

14149-

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİBANK ÜÇÖPRÜ KROM ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARINDAN

KÜÇÜK BOYUTLU KROMİTİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

T. C.
Yükseköğretim Kurulu
Dokümantasyon Merkezi

DOKTORA TEZİ

Y.MÜH. ALİ GÜNEY

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14 AĞUSTOS 1990

Tezin Savunulduğu Tarih : 23 KASIM 1990

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Güven ÖNAL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. M.Zeki DOĞAN

Prof.Dr. Ahmet TOPUZ

KASIM 1990

ÖNSÖZ

Doktora çalışmalarımın yönetimini kabul ederek, bu tezi hazırlamama olanak sağlayan ve çalışmalarımın her aşamasında yakın destek ve yardımlarını gördüğüm Sayın Hocam Prof.Dr. Güven ÖNAL'a, Sayın Prof.Dr. M.Zeki DOĞAN'a, Sayın Doç.Dr. Suna ATAK'a, Sayın Dr. Vecihi GÜRKAN'a, Sayın Yrd.Doç.Dr S.Mehmet ÇELİK'e ayrıca Jet Flotasyon aygıtının laboratuvarımıza getirilmesinde ve kurulmasında değerli katkıları bulunan Berlin Teknik Üniversitesi Öğretim Üyesi Sayın O.Prof. Dr. rer. nat Wolfgang SIMONIS'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Bu çalışmayı "Tesis Artığı Küçük Boyutlu Kromitlerin Klasik Flotasyon, Kolon Flotasyonu ve Jet Flotasyonu Yöntemleri ile Kazanılması" isimli Araştırma Projesi çerçevesinde destekleyen İ.T.Ü. Araştırma Fonu'na teşekkürlerimi arz ederim.

Çalışmalarımda yakın ilgilerini gördüğüm tüm Cevher Hazırlama Anabilim Dalı Öğretim Elemanlarına ve personeline doktora tezimin tapajını yapan Sayın Neşe SEFİL'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan Anneme ve Babama, sonsuz şükranlarımı ifade etmeyi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	
SUMMARY.....	
BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kromit Yatakları.....	3
2.2. Türkiye'de Krom Yatakları.....	4
2.3. Dünya ve Türkiye Krom Rezervleri.....	5
2.4. Dünya ve Türkiye Krom Üretimi ve Tüketimi.....	7
2.4.1. Dünya Kromit Üretimi ve Tüketimi.....	7
2.4.2. Türkiye Kromit Üretimi ve Tüketimi.....	8
2.5. Kromit Kullanım alanları ve Zenginleştirilmesi.....	9
2.5.1. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme....	10
2.5.2. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme.....	13
2.5.3. Flotasyon ile Zenginleştirme.....	15
BÖLÜM 3. ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİNE ESAS OLAN NUMUNELERİN ALINIŞI VE ÖZELLİKLERİ.....	24
3.1. Giriş.....	24
3.2. Temsili Numunelerin Alınışı.....	24
3.3. Temsili Numunenin Kimyasal ve Mineralojik Özellik- likleri.....	28
3.4. Temsili Numunenin Boyut ve Boyuta Göre Cr ₂ O ₃ Dağılımı.....	34
3.5. Manyetik Ayırma ve Sarsıntılı Masa ile Zengin- leştirme Deneyleri.....	36
BÖLÜM 4. ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARININ KARŞILAŞTIRMA- LI FLOTASYON DENEYLERİ.....	39
4.1. Giriş.....	39
4.2. Flotasyon Ön Deneyleri.....	39
4.3. Klasik Flotasyon ile Yapılan Zenginleştirme De- neyleri.....	42
4.3.1. pH'nın Saptanması.....	42
4.3.2. Toplayıcı Miktarı ve Karışım Oranının Saptan- ması.....	43
4.3.3. Na ₂ SiO ₃ Miktarı ve Kıvam Süresinin Saptanması.....	48
4.3.4. Optimum Koşullarda Yapılan Flotasyon Deneyle- ri.....	52
4.4. Kolon Flotasyonu Deneyleri.....	54
4.4.1. Pülpde Katı Oranının Saptanması.....	56
4.4.2. Toplayıcı Miktarının Saptanması.....	57
4.4.3. pH'nın Saptanması.....	63

4.4.4. Na_2SiO_3 Miktarının Saptanması.....	65
4.4.5. Optimum Koşullarda Yapılan Kolon Flotasyonu Deneyleri.....	67
4.5. Jet Flotasyonu Deneyleri.....	69
4.5.1. Pülpde Katı Oranının Saptanması.....	72
4.5.2. Toplayıcı Miktarının Saptanması.....	73
4.5.3. pH'nın Saptanması.....	75
4.5.4. Na_2SiO_3 Miktarının Saptanması.....	75
4.5.5. Optimum Koşullarda Yapılan Jet Flotasyonu Deneyleri.....	77
BÖLÜM 5. PILOT FLOTASYON DENEYLERİ.....	79
5.1. Giriş.....	79
5.2. Klasik Flotasyon Pilot Deneyleri.....	79
5.3. Kolon Flotasyonu Pilot Deneyleri.....	81
5.4. Jet Flotasyonu Pilot Deneyleri.....	86
BÖLÜM 6. KROMİTİN YÜZEY ELEKTRİK YÜKÜ DEĞİŞİMİ VE ADSORPSİYONU.....	89
6.1. Kromit Yüzey Elektrik Yükü Ölçüm Deneyleri.....	89
6.2. Mikro-Elektroforez Aygıtı.....	89
6.3. Deneylerde Kullanılan Malzeme.....	91
6.4. Yüzey Elektrik Yükü Ölçümleri.....	91
6.5. Infrared Spektrometre ile Kromit Yüzeyindeki Adsorpsiyonun İncelenmesi.....	102
BÖLÜM 7. SONUÇLAR.....	106
KAYNAKLAR.....	109
ÖZGEÇMİŞ.....	113

ÖZET

Etibank Üçköprü Krom İşletmesi Karagedik Krom Zenginleştirme Tesisinin 100 yıla yakın bir süredir stoklanan artıklarını değerlendirmek amacıyla, stoklardan karelej yapılarak belli aralıklarla sondaj numuneleri alınmış ve yapılan analizler sonucunda da stokların ortalama Cr_2O_3 içeriğinin % 12 olduğu, toplam stok miktarının da yaklaşık 800 bin ton olduğu tesbit edilmiştir.

Zenginleştirme deneylerine esas olan numune üzerinde yapılan mineralojik incelemeler sonucunda, Kromit, Serpantin grubu mineraller (Krizotil, Antigorit), Olivin, Piroksen, Manyezit mineralleri izlenmiştir. Numune üzerinde yapılan boyut analizleri sonucunda da 0.1 mm üzerinde % 43.8 oranında, % 7.95 Cr_2O_3 içerikli malzemenin % 22.5 krom dağılımına sahip olduğu, 0.1 mm boyutu altında ise % 56.2 oranında, % 21.23 Cr_2O_3 içerikli malzemenin, % 77.5 krom dağılımına sahip olduğu tesbit edilmiştir.

Zenginleştirme deneyleri 0.1 mm altındaki boyut grubu malzeme ile yapılmıştır. Deneylerde Sarsıntılı Masa, Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma ve Flotasyon ile zenginleştirme yöntemleri kullanılmıştır. Yaş Manyetik Ayırma ve Sarsıntılı Masa deneyleri sonucunda, % 39 ve % 52 Cr_2O_3 konsantreler, % 23 ve % 30 krom verimi ile elde edilmiş, % 7 ve % 15 Cr_2O_3 içerikli malzeme ise artık olarak atılmıştır.

Flotasyonla zenginleştirme deneyleri, klasik flotasyon yönteminin yanı sıra ince boyuttaki cevherlerin zenginleştirilmesinde yeni teknikler olan Kolon ve Jet Flotasyon yöntemleri kullanılarak yapılmış, ve her üç flotasyon sisteminin karşılaştırılması Dünya'da ilk kez bu tez kapsamında yer almıştır.

Her üç flotasyon yönteminin laboratuvar ölçeğindeki modelleri üzerinde saptanan optimum flotasyon koşulları, daha sonra pilot ölçekteki sistemler üzerinde denenerek, zenginleştirme özellikleri tesbit edilmiştir.

Pilot ölçekli Klasik, Kolon ve Jet Flotasyon devreleri ile yapılan deneyler sonucunda, Klasik Flotasyon deneyinde; % 32.8 oranında, % 41.56 Cr_2O_3 konsantre, % 61.6 krom kazanma verimi ile elde edilmiş- Kolon Flotasyonunda % 18.5 oranında, % 46.18 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 40 krom kazanma verimi ile Jet Flotasyonunda ise, % 29.6 oranında, % 43.09 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 64.2 krom kazanma verimi ile elde edilmiştir.

Yapılan pilot ölçekli flotasyon deneyleri sonucunda, Jet Flotasyon yönteminin, Klasik ve Kolon Flotasyon yöntemine oranla, gerek flotasyon kapasitesi, gerek verim açısından üstün olduğu, Kolon Flotasyon yönteminin ise, diğer iki yönetime oranla daha selektif olduğu saptanmıştır.

SUMMARY

CONCENTRATION OF FINE CHROMITE TAILINGS FROM ETİBANK ÜÇKÖPRÜ GRAVITY CONCENTRATION PLANT

Chromium was discovered in 1797 by Louis Vauguelin, a French chemist. Although it occurs in many minerals, it can be only be extracted economically from chromite, which belongs to the spinel group of minerals.

Chromite deposits occur as stratiform and podiform (Alpine). Stratiform deposits have a homogeneous structure and uniform chemical composition compared with podiform. The Cr_2O_3 content is low (30 to 40 %) and iron oxide content is high (25 to 30 %). Alpine chromite deposits are observed as lenticular disseminated ore with transitions to banded ore. They contain a lot of Cr_2O_3 (55 %) and little iron oxide (15 to 20 %).

Chromite is used in four different fields based on their differing properties; as metallurgic chromite: Cr_2O_3 min 46%, Cr/Fe ratio min.2, as chemical chromite: Cr_2O_3 up to 46 %, Cr/Fe ratio min.1.5 to 2.1, as refractory chromite: $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ min.60 %, Al_2O_3 min.20 % and as casting sand: Cr_2O_3 min.14 %, Fe 0 max.26 %, SiO_2 max.4 %, CaO max. 0.5 %.

Turkey is one of the leading countries in the world in the production of chromite, also in chromite reserve with a total of 137.1 million tonnes. Turkey occupies the 5 th place in the world. Chromite deposits in Turkey are of Alpine (Podiform) type and generally occur in the shape of lenses.

Mineralization can be observed as disseminated, banded leopard and massive forms. The production in Turkey was 960.000 tonnes in 1988, the distribution being 786.000 tonnes of lump ore with a grade of 36 % Cr_2O_3 and further 180.000 tonnes of chromite concentrate. In addition to 48 % of Cr_2O_3 , 60.000 tonnes of ferrochrome, and 50.000 tonnes of chrome chemicals were produced 80 % of the ore production was exported and the remaining quantity was consumed domestically. In three years time, the lump ore production is planned to reach a figure of 1 million tonnes per annum, 350.000 tonnes for concentrate and 150.000 tonnes for ferrochrome.

In Turkey there are 19 chromite concentration plants where gravity concentration methods are applied (Stripa), Jig, Humphreys, Spirals, Shaking Tables and Magnetic Separations.

The coarse ore processing in chromite plants is accomplished through hand picking, stripa or jigs. In the fine sizes of minus 1 mm, shaking tables, spirals or magnetic separation are used, whereas

fractions finer than 0.1 mm are treated by flotation and wet magnetic separation.

The tailings in Etibank Üçköprü Chromite Concentration plant in Karagedik have been stockpiled for 100 years. These stockpiles are drilled at certain intervals and samples have been taken to determine the Cr_2O_3 grade.

The Cr_2O_3 content in the first stockpile was found to be 9.47 % while the second stockpile assayed 13.11 %. The amount of chromite in the stockpiles is about 1 millions tonnes.

The samples used in to investigate the possibility of upgrading chromite samples from the second stockpile assayed as 15.15 % Cr_2O_3 , 7.50 % FeO , 6.05 % Al_2O_3 , 28.30 % SiO_2 , 31.50 MgO and 0.3 % CaO .

X-ray diffraction and X-ray fluorescence methods were applied to determine mineral composition of concentrate, middlings, tailings. The mineralogical characterization conducted on samples revealed that chromite occurs in serpentinite group minerals (chrysotile, antigorite), olivine, pyroxene, magnesite, tremolite, talc and opal.

The results of the screen analysis on the second stockpile samples, showed that the amount of chromite on plus 0.1 mm size range was found to be 43.8 % by weight with 22.5 % Cr_2O_3 distribution and assayed 7.95 % Cr_2O_3 . On the other hand, the amount, Cr_2O_3 distribution and content on minus 0.1 mm were found to be 56.2 %, 77.5 % and 21.23 % respectively. In the minus 0.1 mm particle size range, the sub-sieve material (-0.038 mm) amounted to 55.7 % with 24.25 % Cr_2O_3 content.

High intensity wet magnetic separation and slime shaking table were used on minus 0.1 mm size range. The concentrates assayed 39 % and 52 % Cr_2O_3 with 23 % and 30 % Cr_2O_3 recoveries respectively. The tailings were determined as 7 % and 15 % Cr_2O_3 with recoveries of 10 % 36 % respectively.

As the treatment of fines below 0.1 mm creates problems in gravity concentration processes, preliminary flotation tests were conducted to see the possibility of utilizing the flotation process in the fine size range. Various collectors and modifiers as a function of pH were tested to achieve the optimum conditions.

The best results were obtained when a mixture of collectors, F-3635 + SM-15, F-443 + Unitol-1090, OMC-377 + SM-15 was used in flotation. The performance data in terms of reagent consumption and selectivity demonstrated that the collector mixture, such as OMC-377 + SM-15 yielded the optimum result, both being modified fatty acids.

Zeta potential measurement on pure chromite samples in the absence and presence at various cations were performed in order to identify the mechanisms involved in the flotation of chromite. The effect of Ca^{2+} , Mg^{2+} , Al^{3+} , Cr^{3+} cations on the zero point of charge of chromite was determined at different concentrations.

The adsorption density of OMC-377 and SM-15 collectors used in the flotation test were determined by means of infrared spectroscopy.

The conventional flotation tests with OMC-377 + SM-15 mixture were performed as a function of pH, collector and Na_2SiO_3 concentrations and conditioning time. The systematic flotation tests on the chromite showed that pulp density; 20 %, pH: 10.3 - 11.0, Na_2SiO_3 : 4000 gr/t, OMC-377 + SM-15: 1200 gr/t and OMC-377/SM-15: 0.7: were optimum.

The conventional flotation tests carried out at the optimum conditions produced a concentrate containing 41.58 % Cr_2O_3 with 20.5 % weight and 42 % Cr_2O_3 recovery and the tailings with 13.11 % Cr_2O_3 content and 27.5 % recovery. Middlings with 16.09 % Cr_2O_3 content were also obtained at the amount of 38.5 %.

Conventional flotation cells are sometimes not ideal for separation of valuable minerals from gangues because of turbulence and a lack of bubble size control, especially with ultrafine sized materials.

As an alternative, column flotation has been introduced intermittently since the early 1960's, most of the column flotation work has been done on coal, iron ore, graphite, glass beads, copper-molybdenum ore. Column flotation provides quiescent separation conditions because of the lack of turbulence caused by mechanical impellers and allows for countercurrent flow of bubbles and pulp with addition of washwater in the froth to inhibit short circuiting of feed material to the concentrate in continuous operation.

Column flotation is more energy efficient, requires less space, and can be automated, thus providing tight process control. Bubble size is a known factor in flotation efficiency because as bubble size decreases, the surface area per unit volume increases. Therefore, more surface area is available for attachment at any given air volume. Bubbles cause a wake as they rise and draw unattached material with them. Thus, the larger the bubble, the faster the rise rate and the greater the amount of material drawn up with the bubble. Bubble-particle hydrodynamics suggest that fine particles may never collide with large bubbles because the fine particles, being low in mass, cannot deviate from the stream line and are swept away as the bubble passes.

Systematic column flotation experiments using laboratory type column flotation cell were performed. In these tests, OMC-377 + SM-15 collector mixture was used and the pulp density, pH, the concentration of OMC-377 and SM-15, the amount of Na_2SiO_3 were studied. The best column flotation conditions were determined as pulp density: 10 %, pH: 10-11, Na_2SiO_3 : 3000 gr/t, OMC-377 + SM-15: 1200 gr/t, OMC-377/SM-15: 0.2.

At the optimum conditions, the column flotation tests produced a concentrate containing 48 % Cr_2O_3 with the amount of 16.7 % by weight and a chrome recovery of 40.5 %, tailings with the amount of 51.6 % by weight contained 8.09 % Cr_2O_3 and distribution of 20.8 %. The column flotation test resulted in middlings containing 24.50 % Cr_2O_3 with the amount of 31.7 % by weight.

Flotation is commonly applied for cleaning the slurries. However, with increased proportions of particles in the size range of approximately -0.020 mm the selectivity of this cleaning process decreases when the conventional flotation method is utilized. In the Institut

für Chemieingenieurtechnik of the Technical University of Berlin a new flotation apparatus has been developed based on the free jet principle and is able to produce good cleaning results in the critical range of particle sizes below 0.020 mm.

