre	69,07	48,84	14,57	5,03	4,31	10,21	88,00
Artık	30,93	14,86	25,67	30,25	20,70	45,29	12,00
TOPLAM	100,00	38,33	18,00	12,83	9,38	21,06	100,00

pantin yüzeyi pozitif işaretlidir ve RSO<sub>4</sub><sup>=</sup> iyonları kromit ve serpantin yüzeyine fiziksel olarak adsorplanmaktadır. Sıfır yük noktasının üzerindeki pH'larda ise kromit ve serpantin yüzeyi negatif işaretlidir ve RSO<sub>4</sub><sup>=</sup> iyonları spesifik olarak kromit ve serpantin yüzeyine adsorbe olurlar ve yüzeylerin net negatif yükünün artmasına neden olurlar (Şekil 4 ve 5). Yardımcı reaktif olarak kullanılan tall oil ve fuel oil karışımı kromit yüzeyine adsorbe olarak kromitin köpük zonuna daha kolay ulaşabilmesini sağlayarak temiz bir kromit konsantresi elde edilmesini mümkün kılmaktadır.

## SONUÇLAR

1. Elazığ-Kefdağ yöresi kromitlerinin sıfır yük noktası pH=6,3'de serpantin ise pH=5,1'de oluşmaktadır.
2. H<sup>+</sup> ve OH<sup>-</sup> iyonları kromit ve serpantin için potansiyel belirleyici iyonlardır.
3. Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Mg<sup>2+</sup> iyonları kromit ve serpantin sıfır yük noktasını kendi oksitlerinin sıfır yük noktasına doğru kaydırmaktadır.
4. Sodyum oleatın varlığında kromit ve serpantin sıfır yük noktası daha asidik pH'a (pH=4,2) kaymaktadır.
5. Armac-C kullanıldığında ise kromit ve serpantin sıfır yük noktası daha bazik pH'a (pH=9,9) kaymaktadır.
6. Aero801 ve Aero825'in varlığında çalışılan tüm pH değerlerinde kromit ve serpantin negatif yüzey yüküne sahiptir.
7. Bazik pH değerlerinde RCOO<sup>-</sup> (karboksilat) iyonları kromit yüzeyine kimyasal olarak adsorplanırken, RNH<sub>3</sub><sup>+</sup> (amin) ve RSO<sub>4</sub><sup>=</sup> iyonları fiziksel olarak adsorplanmaktadır.
8. Sodyum oleat ile yapılan flotasyon deneyleri sonucunda; % 47,94 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 15,65 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 7,51 SiO<sub>2</sub>, % 6,34 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 11,97 MgO içeren kromit konsantresi % 84,99 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile elde edilirken, Armac-C ile yapılan flotasyon deneylerinde ; % 47,79 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 15,76 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 7,13 SiO<sub>2</sub>, % 5,95 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 11,89 MgO içeren kromit konsantresi % 82,51 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile elde edilmiştir. Aero801 ve Aero825 karışımı ile ya-

pılan flotasyon deneylerinde ise ; % 48,84 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 14,57 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, % 5,03 SiO<sub>2</sub>, % 4,31 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve % 10,21 MgO içeren kromit konsantresi % 88,00 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> verimi ile elde edilmiştir.

9. Kromit verimi ve tenörü açısından en iyi sonuçlar Aero801 ve Aero825 karışımının toplayıcı olarak kullanıldığı flotasyon deneylerinde elde edilmiştir.

## KAYNAKÇA

- Akhtar, S. ve Lai, E.L. (1975). Use of electrophoresis in determining the chemisorption of surfactants on mineral surfaces. *AICHE Symposium*, ss. 110-117.
- Atak, S. (1974). *Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması*. İ.T.Ü., Maden Fakültesi, İstanbul.
- Atalay, M.Ü. (1986). Surface properties of chromite and concentration of chromite gravity tailing. *Doktora Tezi*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- Boci, S., Kondi, O., Demi, G. ve Mati, S. (1996). Recycle of tailing of the chromium dressing plant of Bulqiza. *6<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium*, Kuşadası, Türkiye, ss. 107-110.
- Cases, J.M., Levitz, P., Poirier, J.E. ve Domme, V. (1985). Adsorption of ionic and nonionic surfactants on mineral solids from aqueous solutions. *Advances in Mineral Processing, Arbiter Symposium*, New Orleans, ss. 171-188.
- Castellan, W.G. (1971). *Physical Chemistry*. University of Maryland, Addison-Wesley Publishing Company.
- Çiçek, T., Cöcen, İ. ve Samanlı, S. (1998). Gravimetric concentration of fine chromite tailings. *7<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium*, İstanbul, Türkiye, ss. 731-736.
- Du Rietz, C. (1975). Chemisorption of collectors in flotation. *1<sup>st</sup> International Mineral Processing Congress*, Cagliari, ss. 4-29.
- Fuerstenau, M.C., Miller, J.D. ve Khun, M.C. (1984). *Chemistry of Flotation*. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers.

- Gence, N. (1991). Manyezitin Yüzey Özellikleri ve Reaktif Adsorplama Mekanizması. *Doktora Tezi*, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- Güney, A., Önal, G., Doğan, Z. ve Altaş, A. (1994). Flotation of fine chromite tailings using novel techniques. *5<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium*, Kapadokya, Türkiye, ss. 473-477.
- Güney, A., Önal, G. ve Çelik, M.S. (1999). A new flowsheet for processing chromite fines by column flotation and the collector adsorption mechanism. *Minerals Engineering*, 12, 1041-1049.
- Kurşun, H., Canbazoğlu, M., Aydoğan, S. ve Cebeci, Y. (1994). Beneficiation studies of Karanlıkdere chromite ore. *5<sup>th</sup> International Mineral Processing Symposium*, Kapadokya, Türkiye, ss. 77-80.
- Leja, J. (1983). *Surface chemistry of froth flotation*. Plenum Press, New York.
- Manser, R.M. (1973). *Handbook of Silicate Flotation*. Warren Spring Laboratory, Stevenage.
- Mari, S., Okomoto, H., Hara, T. ve Asa, K. (1980). An Improved Method of Determining the Zeta Potential of Mineral Particles by Micro-Electrophoresis, *Fine Particles Processing*, Vol. I. *Proceedings of the Int. Symp. on Fine Particles Processing*, Las Vegas, Nevada, ss. 632-651.
- Palmer, B. (1972). Adsorption of surfactants on chromite and chysocolla. *Doktora Tezi*, University of Utah.
- Parks, A.G. (1965). The isoelectric points of solids oxide, solid hydroxides and aqueous hydroxo-complex systems. *Chemical Review*, 65, 177-198.



**Nermin Gence**, 1957 yılında Eskişehir'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Eskişehir'de tamamladı. 1975 yılında Isparta İlköğretmen okulundan mezun oldu. 1975-1978 yıllarında Kütahya'da İlkokul öğretmenliği yaptı. 1982 yılında Anadolu Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünden mezun oldu. 1985'de Anadolu Üniversitesi Kütahya Meslek Yüksekokuluna öğretim görevlisi olarak atandı. Yüksek Lisansını 1985 yılında, Doktora derecesini 1991 yılında Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden aldı. Eylül 1991'de Yardımcı Doçent, Kasım 1999'da Doçent oldu. Halen Anadolu Üniversitesi Bozüyük Meslek Yüksekokulunda görev yapmaktadır.