Jet Flotation apparatus consists of two zones; one of the zones gives maximum turbulence. Generation of air bubbles and loading same with solid particles, in the second zone is the zone of quietened flow, laminar buoyancy of loaded bubbles to the surface of the pulp. In the jet flotation, the conditioned feed pulp is pumped through the nozzle pipe. Upon effluxing from a nozzle, the air is entrained by the feed jet and beaten into the pulp when the feed jet impinges upon the surface of the pulp.

This causes a state of strong turbulence in the encasing tube, thus offering favourable conditions for contact between the air bubbles and the solid particles, which is of primary importance for attachment and adhesion of solid to air bubbles. The penetration depth of the water-air-jet into the pulp depends on the initial pressure exerted by the jet on the pulp surface. The immersion depth of the encasing tube can be so adjusted so as to attain outside of the tube a laminar flow that allows an undisturbed buoyancy of the loaded bubbles to the pulp surface.

The operating conditions of the jet flotation process are as follow: Injection pressure: 0.8-1 kg/cm², penetration depth of injector: 0.3 m, immersion depth of the encasing tube: 0.2 m. Other conditions such as pulp density, proportion of the OMC-377 and SM-15, pH, the amount of Na₂SiO₃ were systematically studied. The optimum conditions of the jet flotation were determined as: pulp density: 10 %, pH: 11.0, Na₂SiO₃ : 4000 gr/t, OMC-377 + SM-15: 1200 gr/ton, OMC-377/SM-15: 0.2.

The optimum jet flotation conditions produced a concentrate containing 43.56 % Cr₂O₃ with the amount of 8.0 % by weight and 17.3 % chrome recovery, tailings contained 9.18 % Cr₂O₃ with the amount of 34.6 % by weight and 15.8 % distribution. The jet flotation tests, yielded a middling containing 23.32 % Cr₂O₃ with the amount of 57.4 % by weight.

The conventional pilot flotation tests were carried out at the optimum flotation conditions obtained from systematic conventional flotation test, a chromite concentrate containing 41.56 % Cr₂O₃ at the amount of 32.8 %, by which 61.6 % chrome recovery was obtained and tailings contained 12.62 % Cr₂O₃ at the amount of 67.2 % by weight with a distribution of 34.8 %.

Three pilot plant size columns were designed and constructed using plexiglass with the dimensions of 13 x 13 cm cross-section and 2.5 m high. The columns were composed of five sections. Each section has a length of 30 cm. The bottom section is used for bubble generation 3 columns were connected in series. Column parameters such as feed injection, tailings removal and recirculation, air and wash water injection, column height and bubble type could also be varied. The clear plexiglass construction allowed for visual monitoring.

The column pilot flotation tests carried out at the optimum conditions yielded a chromite concentrate containing 46.18 % Cr_2O_3 at the amount of 18.5 % by weight with 40 % chromite recovery and tailings contained 15.75 % Cr_2O_3 with the amount of 81.5 % by weight and a distribution of 60 %.

The jet flotation pilot tests carried out at the best flotation conditions from a series of jet flotation tests on the laboratory scale, resulted in chromite concentrate containing 43.09 % Cr_2O_3 with the amount of 29.6 % by weight and 64.2 % chromite recovery. The tailings had 10.10 % Cr_2O_3 content in the amount of 70.4 % by weight with a 35.8 % distribution.

In this thesis laboratory and pilot plant scale flotation tests on fine size chromite using conventional, column and jet flotation methods have been compared. The results have shown that the performance of jet flotation method is more favorable than those of conventional and column flotation from the point of recovery and capacity. Although the column flotation yielded concentrates (% 46.18 % Cr_2O_3) higher than those obtained by the other two methods. On the other hand, the recovery was slightly lower than the ones with conventional and jet flotation.

BÖLÜM 1. GİRİŞ VE AMAÇ

Krom ilk kez Fransız kimyacı Louis Vaguelin tarafından 1797 yılında bulunmuştur. Modern endüstrinin en değerli elementlerinden olan krom; metalurji, kimya ve refrakter endüstrisinde en geniş biçimde kullanılmaktadır. Krom element olarak çok çeşitli minerallerde bulunmasına rağmen, ticari olarak elde edildiği tek kaynak "Kromit" dir. 1797'den 1827 yılına kadar Ural dağlarındaki kromit yatakları, Dünyanın tek krom kaynağı olarak kalmış ve elde edilen krom, sadece kimyasal amaçlar için kullanılmıştır. Daha sonraları 1827'de Mergland, Pennsylvania ve Virginia ve 1860 yılında da Türkiye'de krom yatakları bulunmuştur [1] .

Türkiye'de, kromit yataklarının bulunduğu 1860 yılından, Cumhuriyetin kurulduğu 1923 yılına kadar, kromit üretimi tamamen yabancı şirketler tarafından yapılmıştır. Cumhuriyetin ilanından sonra bazı küçük Türk özel sektör yatırımları olmuştada esas olarak krom madenciliğindeki büyüme, 1935 yılında Etibank'ın ve M.T.A.'nın kurulmasından sonra başlamıştır [2] .

İlk krom madeninin bulunduğu 1860 yılından bu yana Türkiye'de krom madenciliği ve buna paralel olarak krom zenginleştirme tesislerinin faaliyeti büyüyerek devam etmektedir. Dünya krom fiyatlarındaki karakteristik değişkenliğe rağmen, Türkiye'deki krom madenciliği canlılığını sürdürmektedir. Zaman zaman kromit fiyatlarındaki astronomik artışlar, kısa sürede kaliteli krom üretme ve satma eğilimini gündeme getirirken, gerek ocaktaki üretim sistemi gerekse zenginleştirme tesislerindeki randıman ikinci planda kalabilmekte ve değerlendirilmesi gereken bir ürün, artık olarak atılabilmektedir.

Nitekim Etibank Üçköprü Krom Zenginleştirme Tesisi 1935 yılına kadar Fransızlarca işletilmiş, daha sonra Etibank tarafından devralınmıştır. Krom Zenginleştirme Tesisinin kuruluş tarihi tam olarak bilinmemesine rağmen, yaklaşık 100 yıldır faaliyette olduğu tahmin edilmektedir.

0 tarihten bu yana, yaklaşık 1 Milyon tonluk zenginleştirme tesisi artığı stoklanmıştır. Artık stok sahalarının, ortalama Cr_2O_3 içeriği % 12'dir ve tamamen görünür bir rezerv olup, hiç bir madencilik riski bulunmamaktadır.

Küçük boyutlu kromitlerin zenginleştirilmesinde genel olarak özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri kullanılmaktadır. Ancak küçük boyuttaki (-0.1 mm) kromitin kazanılması bu yöntemlerle pek mümkün olmamaktadır. Etibank Üçköprü Kromit Zenginleştirme Tesisi artık numunesi üzerinde yapılan araştırmalarda malzemenin % 56'sının -0.1 mm altında olduğu ve % 21.23 Cr_2O_3 içeriği ile % 78'lik krom dağılımına sahip olduğu tesbit edilmiştir. 0.1 mm altındaki malzemede 0.038 mm'den küçük tanelerin oranı % 72'dir.

Oldukça küçük boyutlu bu artığın zenginleştirilmesinde uygun eşikli şlam masaları, yüksek alan şiddetli manyetik ayırma, Jet flotasyonu, Kolon flotasyonu ve Klasik flotasyon yöntemleri kullanılmıştır.

Araştırmada özellikle flotasyon yönteminin, Kolon flotasyonu, Jet flotasyonu, Klasik flotasyon olarak, selektivite ve metal kazanma verimi açısından karşılaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca her bir flotasyon yöntemi, elde edilen optimum koşullarda, pilot ölçekte denenmiştir.

Son bölümde ise, kromit flotasyonunda etkin olan iyonlar ile çeşitli toplayıcıların kromit zeta potansiyeli üzerindeki etkilerinin saptanması ve kullanılan toplayıcıların kromit yüzeyi üzerindeki adsorpsiyon özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kromit Yatakları:

Yeryüzünde çok sayıdaki krom yatakları ayrıntılı bir şekilde incelendiğinde, kromitin peridotitler içinde kristalleşmenin başlangıç aşamasında, farklılaşma sonucunda ayrılarak kristalleştiği saptanmıştır. Ancak kromitin sınırlı oranda hidrotermal olarak oluşabileceği konusundaki tartışmalar halen süregelmektedir. Öte yandan kromitin içinde olduğu peridotitlerin oluşumları, yerleşmesi, serpantinleşmesi ve çeşitli kromit tiplerinin genel oluşumunu düzenleyen etmenlerin neler olduğu konusundaki tartışmalarda devam etmektedir.

Kromit minerallerinin bileşimi birbirinden oldukça farklılıklar göstermektedir. Ancak genel olarak $R^2 O R_2^3 O_3$ formülü ile ifade edilebilirler. Burada;

R^2 : Mg, Fe

R^3 : Cr, Al, Fe dir.

Kromit mineralleri az miktarda Pt, Ni, Ca, Zn, Mn, V, Ti'da içerebilmektedir.

Krom yatakları yapısal, minerolojik ve kimyasal özellikleri yönünden başlıca iki tipe ayrılmaktadır.

- Stratiform yataklar
- Podiform yataklar

Stratiform Yataklar (Tabakalı) : Stratiform yatakların en belirgin örnekleri Busweld (Güney Afrika), Stillwater (Montana-Amerika), Great Dyke (Rodezya) krom yataklarıdır. Bunlar gerek kromitlerde gerekse kromitlerin içinde bulunduğu kayaçlarda görülen gelişmiş bantlaşmalarla belirgindirler, bu nedenle de tortul kayaçlara benzerler.

Örneğin Busweld masifi 452 km uzunluğunda ve 246 km genişliğinde büyük bir rezervdir, kromit kuşakları piroksenit, norit ve peridotitlere bağlıdır. Güney Rodezya'daki Great Dyke ise 500 km uzunluğunda, 3-12 km genişliğindedir. Kayaçlar norit, piroksenit ve serpantinleşmiş peridotitlerden ibarettir. Great Dyke içindeki kromit yatakları % 45-50 Cr_2O_3 içeriklidirler ve 100 m derinlik ve 100 km uzunluğa kadar devamlıdır [3] .

Podiform Yataklar (Mercek "Alpin" veya düzensiz şekilli): Podiform yataklar orojen kuşaklarda peridotitler içersinde mercek veya düzensiz şekilli gövdeler halinde bulunur. Genellikle ultrabazik masifin tavan ve tabanında rastlanan cevherleşme, tavan bölümünde refrakter, taban bölümünde ise çoğu kez metalurjik kromit karakterlidir. Podiform krom yataklarının rezervleri stratiform yataklara oranla daha küçüktür. Bir milyon tonun üzerinde cevherin üretildiği tek krom merceği, sayısı yeryüzünde çok azdır. Yurdumuzda Gölalan (Guleman) krom yatağı ve Filipinler'deki Teibaghi krom yatakları belli başlı örneklerindendir.

2.2. Türkiye'de Kromit Yatakları

Türkiye'de ultrabazik kayaçlar, ufak kütleler, olușuklar biçiminde geniş alanlar kaplarlar. Bu nedenle Türkiye kromit yönünden varlıklı ülkeler arasındadır. Bantlı yapı gösteren bazı krom yatakları Stratiform yatak olarak nitelendirilsede gerçek stratiform tanımlamasına uyan krom yatağı Türkiye'de bulunmamaktadır. Jeolojik ortam dikkate alındığında bulunmasında beklenmemektedir [3, 4] .

Alpin tipine giren Türkiye ultrabazikleri dünit, harzburgit, Lertzolit bileşimindedirler ve genellikle serpantinleşmişlerdir. İki tür serpantinleşme izlenmektedir.

- a) Krizotil
- b) Antigorit

Türkiye'deki Alpin tipi (Podiform) krom yatakları düzensiz şekilli (mercek, bant, şekilsiz) ve karmaşık yapıları yataklardır. Bant

ve merceklerin boyutları stratiform tipe oranla çok değişiktir. Kalınlığının 50 m'ye devamlılığının da 150 m'ye ulaştığı yataklar biliniyorsa da, genelde bu boyutlar birkaç metre düzeyindedir.

Türkiye'nin birçok bölgelerinde Peridotitler vardır. Bunlardan ekonomik değerinde kromit içerenleri 14 bölgeye ayırmak mümkündür.

- Elazığ Bölgesi : Guleman, Seridağ yatakları
- Hatay Gaziantep Böl. : İskenderun, İslahiye yatakları
- Seyhan İçel Böl. : Pozantı, Karsantı, Musalı yatakları, Mersin
- Antalya Bölgesi : Tekirova, Atbüke yatakları
- Muğla Bölgesi : Fethiye Köyceğiz yatakları
- Isparta-Burdur Böl. : Acıpayam, Yeşilova
- Kütahya Bölgesi : Dağardı, Bozbelen yatakları
- Bursa Bölgesi : Orhaneli, Çatak, Harmancık yatakları
- Eskişehir Bölgesi : Mihalicçık, Kavak, Sepetçi, Başören yatakları
- Çankırı Bölgesi : Çankırı, Kalecik yatakları
- Kastamonu Bölgesi : Taşköprü yatakları
- Sivas Bölgesi : Kangal, Divriği yatakları
- Erzincan-Erzurum Böl. : Kopdağı, Aşkale yatakları
- Kayseri Bölgesi : Pınarbaşı, Tomarza

2.3. Dünya ve Türkiye Kromit Rezervleri

Türkiye'nin 1988 yılı itibariyle toplam kromit rezervi 137.1 milyon ton'dur. Adana-Karsantı bölgesinde bulunan düşük tenörlü kromit rezervleri; Türkiye'nin bilinen toplam kromit rezervini önemli ölçüde arttırmıştır. Bölgelere göre toplam kromit rezervleri ve ortalama % Cr_2O_3 içerikleri Çizelge 2-1'de verilmektedir [5] .

Çizelge 2-1 Türkiye'nin Toplam Kromit Rezervi ve Kromit İçerikleri [5] .

BÖLGELER	TOPLAM REZERV (X 10 ⁶ ton)	iÇERİK % Cr ₂ O ₃
Elazığ-Guleman Bölgesi	21.6	33-48
Bursa-Eskişehir Bölgesi	4.0	30-48
Adana-Kayseri Bölgesi	2.5	12-45
Sivas-Erzincan Bölgesi	2.0	30-48
İskenderun-Malatya Bölgesi	1.0	40-50
Fethiye-Denizli Bölgesi	1.0	35-40
Adana-Karsantı	105.0	6-10
TOPLAM	137.1	

Türkiye'nin toplam rezerv içindeki görünür rezerv oranı % 22'dir. Toplam rezerv açısından Türkiye Dünya sıralamasında, % 2.7 rezerv payı ile 5. sırada bulunmaktadır. Çizelge 2-2'de Dünya'nın önde gelen kromit üretici ülkelerin toplam kromit rezervleri verilmektedir [5,6] .

Çizelge 2-2 Dünya Toplam Kromit Rezervleri ve Ülkelere Göre Dağılımları [5,6] .

ÜLKELER	KROM CEVHERİ (Milyon ton)
GÜNEY AFRİKA	3171
ZİMBABWE	1112
S.S.C.B.	347
FİNLANDİYA	150
TÜRKİYE	137
ARNAVUTLUK	15
HİNDİSTAN	14
BREZİLYA	12
MADAGASKAR	10
FİLİPİNLER	7
DİĞERLERİ	13
TOPLAM	4988

2.4. Dünya ve Türkiye Krom Üretimi ve Tüketimi:

2.4.1. Dünya Kromit Üretimi ve Tüketimi:

Dünya kromit tüketimi 1984'de 9 Milyon ton'dan, 1985'de 10 Milyon ton'a yaklaştı. Aynı yıllar arasında Ferrokrom üretimi ise 3.155.000 ton'dan 3.160.000 ton'a yükselmiştir. Avustralya, Brezilya, Pakistan ve Türkiye yeni buldukları kaynaklarla kromit rezerv potansiyellerini arttırdıkları için, Finlandiya ve Güney Afrika gerek paslanmaz çelik gerekse ferrokrom üretiminde Dünya'daki önemli konumlarını korumuşlardır. 1985 yılı Dünya kromit üretimi Çizelge 2-3'de verilmiştir.

Dünya kromit üretiminin büyük bir kısmı endüstrileşmiş batılı ülkeler, özellikle A.B.D., Avrupa ülkeleri ve Japonya tarafından tüketilmektedir. A.B.D.'nin 1985 yılındaki Kromit Tüketimi 600.000 ton civarındadır. Japonya ise 630.000 ton'luk Ferrokrom tesislerinin tüm hammaddesini dışalım yoluyla sağlamaktadır [6] .

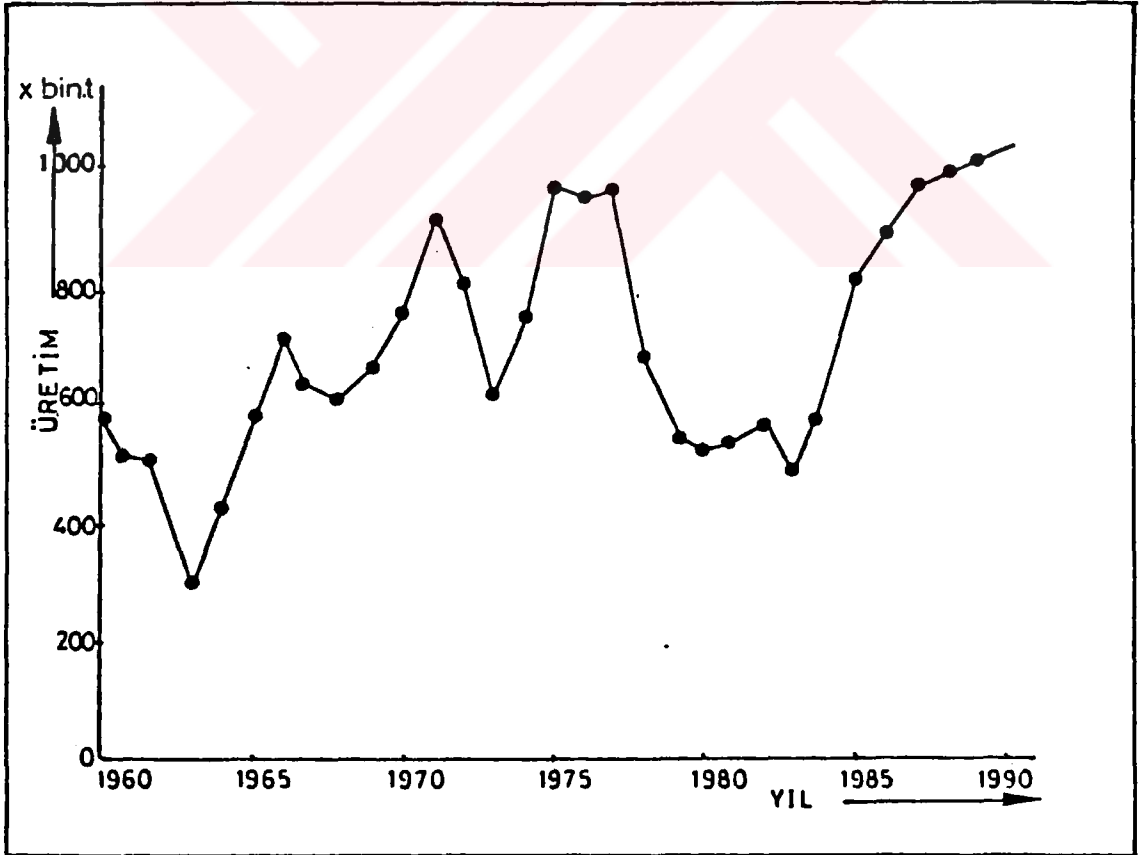
Çizelge 2-3 Ülkelere Göre Kromit Üretimi
[6] .

ÜLKELER	KROMİT ÜRETİMİ (X bin ton)
GÜNEY AFRİKA	3340
S.S.C.B.	2940
ARNAVUTLUK	824
HİNDİSTAN	553
ZİMBABWE	500
FİNLANDİYA	453
TÜRKİYE	450
BREZİLYE	274
FİLİPİNLER	257
DİĞERLERİ	341
TOPLAM	9932

2.4.2. Türkiye Kromit Üretimi ve Tüketimi

Türkiye krom cevheri üretimi yıllara göre, kromit satış fiyatlarına bağlı olarak değişmektedir. 1960'lı yılların başına kadar, yüksek düzeyde seyreden üretim 1963 yılında (örneğin S.S.C.B. yaptığı damping sonucu) ani bir düşüş göstermiştir. Daha sonra yükselen fiyatlara paralel olarak krom üretiminde artış görülmektedir. Şekil 2-1'de 1960 yılından itibaren yıllık kromit üretimleri verilmektedir. Çizelge 2-4'de ise kromit ve ferrokrom üretimi ile dışsatımı verilmektedir.

Türkiye kromit tüketimi başlıca 3 sektörde gerçekleşmektedir. Bunlar ferrokrom tesisleri, refrakter malzeme tesisleri ile krom kimyasalları tesisleridir. İç piyasaya yönelik kromit tüketimi 150-200 bin ton/yıl civarındadır [7,8,9] .



Şekil 2-1 Yıllara Göre Türkiye Kromit Üretimi [9].

Çizelge 2-4 1988 Yılı Kromit ve Ferrochrom Üretimi [9].

ÜRÜNLER	ÜRETİM (Ton)	DIŞSATIM (Ton)
Kromit Konsantre	180.000	132.044
Parça Cevher	786.000	624.750
Ferrochrom (Yüksek C)	10.000	8.500
Ferrochrom (Düşük C)	50.000	38.500

2.5. Kromit Kullanım Alanları ve Zenginleştirilmesi

Kromit minerali esas olarak üç alanda hammadde olarak kullanılmaktadır. Ancak dördüncü kullanım alanı olarak döküm kumu alanı da bunlara eklenmiştir. Kullanım alanları Metalurji, Kimya, Refrakter ve son olarak döküm kumu olarak sayılabilir.

Metalurji endüstrisinde (ferrochrom ve krom metali eldesinde) % 32 ile % 48 Cr_2O_3 içeren parça cevherler kullanılmaktadır.

Kimya Endüstrisinde ise % 40-46 Cr_2O_3 içeren ince taneli konsantre kullanılmaktadır. Kimya alanında kromitin en çok kullanıldığı endüstri dalı krom boyaları endüstrisidir.

Refrakter endüstrisinde krom, ateşe dayanıklı tuğla ve harç yapımında kullanılmaktadır. Refrakter endüstrisinde kullanılacak kromitin SiO_2 oranı önemli olup maksimum % 6 SiO_2 oranını geçmemesi gerekmektedir. Döküm kumu endüstrisinde kullanılan kromitlerin uygun bir boyut dağılımına sahip olması ve Cr_2O_3 içeriğinin minimum % 44, Fe_2O_3 içeriğinin maksimum % 26, SiO_2 içeriğinin maksimum % 4 olması gerekmektedir [10].

Çizelge 2-5'de kromit kullanım alanları ve bu alanlarda kullanılacak kromitlerin özellikleri verilmektedir.

Çizelge 2-5 Kromit Kullanım Alanları ve Kullanım Alanına Göre Kromitin Özellikleri [10].

Kullanım Alanı	Cr/Fe	Cr ₂ O ₃ %	SiO ₂ %	Cr ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ %	S %	P %	Fe %	CaO %
Metalurjik Cevher	3:1 (min)	48.0 (min)	8.0 (max)	-	0.085	0.04 (max)	-	-
Kimyasal Cevher	1.6:1.0	44.0 (min)	5.0 (max)	-	-	-	-	-
Refrakter	-	31.0 (min)	6.0 (max)	58.0 (min)	-	-	12.0 (max)	1.0 (max)
Döküm Kumu	-	44 (min)	4.0 (max)	-	-	-	18 (max)	0.5 (max)

% 32-34'ün üzerinde Cr₂O₃ içeren parça cevherlerde kullanım alanı bulabilmektedir. % 32'den düşük Cr₂O₃ içeren cevherin değerlendirilmesi ve endüstrinin istediği bileşime getirilmesi için zenginleştirilmesi gerekmektedir.

Kromit başlıca üç yöntem kullanılarak zenginleştirilmektedir. Bunlar;

- Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme
- Manyetik ayırma ile zenginleştirme
- Flotasyon yöntemi ile zenginleştirme

2.5.1. Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme

Mineraller arasındaki özgül ağırlık farkı bu zenginleştirme yönteminin esasını teşkil etmektedir. Kromit mineralinin özgül ağırlığı 4-4.5 gr/cm³, kromitle birlikte olan serpantin, olivin, fayalit, forsterit, manyezit minerallerinin ortalama özgül ağırlıkları ise, 2.7-2.8 gr/cm³ arasında değişmektedir.

Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yönteminde, mineraller arası özgül ağırlık farkının yanı sıra ikinci önemli etmen, zenginleştirme boyutudur. Kromit ve gang mineralleri arasındaki özgül ağırlık

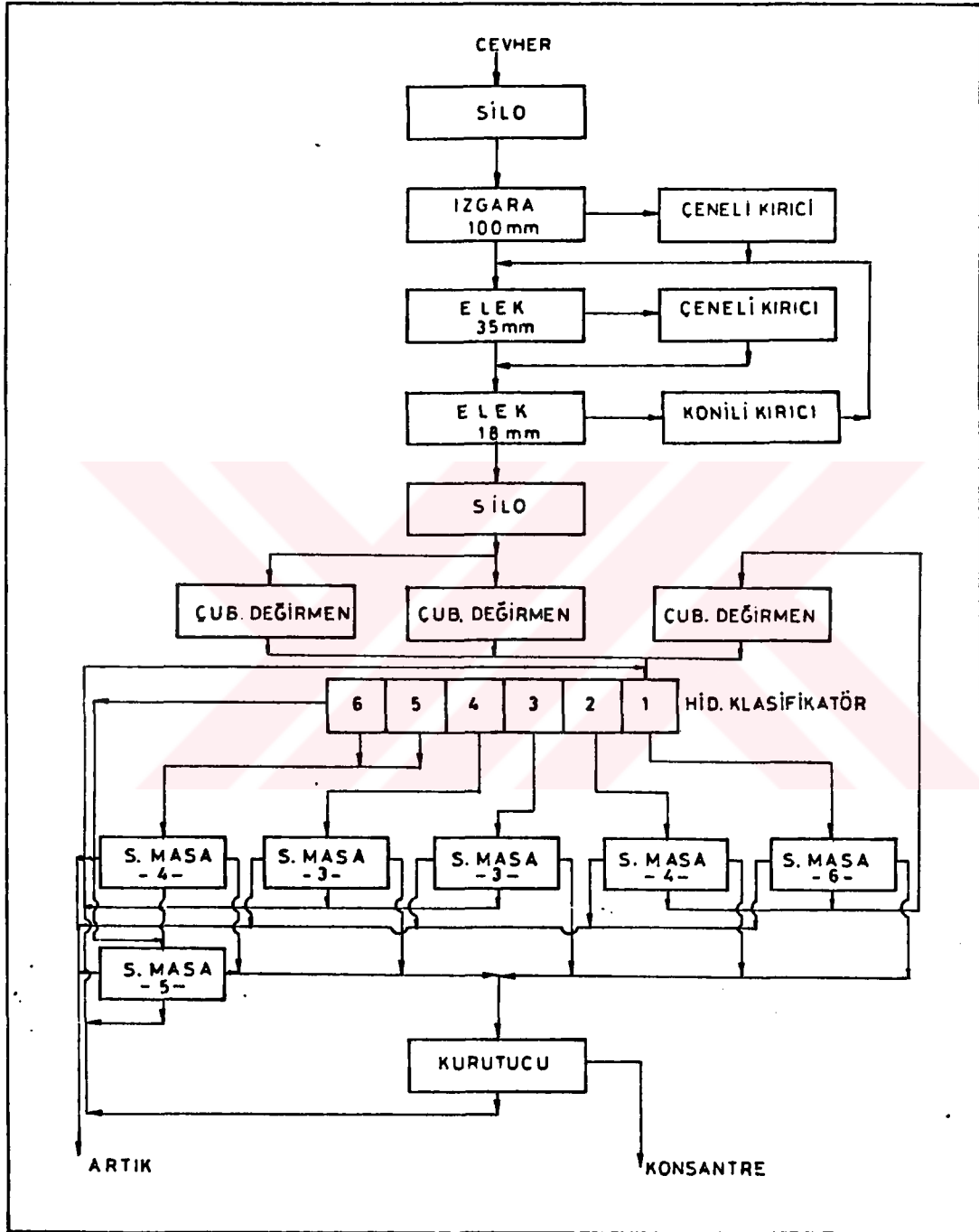
farkının oldukça yakın olması zenginleştirme kriterinin küçülmesine yol açmaktadır. Zenginleştirme kriteri kromit ve gang minerallerinin oranına bağlı olarak 1.15-1.75 arasında değişmektedir.

Özgül ağırlık farkına göre kromitin zenginleştirilmesinde karşılaşılan en büyük güçlük, 0.1 mm'den küçük boyutlu tanelerin verimli bir şekilde zenginleştirilememesidir. Zenginleştirmenin verimli olmasının tek nedeni kromit ve gang mineralleri arasındaki özgül ağırlık farkının azlığından kaynaklanan düşük zenginleştirme kriteridir.

Özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yöntemleri ve yaklaşık boyut kademeleri Çizelge-2-6'da verilmektedir. Şekil 2-2'de ise özgül ağırlık farkına dayalı zenginleştirme yapan Orhaneli Krom Zenginleştirme Tesisi akım şeması verilmektedir.

Çizelge 2-6 Özgül Ağırlık Farkına Dayalı Zenginleştirme Yöntemleri ve Yaklaşık Uygulama Boyutları

Ayırma Yöntemi ve Aygıtı	Etkin Tane Boyutu (mm)
<u>Ağır Ortam:</u>	
Statik Tip	2.0 - 50.0
Dinamik Tip	0.3 - 20.0
Jig	0.1 - 20.0
Reicher/Vickers Spiralleri	0.07- 1.0
Sarsıntılı Masalar	0.04- 1.0
Yıkama Olukları	0.2 - 2.0
Bartles Mozley Masası	0.005- 0.1
GEC Çift Yüzeyli Masa	0.02- 0.1
<u>Santrifüj Ayırıcılar:</u>	
Yatay Tip	0.005- 0.1
Düşey Tip	- 4.0



Şekil 2-2 Özgül Ağırlık Farkına Göre Zenginleştirme Yapan Orhaneli Krom Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması

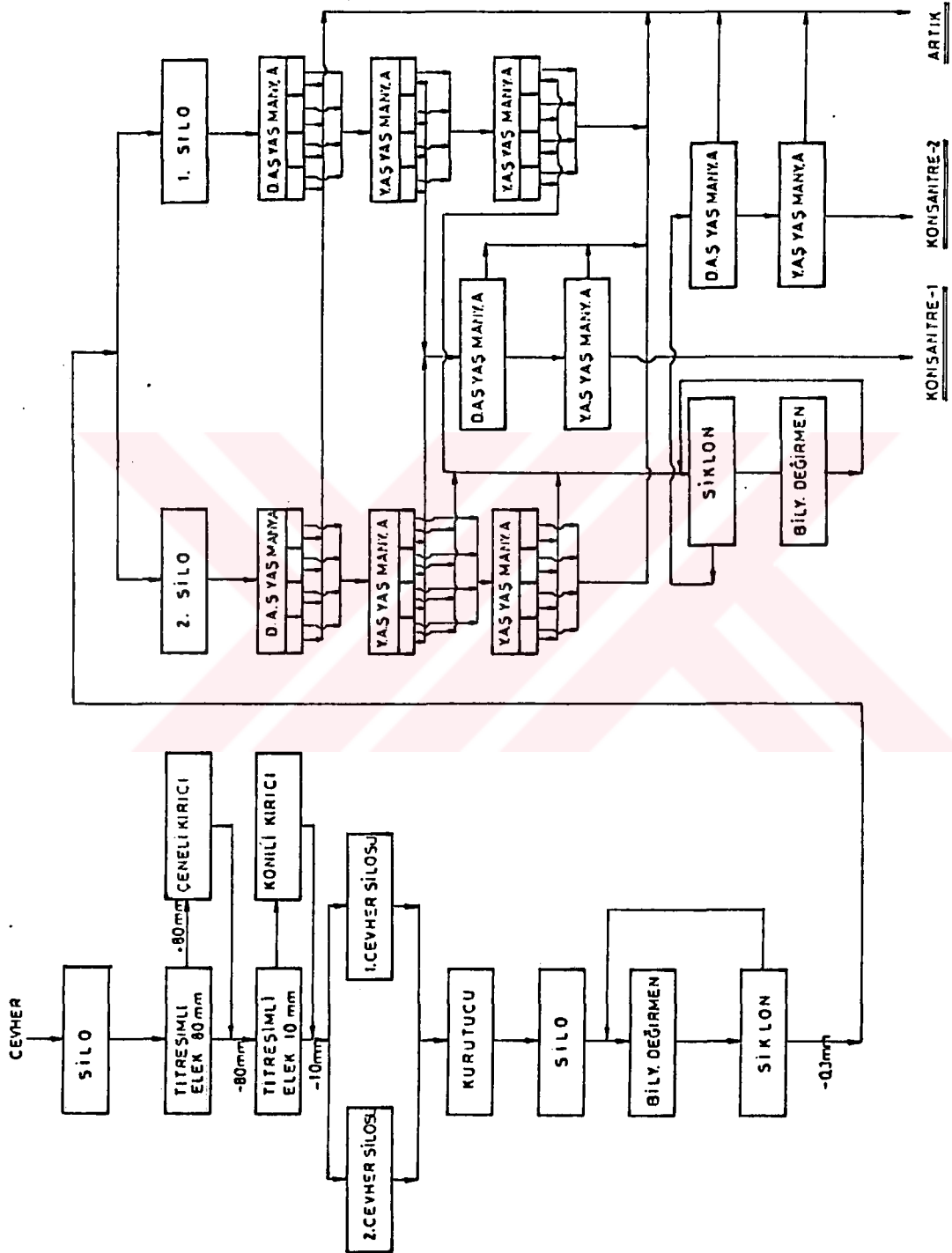
2.5.2. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Belirli bir kimyasal bileşimi olmayan ve spinel grubuna bağlı bir oksit olan kromitin, içerdiği demir oranına bağlı olarak, manyetik duyarlılığı değişmektedir. Kromitin belli başlı gang mineralleri olan olivin ve serpantin'de içerdikleri demir oranına bağlı olarak farklı manyetik duyarlılık göstermektedirler.

Genelde kromitin manyetik alan şiddeti 1.0-1.6 Tesla arasındadır. Ancak kromitin manyetit içermesi durumunda manyetik duyarlılık artmaktadır. Manyetitin gang minerallerine bağlı olması durumunda ise gangın manyetik duyarlılığı artarak uygulanan alan şiddeti düşmekte ve kromitin gang mineralinden ayrılması güçleşmektedir.

Kromitin zenginleştirilmesinde, yüksek alan şiddetli kuru ve yaş manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır. Ayrıca günümüzde yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcıların yanısıra, yüksek gradyantlı manyetik ayırıcılar da kullanılmaktadır.

Şekil 2-3'de manyetik ayırma yöntemi ile zenginleştirme yapan Kefdağı Krom Zenginleştirme Tesisi akım şeması verilmektedir.



Şekil 2-3 Kefdağı Krom Zenginleştirme Tesisi Akım Şeması

2.5.3. Flotasyon ile Zenginleştirme

Kromit $(\text{Fe,Mg})\text{O}$, $(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_3$ bileşiminde olan spinel grubu bir mineraldir. Spineller izometrik tetrahedral ve oktahedral yapıdadır. İki değerli iyonlar eğer tetrahedral yapıda ise; bu spinellere normal spinel, oktahedral yapıda ise; ters spinel adı verilmektedir. Bu bakımdan kromitler, hem kimyasal bileşimi, hem de kristal yapısı bakımından farklılıklar göstermektedirler. Kromitlerdeki bu yapı farklılığı, mineral yüzey özelliklerini de etkilemektedir [11] .

Kromitin flotasyon yöntemi ile zenginleştirilmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. 1930-1950 yılları arasında 0.2 mm altına öğütülen % 20-40 Cr_2O_3 içerikli krom cevherleri, toplayıcı olarak yağ asitleri ve kontrol reaktifleri olarak da sodyum silikat, fosfatlar, metafosfatlar, floridler, kompleks floridler, fluosilikatlar kullanılarak yüzdürülmeye çalışılmış, ancak başarılı sonuçlar alınamamıştır [11] .

Yapılan araştırmalar sırasında pH:6'nın altında flotasyonun mümkün olmadığı ve Fe^{+2} , Pb^{+2} gibi bazı metalik iyonların kromiti aktive ettiği, gang minerallerinden gelen Ca^{+2} ve Mg^{+2} iyonlarının ise kromit flotasyonunu olumsuz yönde etkilediği ortaya konulmuştur [11] .

1950'den sonra katyonik kollektörler kromit flotasyonunda kullanılmaya başlamıştır. Schranz ve Göksaltık (1955), kromit, olivin, serpantin içeren Kefdağ kromitlerinin aminlerle flotasyonunu araştırmışlar ve serpantin pH:3-12 aralığında, olivin pH'da, kromitin ise hem alkali hemde asidik pH'da yüzdüğünü ortaya koymuşlardır. Kullandıkları yöntemde önce pH:12'de gang minerallerini, daha sonra asit ortamda 300 gr/ton amin kullanarak kromiti yüzdürmüşlerdir. Alkali ortamda uzun süreli kıvamlandırmanın gang flotasyonundaki kromit kaçacağını azalttığı ve ikinci aşamadaki kromit flotasyonunu kolaylaştırdığı ayrıca saptanmıştır [12] .

Morawietz (1959) tarafından saf kromit ile yapılan araştırmalar, çeşitli aminlerin toplayıcı olarak aynı ölçüde etkisi olduğunu, HCl ve NaOH kullanılarak pH:6.5-11 aralığında olumlu sonuçlar sağladığını

göstermiştir. Morawietz yağ asitleri ile yaptığı deneylerde en iyi sonuçları pH:8-10 aralığında almış, % 12 Cr_2O_3 içeren gravite zenginleştirme artıkları ile yaptığı deneylerde ise, başarılı sonuçlar alamamıştır [13] .

Sagheer (1966), oleik asit kullanarak yaptığı deneylerde, kromitin Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Fe^{+3} iyonları tarafından bastırıldığını, ancak serpantin flotasyonunda Mg^{+2} iyonunun herhangi bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur [14] .

Abido (1971), toplayıcı olarak aminleri kullandığı kromit flotasyonunda HF 'in Na_2SiF_6 'dan daha iyi bir selektivite sağladığını ve Na_2SiF_6 'nın amin flotasyonunda köpüğe zararlı etkide bulunduğunu vurgulamıştır [15] .

Sobieraj (1970) ve Laskowski (1973), anyonik toplayıcılar kullanarak yaptıkları kromit flotasyonunda pH:4.5-8.0 aralığında, Al^{+3} iyonunun kromiti bastırdığını, pH:10-12 aralığında ise aktivasyona sebep olduğunu ortaya koymuşlardır [11] .

Palmer (1975) ve Fuerstenau(1975) kromit flotasyonunda, çözeltide varolan metal hidroksit iyonlarının, kromitin yüzey elektrik yükünü değiştirerek, flotasyonu olumsuz yönde etkilediğini vurgulamışlardır [16,17] .

Atak (1980) toplayıcı olarak oleik asid, kontrol reaktifi olarak Na_2SiF_6 ve Karboksimetilselüloz kullanarak yaptığı flotasyon deneylerinde, Na_2SiF_6 ve Karboksimetilselülozun olivini bastırdığını ortaya koymuştur [18] .

Smith ve Allard (1980) Stillwater kromitleri ile yaptıkları flotasyon deneylerinde, flotasyon öncesi kromiti oksitlemişler, daha sonra çeşitli toplayıcılar kullanarak bu toplayıcıların ortamdaki çeşitli iyonların konsantrasyonuna bağlı olarak, kromit flotasyonundaki etkilerini incelemişlerdir [19] .

Küçük Boyutlu Tanelerin Flotasyonunda Kullanılan Yeni Yöntemler:

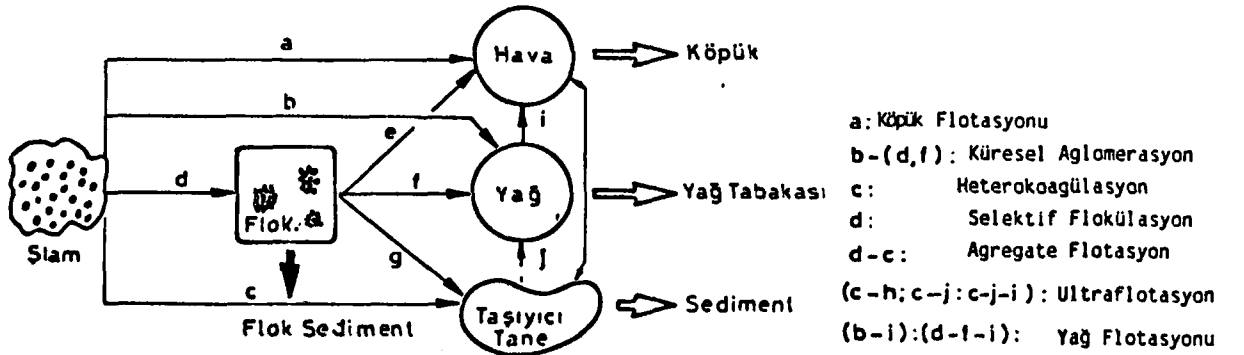
Küçük boyutlu tanelerin flotasyonunda en önemli olay, tanecik ile kabarcık arasındaki karşılaşma olasılığının artırılmasıdır. Karşılaşma olasılığının artırılması genel olarak üç şekilde sağlanmaktadır;

- Köpük miktarı sabit tutularak, tanelerin salkımlaştırılması
- Köpük miktarının artırılması
- Tanelerin hücrede kalma süresinin artırılması veya ters akım prensibiyle taneciğin köpükle karşılaşma olasılığının artırılması

Bu amaçla çeşitli flotasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlar flo-to-flokülasyon, çözülmüş gaz flotasyonu, elektroflotasyon, jet flotasyonu, kolon flotasyonudur [20] .

Flotasyon işlemi sırasında oluşan şlamla kaplanma olayı, daha iri boyutlu taneye, küçük boyutlu tanelerin yapışmasıdır. Bu yapışma, moleküller arası çekim kuvvetleri ile gerçekleşmektedir. Genelde flotasyon sırasında zararlı olan şlamla kaplama, küçük boyutlu değerli minerallerin, aynı mineralin iri boyutlu tanesine yapışması durumunda yararlı olmaktadır. Bu durum Carrier flotasyonu veya ultraflotasyon yönteminin temelini oluşturmaktadır [20] .

Küçük boyutlu tanelerin flotasyonunda yağ fazının önemi oldukça büyüktür. Kullanılan yağın miktarına bağlı olarak, çok çeşitli flotasyon yöntemlerinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Şekil 2-5'de geliştirilebilecek yöntemler şematik olarak gösterilmektedir [20] .



Şekil 2-5 Yağ Fazının Flotasyon Yöntemleri ile İlişkisi

Kromit flotasyonunda karşılaşılan en önemli güçlük selektivitenin sağlanamamasıdır. Selektiviteyi etkileyen iki önemli faktör bulunmaktadır. Bunlar;

- Kromit ve kromitin gang mineralleri olan olivin ve serpantininin benzer yüzey özelliklerine sahip olmaları ve kromit için kullanılan toplayıcılar ile kolayca yüzebilmeleri,
- Küçük boyutlu tane (şlam) oranı arttıkça, selektivitenin azalmasıdır.

Küçük Boyutlu Tanelerin Özellikleri ve Flotasyonu:

Özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme yapan tesislerin artıklarında özellikle 0.1 mm boyutu altında, kromit kaçakları oluşmaktadır. Araştırmada tesis artığı küçük boyutlu kromitlerin flotasyonla zenginleştirilmesi hedeflendiğinden burada küçük boyutlu tanelerin flotasyon özelliklerinden ve bu tanelerin flotasyonu için geliştirilen yeni tekniklerden bahsedilmektedir.

Küçük Boyutlu Tanelerin Flotasyon Özellikleri

Tane boyutunun küçülmesi ile, tane yüzey alanında büyüme ve tane kütlesinde küçülme meydana gelmektedir. Küçük tanelerin yüzey ve elektrokimyasal özellikleri, aynı malzemenin iri tanesinin özelliklerinden de farklılık göstermektedir. Küçük boyutlu tanenin özgül enerjisi, artan kenar, köşe ve kristallografik düzensizliklerden ötürü, daha fazladır. Artan özgül enerji, flotasyonu çeşitli şekillerde etkilemektedir [20] .

Yüzey alanındaki büyümeye paralel olarak, çözünme artmakta ve çözeltiye geçen çeşitli iyonlar, kollektör-mineral adsorbsiyonunu etkilemekte ve artan yüzey enerjisi ile birlikte, toplayıcının özgün olarak adsorplanmasına engel olmaktadır [20] .

Küçük boyutlu tanelerin flotasyonunda kullanılan yeni flotasyon yöntemleri ile ilgili literatür bilgileri aşağıda verilmektedir.

Yüksek Sıcaklık Flotasyonu:

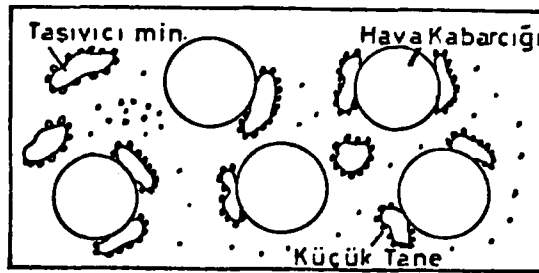
Pülp sıcaklığının küçük boyutlu tane flotasyonunda önemli etkiye sahip olduğu gerçeğinden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Sıcaklık altında yapılan flotasyonun etkilerini şu şekilde sıralamak mümkündür [21] .

- a) Sıcaklık artışıyla toplayıcı adsorpsiyonu artmaktadır.
- b) Köpük miktarında artış olmaktadır.
- c) Canlandırma etkisi olmaktadır.

Carrier Flotasyonu (Ultraflotasyon):

Uygun bir kıvamlandırma zamanı ile küçük boyutlu taneleri daha iri boyutlu tanelere yapıştırıp, daha sonra köpük ile bu taneleri toplama esasına dayanmaktadır. İri taneler sisteme dışarıdan konulacağı gibi, sistemde var olan iri boyutlu tanelerden de yararlanılmaktadır [22] .

Şekil 2-6'da Carrier flotasyonu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 2-6 Carrier Flotasyonu Mekanizmasının Şematik Görünüşü

Kolon Flotasyonu:

Selektiviteyi artırmak amacıyla ters akım presibiyle çalışan bir flotasyon tekniğidir. Bol miktardaki hava kabarcığı yukarıya doğru yükselirken, malzeme akışı aşağıya doğru olmaktadır. Besleme, genelde kolon yüksekliğinin 2/3'ü kadar yukarıdan yapılmaktadır. Şlamla kaplanmış taneler, köpük taşma bölümünde, yıkama suyu verilmek suretiyle temizlenmektedir.

Norasimhan ve arkadaşları 7.5 ve 23 cm çapında kolonlar kullanarak küçük boyuttaki grafitleri kilden ayırmışlardır. Kolon flotasyonu 0.1 mm'den büyük tanelerde başarılı olamamaktadır. Bautin ve Weeler 120 cm² kesitli ve 9 m yüksekliğindeki kolonlarla çalışmalar yapmışlardır. Sastry ve Fuerstenau kolon flotasyonu ile ilgili teorik çalışmalarını bir model üzerinde sürdürmektedirler [23,24,25] .

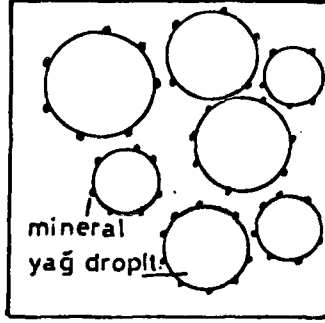
Jet Flotasyonu:

Girdaplı (Türbülans) ve durgun (Laminer) akış bölümlerini içerecek biçimde geliştirilen jet flotasyonu, çok küçük boyuttaki tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılmaktadır. Kıvamlandırılmış pülp, bir pompa aracılığı ile, bir enjektöre beslenmekte, enjektörden çıkan pülp, hem bol miktarda köpük oluşturmakta, hemde pülpü karıştırmaktadır. Karıştırma işlemi sırasında tanecik-köpük kontağı sağlanmakta ve flotasyon gerçekleşmektedir [26] .

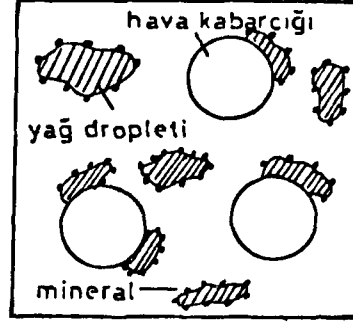
Yağ Flotasyonu ve Sıvı-sıvı Ekstraksiyonu:

Küçük boyutlu tanecikleri hava-su arayüzeyi yerine moleküller arası çekim kuvvetlerinin etkin olduğu hava-yağ arayüzeyine toplama esasına dayanmaktadır. Şekil 2-7'de yağ flotasyonunun oluşumu şematik olarak gösterilmektedir. Kullanılan nötr yağların kısa zincirli olması tercih edilmektedir.

Zambrana ve arkadaşları bu yöntemle 0.01 mm altındaki kalay cevheri ile çalışmışlardır [27] .



Sıvı-Sıvı Ekstraksiyonu



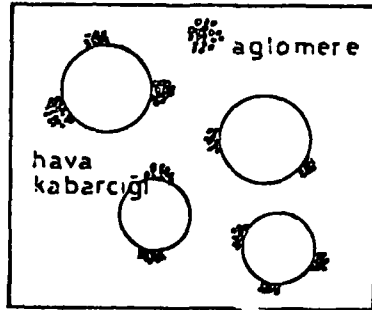
Yağ Flotasyonu

Şekil 2-7 Yağ Flotasyonu ve Sıvı-Sıvı Ekstraksiyonunun Oluşumunun Şematik Gösterimi

Floto-Flokülasyon (Aglomere Flotasyon)

Bu yöntem çok küçük boyutlu tanelerin, belli miktarda yüzey aktif maddeler kullanarak, aglomere edilmesi ve daha sonra bu aglomere-lerin köpüğe yapıştırılıp yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır. Şekil 2-8'de floto-flokülasyon olayının oluşumu şematik olarak gösterilmektedir.

Khavaski ve arkadaşları, suda çözünebilir polimerler kullanarak, çok küçük taneleri salkımlaştırmışlar ve daha sonra bunları yüzdürmüşlerdir [28] .



Şekil 2-8 Floto-Flokülasyon Olayının Şematik Gösterimi

Elektroflotasyon:

Elektroflotasyon, elektroliz yöntemiyle, 0.02-0.1 mm çapında çok küçük boyutlu köpüklerin üretilmesi esasına dayanmaktadır. Küçük köpükler ile 0.01 mm boyutundaki taneciklerin flotasyonu mümkün olabilmektedir.

Flint ve Howarth (1971), Mika ve Fuerstenau (1969), köpük yüzey alanının arttırılması ile, taneciklerin köpük ile karşılaşma olasılığının arttığını ileri sürmüşlerdir. Elektroflotasyon konusundaki ilk çalışmalar, Glembotsky tarafından başlatılmıştır. elektroflotasyonda köpük, elektroliz işlemi sırasında açığa çıkan H_2 ve O_2 gazları ile üretilmektedir [29,30,31] .

Vakum ve Basınç Altında Flotasyon:

Gaz kabarcıklarının seçimli olarak hidrofobik mineral yüzeyinde toplama esasına dayanmaktadır. Klasik flotasyondaki köpük ile taneciğin karşılaşma durumu, bu yöntemde söz konusu değildir. Taneciğin çatlak ve porlarındaki kapanlanmış havanın, basınç değişimleri ile büyüyecek, taneciği yüzdürmesi amaçlanmaktadır. Bu yöntem su arıtma tesislerinde, sınırlı bir şekilde uygulanmaktadır. Mineral zenginleştirilmesinde de araştırılmaktadır [20] .

Çökelti (Presipite) Flotasyonu:

Çökelti flotasyonu, yüksek moleküllü çökeleklerin yüzdürülmesi tekniğine dayanmaktadır. Bu yöntemin, küçük taneli minerallerin zenginleştirilmesine uygulanması dolaylı şekilde olmaktadır. İlk kez 1932 yılında, Miami Copper Company tarafından uygulanmıştır. Ayrıca Wie ve Fuerstenau belli bir toplayıcı kullanarak, CuS çökeleklerinin flotasyonunu ve bunun elektromekaniğini incelemişlerdir [32] .

BÖLÜM 3. ZENGİNLEŞTİRME DENEYLERİNE ESAS OLAN NUMUNELERİN ALINIŞI VE ÖZELLİKLERİ

3.1. Giriş

Bu bölümde, zenginleştirme deneylerine esas olan numunelerin alınması ve karakteristik numune üzerinde yapılan kimyasal, mineralojik ve boyut analizleri ile flotasyon ile zenginleştirme dışında yapılan, sarsıntılı masa ve manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri yer almaktadır.

3.2. Temsili Numunenin Alınışı

Etibank Üçköprü Krom İşletmesi Karagedik Zenginleştirme Tesisi 1900'lü yıllardan bu yana çalışmaktadır. Zenginleştirme tesisine 13 ayrı ocaktan krom cevheri ile, Göcek jig tesisinden jig tozları beslenmektedir.

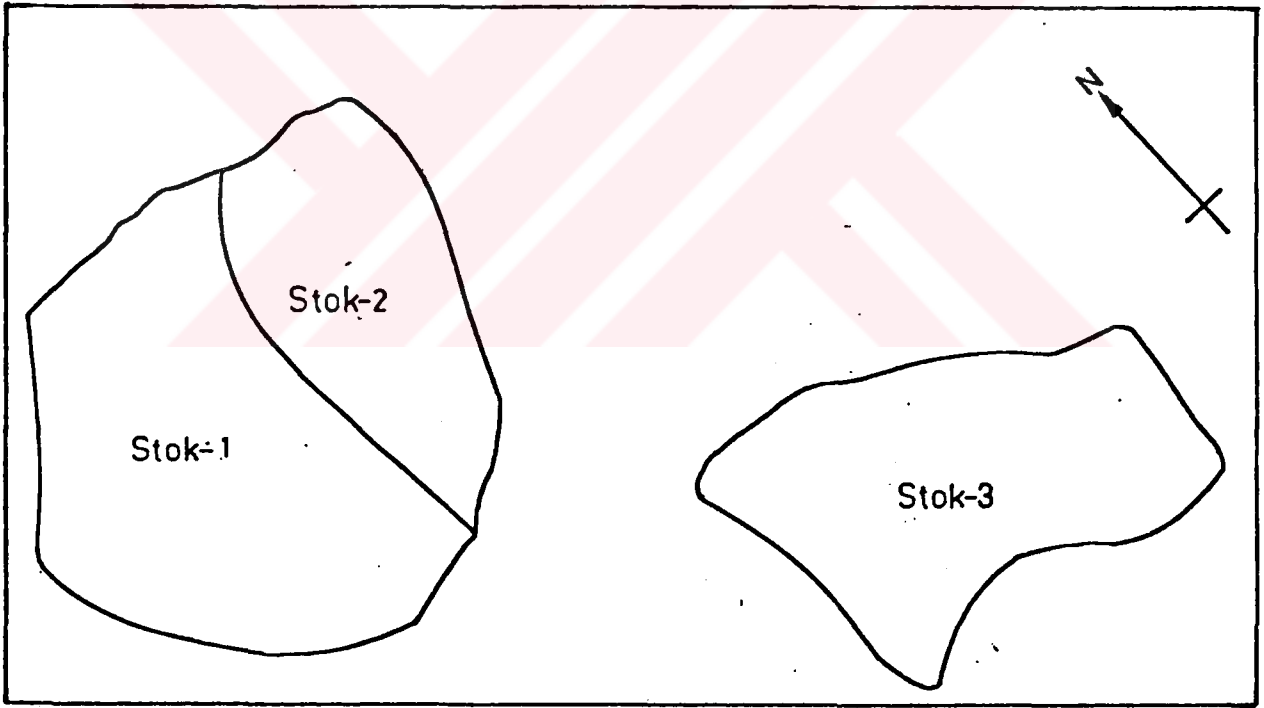
Zenginleştirme tesisi artıkları, toplam alanı 46.400 m², yüksekliği 8-10 m olan üç ayrı stok halinde biriktirilmiştir. Her stokta karelej yapılmak suretiyle belli noktalar tesbit edilmiş ve her noktadan derinlik ve harman numuneleri alınarak stokların ortalama krom içerikleri saptanmıştır. Stokların ölçekli krokisi Şekil 3-1'de verilmektedir.

20'şer m aralıklarla, 7.5 m derinliğe kadar toplam 23 noktadan alınan numunelerin değerlendirilmesi sonucunda, 1. stok ortalama Cr₂O₃ içeriğinin % 9.49 olduğu belirlenmiştir. 1. stok sondaj noktaları ve Cr₂O₃ içerikleri Şekil 3-2'de verilmektedir.

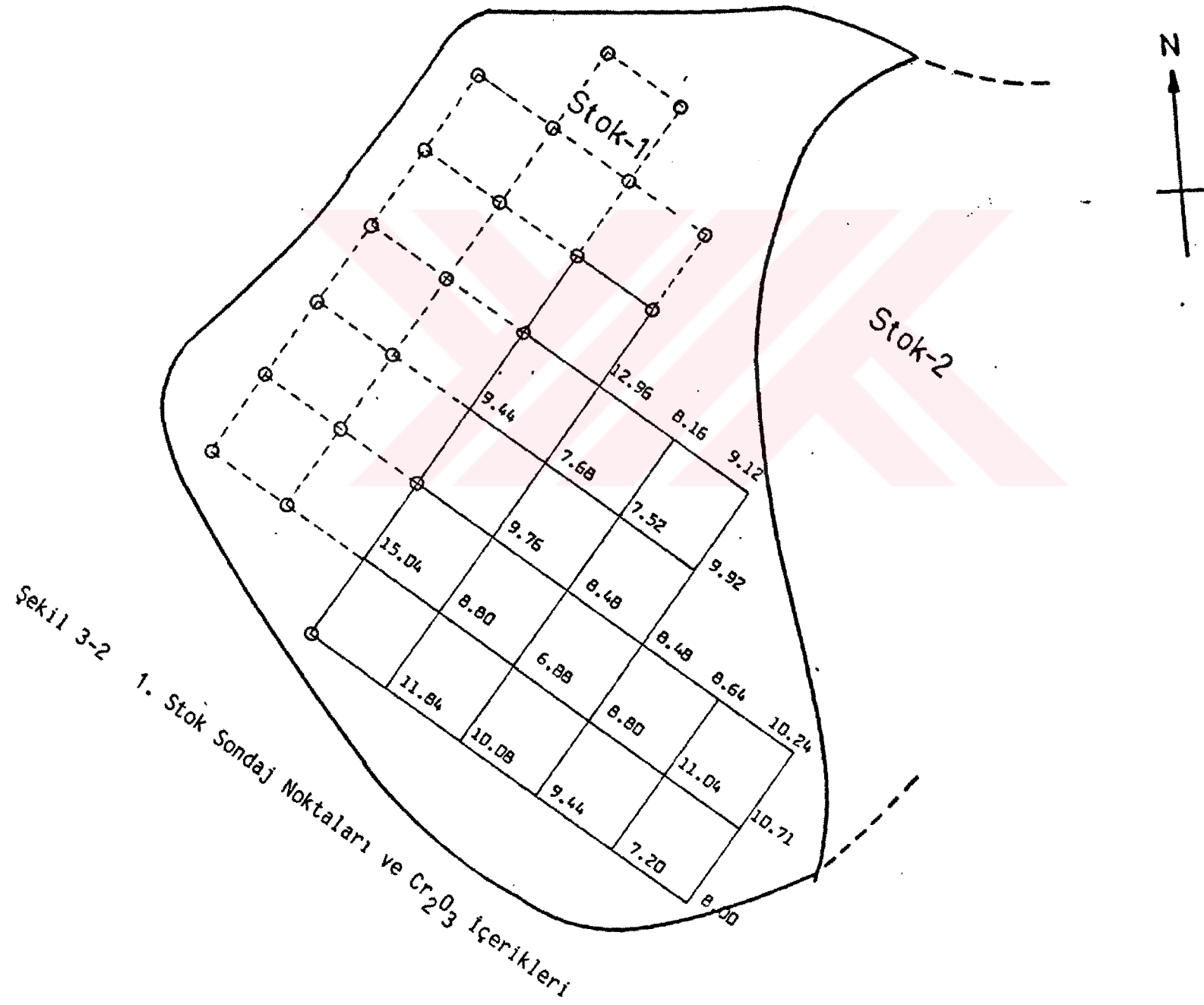
11.600 m² genişliğindeki 2. stoktan 10'ar m. aralıkla 7.5 m. derinliğe kadar, toplam 94 noktadan numune alınmış ve stoğun ortalama Cr₂O₃ içeriği % 13.11 olarak tesbit edilmiştir. Şekil 3-3'de 2. stok numune alma noktaları ve her noktanın Cr₂O₃ içerikleri verilmektedir.

3. stoğa zenginleştirme tesisi artıkları beslendiğinden sistematik numunelerin alınması mümkün olmamış, ancak yapılan gözlemler ve analizler sonucunda, diğer stoklarla benzerlik gösterdiği saptanmıştır.

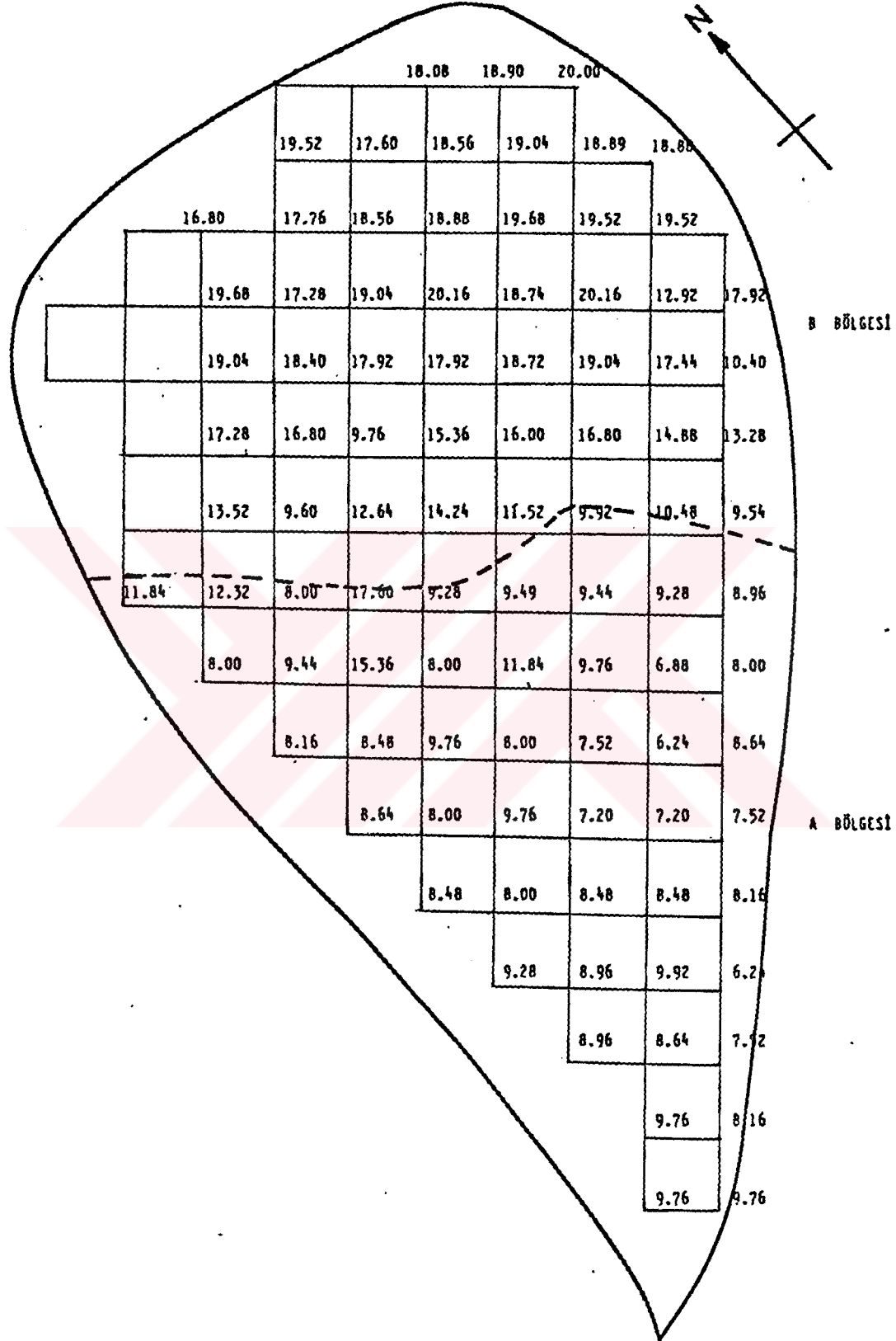
Deneylere esas olan numune, 2. stok'a ait nokta numunelerinin harmanından alınmıştır.



Şekil 3-1 Karagedik Krom Zenginleştirme Tesisi Artık Stoklarının Krokisi (ÖLÇEK 1/3000)



Şekil 3-2 1. Stok Sondaj Noktaları ve Cr_2O_3 İçerikleri



Şekil 3-3 2. Stok Sondaj Noktaları ve Cr_2O_3 İçerikleri

3.3. Temsili Numunenin Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri

Deneylere esas numune, konileme-dörtleme işlemi ile azaltılarak tüvenan kimyasal analiz numunesi alınmış ve Çizelge 3-1'de gösterilen analizler yapılmıştır.

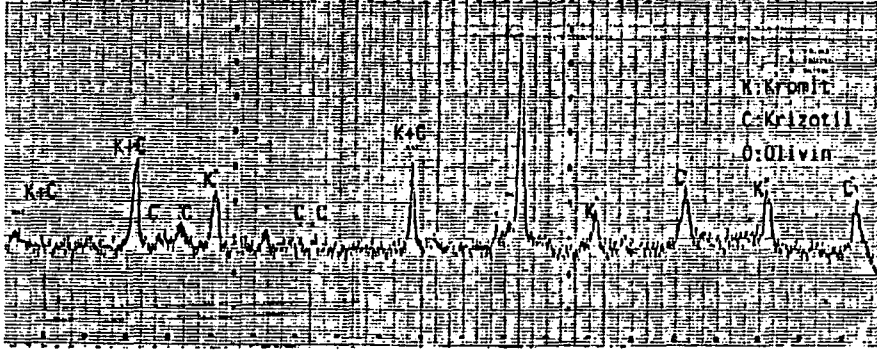
Çizelge 3-1 Deneylere esas Olan Numunenin Tam Kimyasal Analizi

Eleman	%
Cr ₂ O ₃	15.15
Fe O	7.50
Al ₂ O ₃	6.05
SiO ₂	28.30
MgO	31.50
CaO	0.30
K.K	11.20

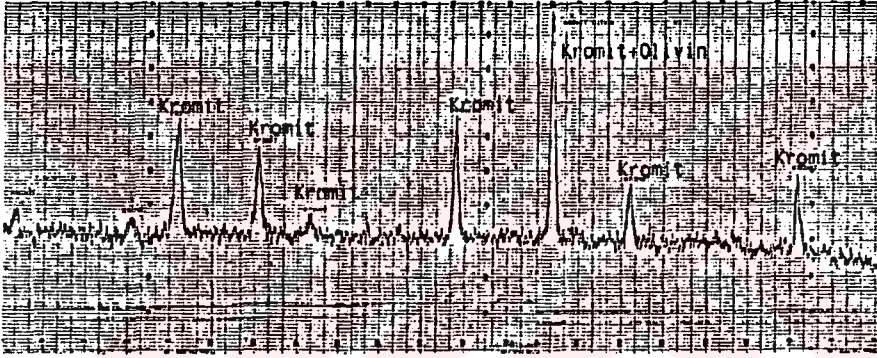
Zenginleştirme deneylerine esas olan numunedeki mineralleri saptamak amacıyla, ince kesit ve parlatma numuneleri hazırlanarak, bu numuneler alttan ve üstten aydınlatmalı LEITZ SM-LUX POL mikroskobu ile incelenmiştir. Ayrıca çeşitli yöntemlerle zenginleştirilen mineraller X- Işınları toz Difraksiyonu ve XRF cihazı ile incelenmiş sonuçlar sırasıyla Şekil 3-4 ve 3-5'de verilmiştir.

Gerek X- ışınları, gerekse mikroskop incelemeleri sonucunda Artık numunesinde bol miktarda kromit, serpantin grubu mineralleri (Kri-zotil, Antigorit) olivin, piroksen, manyezit, tremolit, talk, opal izlenmiştir.

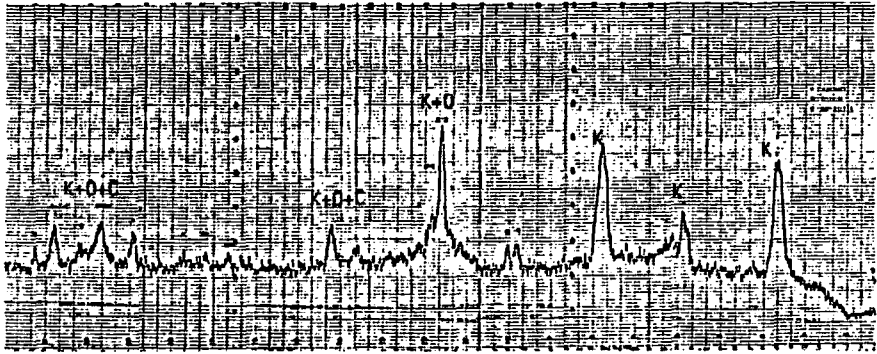
Tespit edilen minerallerin numune içindeki dağılımı ve boyutları şu şekildedir.



a) 2. Stok Numunesi

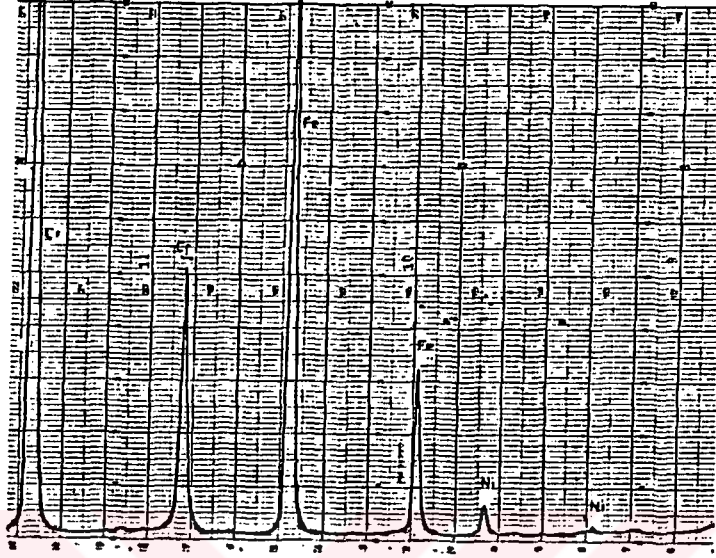


b) 2. Stok Kromit Flotasyonu Konsantresi

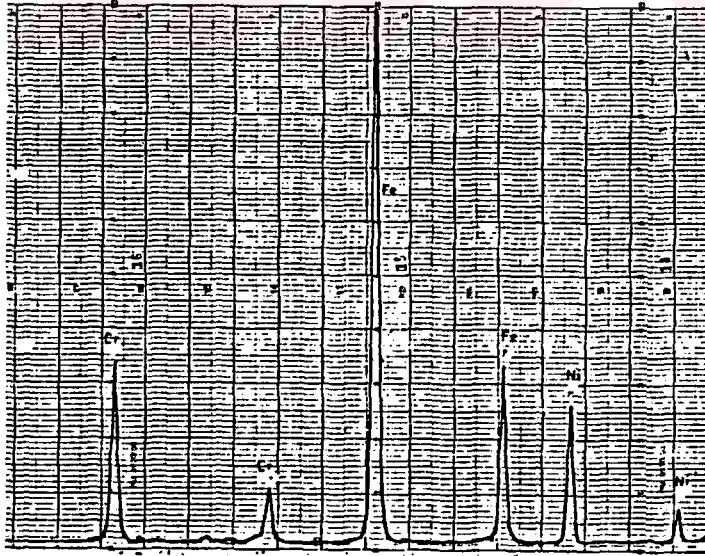


c) 2. Stok Kromit Flotasyonu Artığı

Şekil 3-4 2. Stok Numunesinin X- Işınları Difraksiyon Verileri



a) Kromit Flotasyon Konsantresi



b) Kromit Flotasyon Artığı

Şekil 3-5 2. Stok Numunesinin XRF Analiz Sonuçları

Kromit: Kromit kesitlerde yarı şekilli yarı şekilsiz taneler halinde bulunmakta tane boyutu 5 ile 300 μ arasında değişmektedir. Ortalama tane boyutu ise 35-40 μ arasındadır. Kromit yüzeylerinde kalınlığı 1-1.5 μ arasında değişen Talk ve serpantin mineralleri ile sıvanmış durumda bulunduğu gözlenmiştir. Bazı kromit tanelerinin çatlaklarında boyutları 1-5 μ arasında değişen manyezit bantlarına rastlanmıştır. İri boyutlu kromitler genellikle bileşik tane halinde küçük boyutlu kromitler ise tamamın serbest halde bulunmaktadır (Şekil 3-6, 3-9, 3-10,3-12).

Serpantin Grubu mineraller: Kesitlerde olivinlerin ayrışması sonucu oluşan krizotil ve antigorit mineralleri halinde gözlenmektedir. Karakteristik görüntüleri ipliksel ve elek dokusu şeklindedir. Genellikle renksiz, saydam olan serpantinler yeryer ayrışarak demiroksit minerallerini açığa çıkarmışlardır (Şekil 3-8,3-9,3-13).

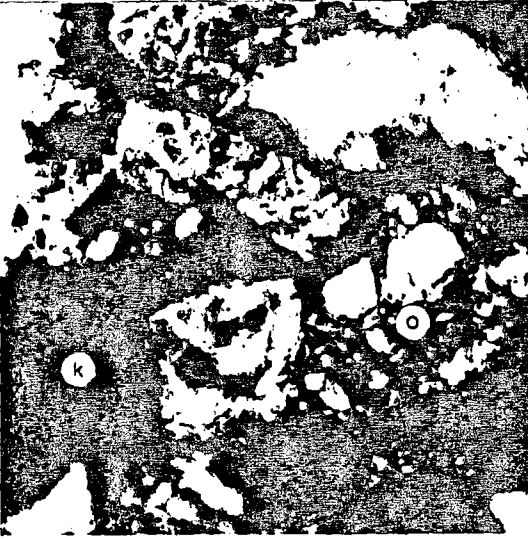
Olivin: Yarı şekilli ve şekilsiz taneler halinde olup, boyutları 50-150 μ arasında değişmektedir. Olivinler genellikle kırılanmış durumda bulunmakta ve bu kırık ve çatlaklarda serpantin krizotil gözlenmektedir (Şekil 3-7)

Manyezit: Krem sarısı beyaz renklerde ve ince taneli yarı saydam submikroskopik kristaller biçiminde bulunmaktadır. Yer yer mineral yüzeyinde ayrışmalar sonucunda ikincil olarak gelişen ve boyutları 5-20 μ arasında değişen manyezit kristallerine rastlanmaktadır.

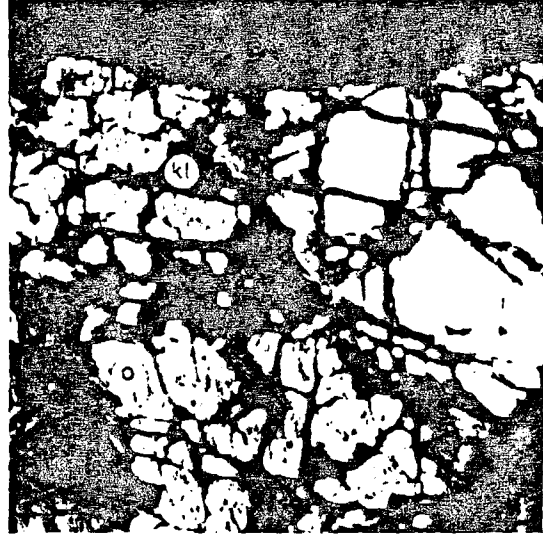
Piroksen: Örneklerde az miktarda izlenmektedir. Genellikle levha şekilli taneler halindedir.

Tremolit: Işınsal ve çubuk şekilli kristaller halinde izlenmekte ve kesitlerde az sayıda bulunmaktadır.

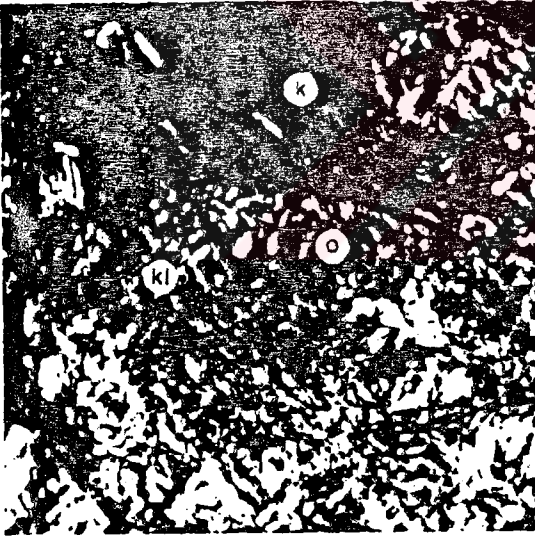
Talk: Serpantin türü minerallerin ayrışması sonucu oluşan talk mineralleri beyaz, yeşil renkli, yassı ve tabakalı pullar halinde gözlenmiştir.



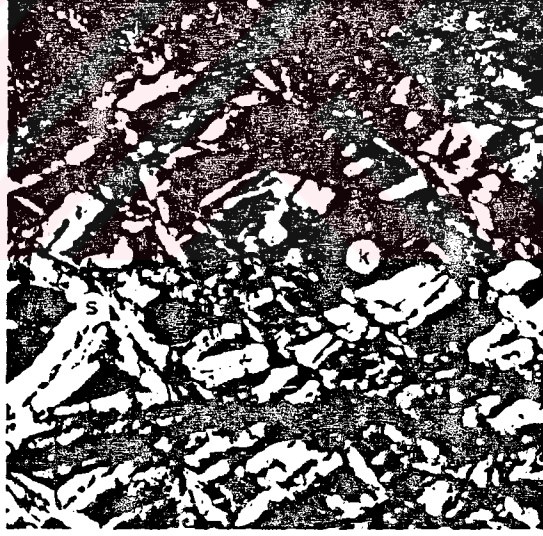
Şekil 3-6 Kromit Taneleri ve Kısmen Serpantinleşmiş Olivin (1cm = 100 μ)



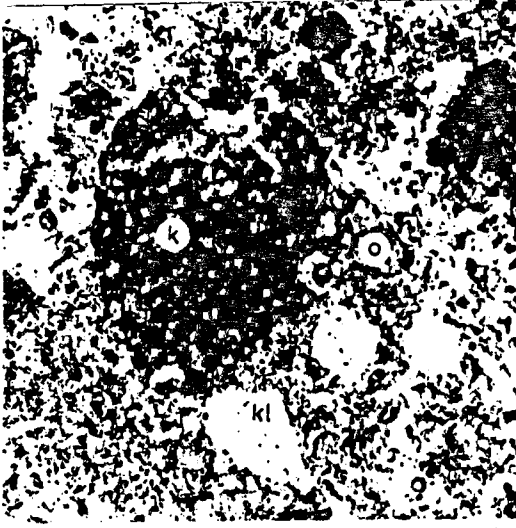
Şekil 3-7 Kırıklanmış Olivin (o) Kırıklar Boyunca Gelişen Krizotil(kl) (1cm = 100 μ)



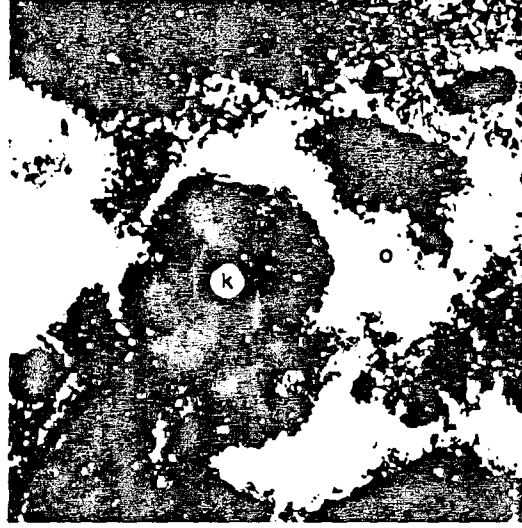
Şekil 3-8 Kromit (K) ve Krizotile (kl) Dönüşmüş Olivin (o) ile Henüz Ayrışmamış Fe Oksitli Minerallerle Boyanmış Olivin Taneleri (Fayelit) (1cm = 100 μ)



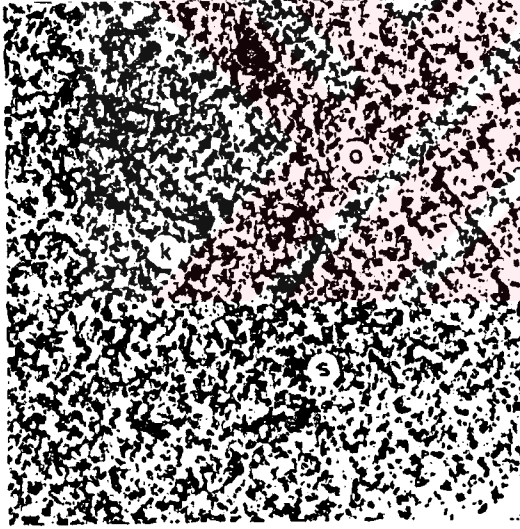
Şekil 3-9 Kromit ve Elekt Dokusu Gösteren Serpantin (1cm = 100 μ)



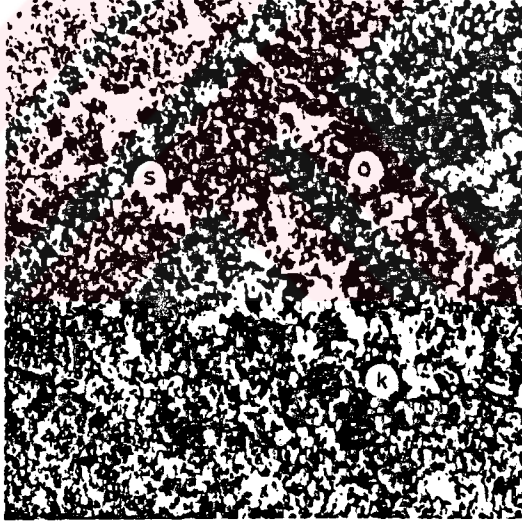
Şekil 3-10 Orijinal Stok Numunesinde izlenen Kromit (K), Olivin (o), Serpantin Krizotil (Kl)
(1cm = 360 μ)



Şekil 3-11 Flotasyon Konsantresi İçinde Kromit (K), Olivin (o)
(1cm = 360 μ)



Şekil 3-12 Flotasyon Araürününde izlenen Kromit (K), Olivin (o), Serpantin (S) Talk Mineral-leri
(1cm = 360 μ)



Şekil 3-13 Flotasyon Artığında Çoğunluğu Oluşturan Olivin (o) Serpantin (S) Mineralleri ve az Miktarda Kromit (K)
(1cm = 360 μ)

3.4. Temsili Numunenin Boyut ve Boyuta Göre Cr_2O_3 Dağılımı

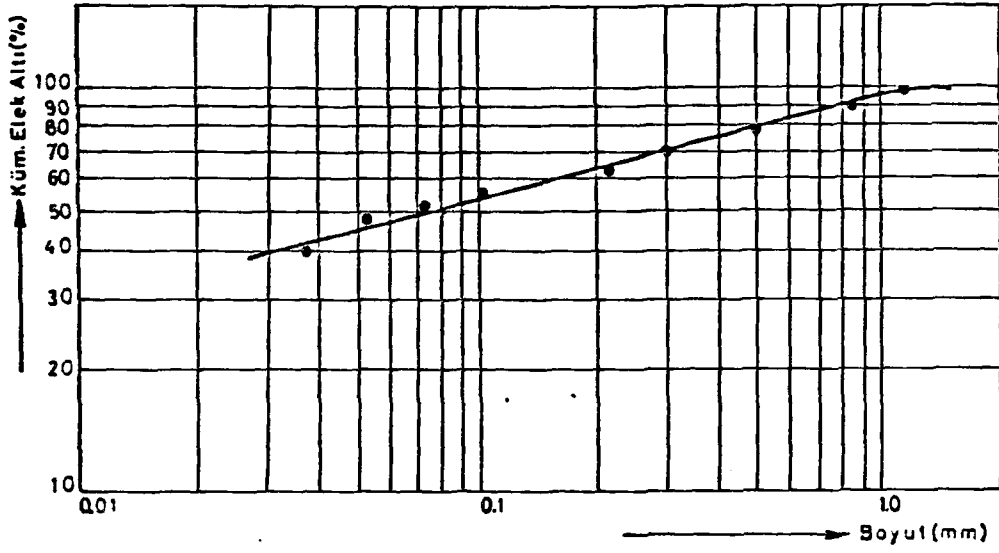
Temsili numunenin yaş eleme ile yapılan elek analizi ve boyuta göre Cr_2O_3 dağılım sonuçları Çizelge 3-2'de kümülatif elek altı eğrisi Şekil 3-14'de verilmiştir.

Çizelge 3-2'den de izlenebileceği gibi, % 43.8 oranındaki +0.1 mm boyutlu malzemenin Cr_2O_3 içeriğinin % 7.95 krom dağılımının % 22.5 % 56.2 oranındaki -0.1 mm boyutundaki malzemenin ise Cr_2O_3 içeriğinin % 21.23, krom dağılımının da % 77.5 olduğu saptanmıştır.

-0.1 mm boyutlu, flotasyon ile zenginleştirilmesi amaçlanan numunenin, elek analizi ve boyuta göre Cr_2O_3 dağılımı Çizelge 3-3'de verilmektedir.

Çizelge 3-2 Temsili Numunenin Boyut Analizi ve Boyuta Göre Cr_2O_3 Dağılım Sonuçları

Boyut (mm)	Miktar %	Miktar Σ %†	Cr_2O_3 İçeriği %	Cr_2O_3 Dağılımı %	Cr_2O_3 Dağılımı Σ %†
+ 1.180	3.6	100.0	11.25	2.6	100.0
-1.18 + 0.850	7.5	96.4	10.75	5.2	97.4
-0.850 + 0.500	10.8	88.9	8.75	6.1	92.2
-0.500 + 0.300	9.2	78.1	6.75	4.0	86.1
-0.300 + 0.212	5.2	68.9	5.25	1.8	82.1
-0.212 + 0.106	7.5	63.7	5.75	2.8	80.3
-0.106 + 0.074	5.6	56.2	8.25	3.0	77.5
-0.074 + 0.053	3.5	50.6	12.00	2.7	74.5
-0.053 + 0.038	6.7	47.1	18.75	8.2	71.8
-0.038	40.4	40.4	24.25	63.6	63.6
TOPLAM	100.0		15.42	100.0	



Şekil-3-14 Tensili Numunenin Kümülatif Elek Altı Eğrisi

Çizelge 3-3 0.1 mm Altındaki Malzemenin Boyut ve Boyuta Göre Cr_2O_3 Dağılımı

Boyut (mm)	Miktar %	Miktar $\Sigma\%$	Cr_2O_3 İçeriği %	Cr_2O_3 Dağılımı %	Cr_2O_3 Dağılımı $\Sigma\%$
-0.106 + 0.074	10.0	100.0	8.25	3.9	100.0
-0.074 + 0.053	6.2	90.0	12.00	3.5	96.1
-0.053 + 0.038	11.9	83.8	18.75	10.5	92.6
-0.038	71.9	71.9	24.25	82.1	82.1
TOPLAM	100.0		21.23	100.0	

Çizelge 3-4 0.038 mm Boyutu Altındaki Malzemenin Andresen Pipeti Deneyi ile Elde Edilen Boyut Dağılım Sonuçları

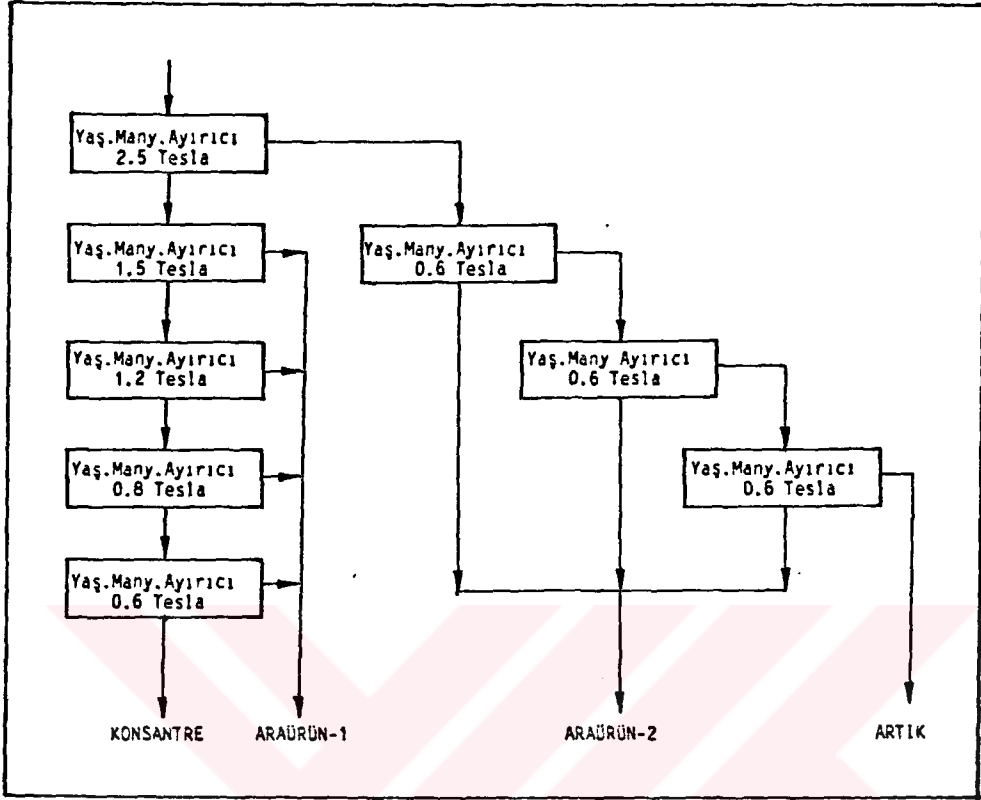
Stok Çapı (M)	Miktar %	Miktar $\Sigma\%$	Miktar $\Sigma\%$
-38 + 10	10.7	10.7	100.0
-10 + 7	15.8	26.5	89.3
- 7 + 5	40.9	67.4	73.5
- 5 + 3	11.3	78.7	32.6
- 3 + 1	11.0	89.7	21.3
- 1	10.3	100.0	100.0
TOPLAM	100.0		

3.5. Manyetik Ayırma ve Sarsıntılı Masa ile Zenginleştirme Deneyleri

Bu bölümde flotasyon yöntemi ile zenginleştirme işlemine alternatif olabilecek manyetik ayırma ve özgül ağırlık farkına göre zenginleştirme yöntemlerinin araştırılması yapılmıştır. Bu amaçla Yüksek Alan Şiddetli Yaş manyetik ayırıcılar ve küçük boyutlu malzemeleri zenginleştirmeye elverişli şlam masaları kullanılmıştır.

Tamamı 0.1 mm altındaki artık numunesi, Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırıcı (Carpco) kullanılarak 2.5 Tesla ile 0.6 Tesla alan şiddetlerinde kademeli olarak deneyler yapılmıştır. Manyetik ayırma deneyleri sonucunda, % 12.2'i oranında % 39.11 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 23.3 krom kazanma verimi ile elde edilmiş, % 29.3 oranındaki, % 6.84 Cr_2O_3 içerikli artık ise, % 9.8 krom kaybı ile uzaklaştırılmıştır. Manyetik ayırma deneyinin akım şeması Şekil 3-15'de, deney sonuçları ise Çizelge 3-5'de verilmiştir.

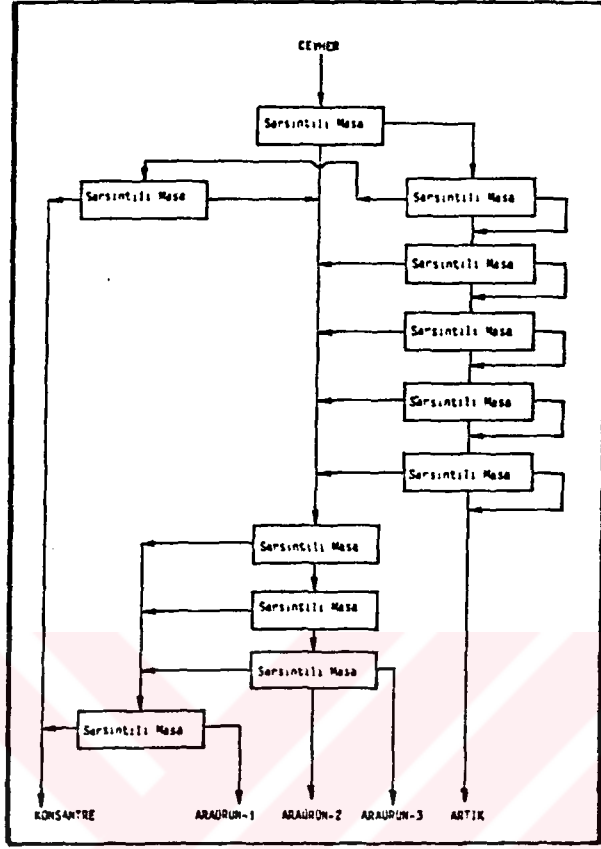
Aynı boyut grubu numune ile, şlam masası kullanılarak yapılan deneylerde, girenin % 10.9'u oranında, % 52.50 Cr_2O_3 içerikli konsantre % 30.4 krom kazanma verimi ile elde edilmiş, % 43.2 oranında % 15.7 Cr_2O_3 içerikli artık, % 36.1 krom kaybı ile uzaklaştırılmıştır. Şlam masası deneyi akım şeması Şekil 3-16'da, sonuçlar ise Çizelge 3-6'da verilmektedir.



Şekil 3-15. Manyetik Ayırma Deneyi Akım Şeması

Çizelge 3-5 Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma Deneyi Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
Konsantre	12.2	39.11	23.3
Araürün-1	31.7	28.47	44.2
Araürün-2	26.8	17.29	22.7
Artık	29.3	6.84	9.8
TOPLAM	100.0	20.43	100.0



Şekil 3-16 -0.1 mm Boyut Grubu Malze-
me ile Yapılan Şlam Masası
Deneyi Akım Şeması

Çizelge 3-6 -0.1 mm Boyut Grubunda Yapılan Şlam
Masası Deneyi Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Cr ₂ O ₃ İçeriği %	Verim %
Konsantre	10.9	52.50	30.4
Araürün-1	10.6	24.75	14.0
Araürün-2	16.5	13.03	11.4
Araürün-3	18.8	8.08	8.1
Artık	43.2	15.70	36.1
TOPLAM	100.0	18.80	100.0

BÖLÜM 4. ZENGİNLEŞTİRME TESİSİ ARTIKLARININ KARŞILAŞTIRMALI FLOTASYON DENEYLERİ

4.1. Giriş

Bu bölüm Etibank-Üçköprü Krom İşletmeleri, Karagedik Zenginleştirme Tesisi artıkları üzerinde yapılan sistematik, klasik flotasyon, kolon flotasyonu ve jet flotasyonu deneylerini içermektedir.

Zenginleştirme deneyleri, 0.1 mm altındaki artık numunesi ile yapılmıştır. 0.1 mm altındaki numunede 0.038 mm altı malzeme oranının yüksek olması flotasyon ile zenginleştirme işlemleri sırasında selektivite açısından önemli güçlükler arz etmektedir.

Zenginleştirme işlemlerinde, % 40 ve üstü Cr_2O_3 içerikli satılabilir konsantre eldesi amaçlanmış, deneylerde bu amaca yönelik olarak yapılmıştır. Laboratuvar ölçeğinde elde edilen optimum sonuçların, uygulanabilirliği pilot düzeyde denemelerle ayrıca amaçlanmıştır.

Küçük boyutlu kromitin kolon ve jet flotasyon yöntemleri kullanılarak flotasyon olanakları ile klasik flotasyon, jet flotasyonu ve kolon flotasyonunun sonuçlar açısından karşılaştırılması, ilk kez bu tez kapsamında araştırılmıştır.

4.2. Flotasyon Ön Deneyleri

Spinel grubunun bir minerali olan Kromitin, flotasyon özelliği, temelde kromit taneciğinin elektrokinetik yüzey karakteristiği ile ilgilidir. Kromitin Fe, Al, Mg, içeriği, oluşum koşullarına bağlı olarak değişmektedir [4] .

Kromit mineral yapısındaki bu değişimler, flotasyon özelliğinin de değişmesine neden olmaktadır. Kromit flotasyonunda önemli olan ikinci bir husus da selektivitedir. Kromitin karakteristik gang mineralleri olan Olivin ve Serpantin, kromit ile hemen hemen benzer yüzey özelliklerine sahip olmaları selektivitenin sağlanamamasında önemli bir etken olmaktadır [35,36] .

Flotasyon yöntemleri ile zenginleştirmede genel olarak küçük boyutlu malzeme miktarına bağlı olarak selektivite azalmakta ve reaktif sarfiyatı artmaktadır [20] .

Üzerinde çalışmalar yapılan artıklar Çizelge 3-3'den de izlenebileceği gibi fazla miktarda şlam (-0.038 mm, % 72) içermektedir. Sistematik flotasyon deneylerinden önce bu boyut dağılımındaki malzemede selektiviteyi sağlayabilecek reaktiflerin saptanması amaçlanmış, başta sabunlar olmak üzere kromit flotasyonunda etkili olabilecek birçok reaktif karışımları ile farklı pH'larda, Na_2SiO_3 , Karboksimetilselüloz, Na_2SiF_6 gibi kontrol reaktifleri de kullanılarak flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen kaba konsantre yalnızca kontrol reaktifi ilavesi ile 2-3 kez temizlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4-1'de verilmektedir.

Çizelge 4-1'den de görüldüğü gibi konsantrenin krom içeriği ve verimi bakımından en iyi sonuçlar F-3635 + SM-15, F-443 + Unitol 1090 ve OMC-377 + SM-15 karışımları ile pH:11'de yapılan deneylerinden elde edilmiştir. Gerek reaktif sarfiyatı, gerekse selektivite açısından en uygununun OMC-377 + SM-15 karışımı olduğu da tesbit edilmiştir.

Çalışmalarda OMC-377 ve SM-15 reaktifleri ile ayrı ayrı flotasyon deneyleride yapılmış, ancak karışım halinde kullanıldıkları kadar iyi sonuçlar alınamamıştır. Sistematik deneylerle de bu durum tesbit edilmiştir.

Çizelge 4-1 Flotasyon Öndeneyleri Sonuçları

pH	Kullanılan Reaktifler	Ürünler	Miktar %	Cr ₂ O ₃ İçeriği %	Verim %
2-2.5	F.443: 5500 gr/t	Konsantre	27.9	37.88	50.9
	Unitol: 1500 gr/t	Araürün	50.5	17.66	43.0
	Na ₂ SiO ₃ : 4000 gr/t	Artık	21.6	5.81	6.1
	H ₂ SO ₄ : 25 kg/t	Toplam	100.0	20.74	100.0
2-2.5	Armaç-C: 1200 gr/t	Konsantre	18.0	32.91	28.5
	Na ₂ SiO ₃ : 3000 gr/t	Araürün	31.0	26.67	39.8
	H ₂ SO ₄ : 25 kg/t	Artık	51.0	12.92	31.7
		Toplam	100.0	20.78	100.0
3-3.5	R801 + R825: 4000 gr/t	Konsantre	30.9	21.06	31.7
	H ₂ SO ₄ : 10 kg/t	Araürün	36.5	20.96	37.3
		Artık	32.6	19.44	31.0
		Toplam	100.0	20.49	100.0
8-8.5	Unitol-1090: 2400 gr/t	Konsantre	9.1	24.50	10.9
	Na ₂ SiF ₆ : 1000 gr/t	Araürün	40.9	24.42	49.2
	OMC: 300 gr/t	Artık	50.0	16.16	39.9
		Toplam	100.0	20.30	100.0
8-8.5	NaCl: 4000 gr/t	Konsantre	10.7	23.49	12.9
	OMC: 260 gr/ton	Araürün	46.4	21.65	51.5
	Na ₂ SiF ₆ : 500 gr/t	Artık	42.9	16.16	35.6
		Toplam	100.0	19.49	100.0
8-8.5	SM-15: 5000 gr/t	Konsantre	3.7	35.89	6.4
	Na ₂ SiO ₃ : 4000 gr/t	Araürün	63.1	22.97	69.6
		Artık	33.2	15.09	24.0
		Toplam	100.0	20.83	100.0
8-8.5	OMC-377: 300 gr/t	Konsantre	12.0	29.12	15.2
	SM-15: 400 gr/t	Araürün	55.5	25.75	63.0
	Na ₂ SiO ₃ : 4000 gr/t	Artık	32.5	16.17	22.8
		Toplam	100.0	23.03	100.0
11.0	F.3635: 1000 gr/t	Konsantre	19.6	43.43	42.5
	SM-15: 1300 gr/t	Araürün	50.5	19.60	49.0
	Na ₂ SiO ₃ : 5000 gr/t	Artık	30.4	5.56	8.5
	NaOH: 5000 gr/t	Toplam	100.0	20.00	100.0
11.0	F.3635: 750 gr/ton	Konsantre	19.1	44.14	42.2
	SM-15: 850 gr/ton	Araürün	47.1	19.13	45.0
	Na ₂ SiO ₃ : 6700 gr/t	Artık	33.8	7.58	12.8
	NaOH: 5000 gr/t	Toplam	100.0	20.00	100.0
11.0	OMC-377: 500 gr/t	Konsantre	19.3	41.88	38.8
	SM-15: 700 gr/t	Araürün	60.4	18.80	54.5
	Na ₂ SiO ₃ : 4000 gr/t	Artık	20.3	6.66	6.7
	NaOH: 5000 gr/t	Toplam	100.0	20.83	100.0

4.3. Klasik Flotasyon ile Yapılan Zenginleştirme Deneyleri

Klasik flotasyon deneyleri, Denver tipi mekanik karıştırıcılı ve kendinden havalandırıcılı flotasyon makinası kullanılarak yapılmıştır. Deneylerde artıktan yaş eleme ile ayrılan 0.1 mm altı malzeme kullanılmıştır. Ön deneylerle ilintili olarak önce pH saptanması, daha sonra da sistematik olarak toplayıcı miktarı ve karışım oranını saptamak amacıyla deneyler yapılmıştır. Son olarak kontrol reaktifi miktarı tesbit edilerek, klasik flotasyon için optimum koşullar belirlenmiştir.

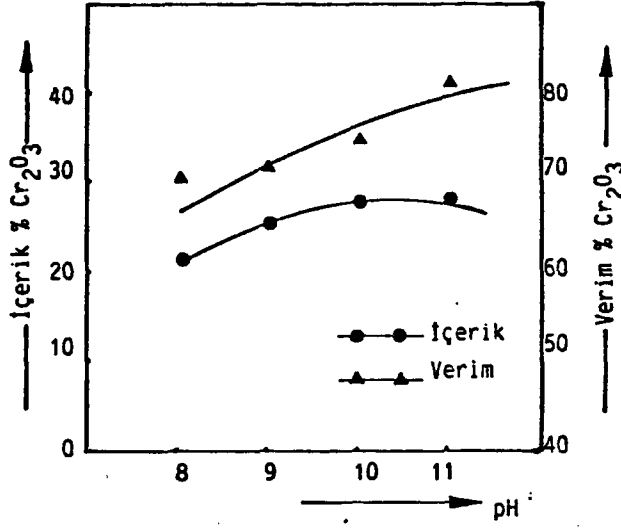
4.3.1. pH'nın Saptanması

pH saptamak amacıyla yapılan çalışmalarda, ön deneylerde iyi sonuçlar veren OMC-377 + SM-15 karışımı toplayıcı reaktif, pH düzenleyicisi olarak da NaOH kullanılmıştır. Flotasyon koşulları şu şekildedir;

Pülpde Katı Oranı	: % 20
pH	: 8.0; 9.0; 10.0 ; 11.0
OMC-377 + SM-15	: 300 + 400 gr/ton
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Flotasyon Süresi	: 1 dak.
Temizleme	: Yapılmadı

pH Değişimine bağlı olarak, konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimindeki değişim Şekil 4-1'de verilmektedir. Deneyler sonucunda en uygun pH'nın 11.0 olduğu tesbit edilmiştir.

Diğer pH düzenleyicileri olan Na_2CO_3 ve $Ca(OH)_2$ kullanılarak pH:10-11'de deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda $Ca(OH)_2$ ile başarılı sonuçlara ulaşılamamıştır. Na_2CO_3 ile yapılan deneylerde ise NaOH'e benzer sonuçlar alınmıştır.



Şekil 4-1 Konsantre Cr₂O₃ İçeriği ve Veriminin pH'a Bağlı Olarak Değişimi

4.3.2. Toplayıcı Miktarı ve Karışım Oranının Saptanması

OMC-377 ve SM-15 toplayıcıları tek tek ve karışım halinde kullanılarak, optimum flotasyon koşullarının saptanması hedeflenmiştir.

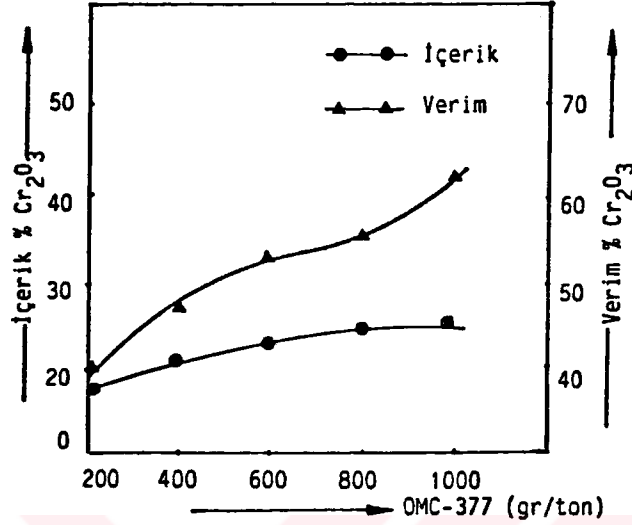
OMC-377 Miktarı Değişiminin İncelenmesi

Değiştirilmiş bir yağ asidi olan OMC-377 toplayıcısı, oksitli minerallerin, özellikle şelit in flotasyonunda etkili olan bir reaktif olarak bilinmektedir ve her pH aralığında başarılı olarak kullanılmaktadır.

Deneyler aşağıda belirtilen sabit koşullarda yapılmıştır. Konsantreler herhangi bir temizleme işlemine tabi tutulmamıştır.

Katı Oranı	: % 20
pH	: 7.5-8.0
OMC-377	: 200-300-400-500-1000 gr/ton
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Köpürtücü	: 50 gr/ton (Flotanol D-14)
Flotasyon Süresi	: 1 dak.

Şekil 4-2'de OMC-377 miktarındaki değişime bağlı olarak konsantrenin Cr_2O_3 içeriği ve verimi arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 4-2. Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin OMC-377 Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

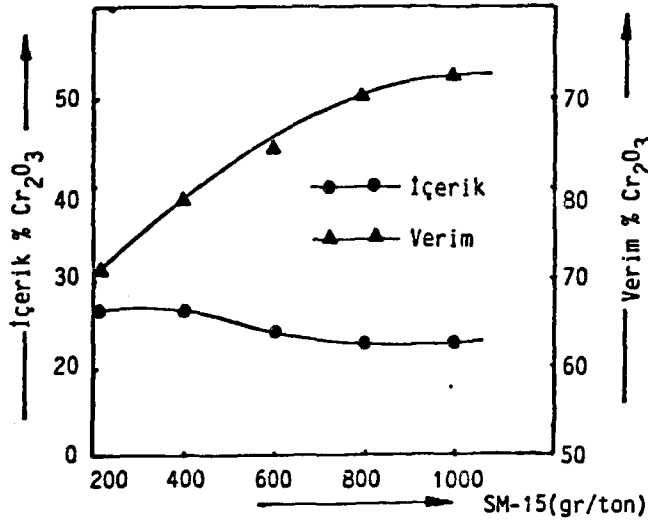
SM-15 Miktarı Değişiminin İncelenmesi

SM-15 toplayıcısı Alkil poliglitol eterin fosforik asit mono ve diester karışımı olup anyonik bir reaktiftir. Genellikle ağır metal oksitlerin flotasyonunda kullanılmaktadır.

Deneyler aşağıda belirtilen sabit koşullarda yapılmıştır. Konsantreler herhangi bir temizleme işlemine tabi tutulmamıştır.

Katı Oranı	: % 20
pH	: 7.5-8.0 (Doğal)
SM-15	: 200-300-400-500-700-1000 gr/ton
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Köpürtücü	: 50 gr/ton (Flotanol D-14)
Flotasyon Süresi	: 1 dak.

Şekil 4-3'de SM-15 miktarındaki değişime bağlı olarak konsantrenin Cr_2O_3 içeriği ve verimi arasındaki ilişki verilmektedir.



Şekil 4-3 Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin SM-15 Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

Karışım Halinde Kullanılan OMC-377 ve SM-15 Miktarlarının Saptanması

Gerek flotasyon ödeneyleri sırasında, gerekse bundan önce yapılan sistematik deneyler sırasında OMC-377 ve SM-15 toplayıcılarının tek başlarına kullanılmaları durumunda etkili olmadıkları saptanmıştır.

İki toplayıcının birlikte kullanılması durumunda, daha başarılı sonuçlar alındığı ödeneyler sırasında görülmüştür. OMC-377 ve SM-15 reaktifleri değişik oranlarda kullanılarak çok sayıda deneyler yapılmış, bunlar arasında, 500 gr/ton OMC-377, 700 gr/ton SM-15'in karışım halinde kullanıldığı deneyde en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Toplam 1200 gr/ton karışım miktarı sabit tutulup, NaOH ile pH:11'de ve Na_2CO_3 ile pH:10.3'de; değişik OMC-377/SM-15 karışım oranları kullanılarak deneyler yapılmıştır. Sonuçlar sırasıyla Çizelge 4-2, 4-3 ve Şekil 4-4, 4-5'de verilmektedir. Deneylerde sabit tutulan koşullar ise şu şekildedir;

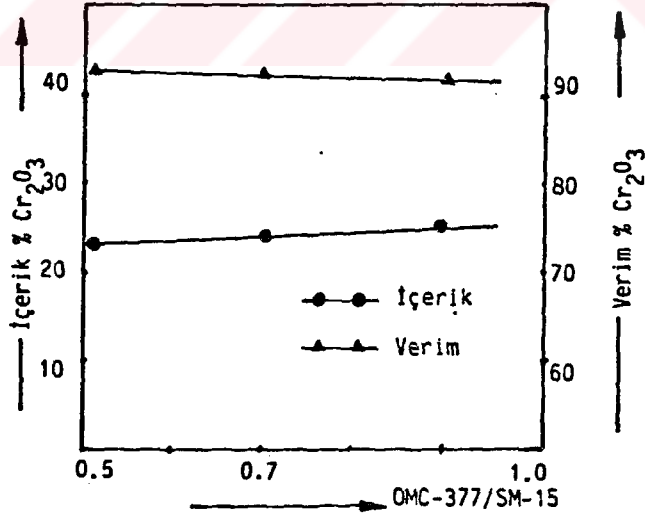
Katı Oranı : % 20
pH : 10.5-11.0 (NaOH ile)
OMC-377 + SM-15 : 1200 gr/ton
OMC-377/SM-15 : 0.5; 0.7; 1.0
Kıvam Süresi : 5 dak.
Flotasyon Süresi : 1 dak.
Temizleme : Yapılmadı

Çizelge 4-2 pH:11'de (NaOH) Değişik Karışım Oranlarında Yapılan Deneylerin Sonuçları

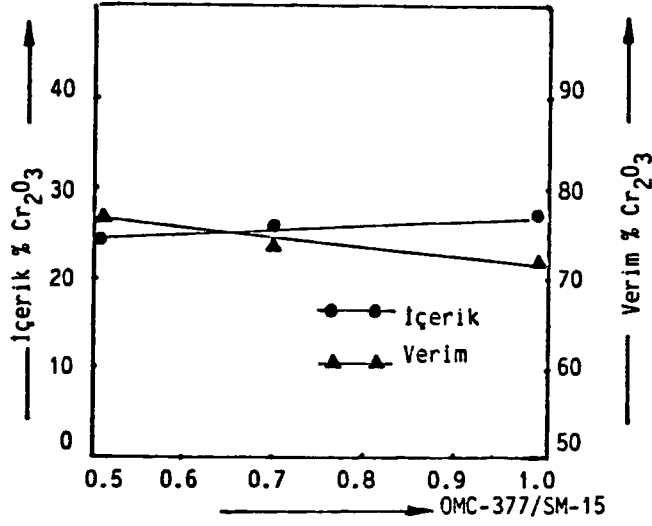
OMC-377 SM-15	Ürünler	Miktar %	Cr ₂ O ₃ İçeriği %	Verim %
0.5	Konsantre	82.3	23.57	93.9
	Artık	17.7	7.15	6.1
	Toplam	100.0	20.66	100.0
0.7	Konsantre	79.7	24.39	93.3
	Artık	20.3	6.86	6.7
	Toplam	100.0	20.83	100.0
1.0	Konsantre	79.8	23.91	91.3
	Artık	20.2	8.95	8.7
	Toplam	100.0	20.88	100.0

Çizelge 4-3 pH:10.3'de (Na_2CO_3 ile) Değişik Karışım Oranlarında Yapılan Deneylerin Sonuçları

OMC-377 SM-15	Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
0.5	Konsantre	65.0	24.17	77.5
	Artık	35.0	13.12	22.5
	Toplam	100.0	20.30	100.0
0.7	Konsantre	59.0	24.95	72.5
	Artık	41.0	13.61	27.5
	Toplam	100.0	20.30	100.0
1.0	Konsantre	56.9	25.55	71.6
	Artık	43.1	13.37	28.4
	Toplam	100.0	20.30	100.0



Şekil 4-4 pH:11'de (NaOH ile) Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin OMC-377/SM-15 Karışım Oranına Bağlı Olarak Değişimi



Şekil 4-5 pH:10.3'de (Na₂CO₃ ile) Konsantre Cr₂O₃ İçeriği ve Veriminin OMC-377/SM-15 Karışım Oranına Bağlı Olarak Değişimi

4.3.3. Na₂SiO₃ Miktarı ve Kıvam Süresinin Saptanması

Na₂SiO₃ Miktarını Saptama Deneyleri

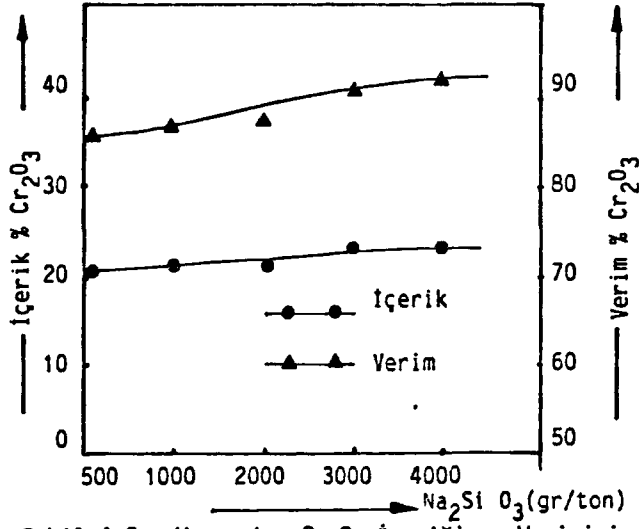
Flotasyona beslenen 0.1 mm altındaki artıktaki, % 72 oranında -0.038 mm altı malzeme bulunmaktadır. Flotasyonda etkili bir selektivitenin sağlanabilmesi için tanelerin şlamla kaplanmasının önlenmesi ve pülpün dağıtılması gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan Na₂SiO₃ ödeneyler sırasında başarılı sonuçlar vermiştir. Deneyler sırasında Na₂SiO₃ miktarı kadar, kıvam süresinin de önemli olduğu görülmüştür. Na₂SiO₃ miktarını saptamak amacıyla yapılan deneylerin koşulları şu şekildedir.

Pülpde Katı Oranı : % 20
pH : 11.0 (NaOH ile)
OMC-377 + SM-15 : 1200 gr/ton
OMC-377/SM-15 : 0.7
Na₂SiO₃ : 500, 1000, 2000, 3000, 4000 gr/ton
Na₂SiO₃ Kıvam Süresi: 15 dak.
Flotasyon Süresi : 1 dak.
Temizleme : Yapılmadı

Na_2SiO_3 miktarını saptamak amacıyla yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 4-4'de Na_2SiO_3 miktarı değişimine bağlı olarak, konsantre Cr_2O_3 içeriği ve veriminde değişim Şekil 4-6'da verilmektedir.

Çizelge 4-4 Na_2SiO_3 Miktarını Saptamak Üzere Yapılan Deneylerin Sonuçları

Na_2SiO_3 gr/ton	Ürünler	Miktar %	İçerik % Cr_2O_3	Verim % Cr_2O_3
500	Konsantre	81.8	22.31	87.6
	Artık	18.2	14.18	12.4
	Toplam	100.0	20.83	100.0
1000	Konsantre	79.3	22.82	87.0
	Artık	20.7	13.15	13.0
	Toplam	100.0	20.83	100.0
2000	Konsantre	76.6	23.40	86.1
	Artık	23.4	12.36	13.9
	Toplam	100.0	20.83	100.0
3000	Konsantre	77.5	24.20	90.0
	Artık	22.5	9.25	10.0
	Toplam	100.0	20.83	100.0
4000	Konsantre	79.7	24.39	93.3
	Artık	20.3	6.86	6.7
	Toplam	100.0	20.83	100.0



Şekil 4-6 Konsantre Cr₂O₃ İçeriği ve Veriminin Na₂SiO₃ Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

Na₂SiO₃ Kıvam Süresini Saptama Deneyleri

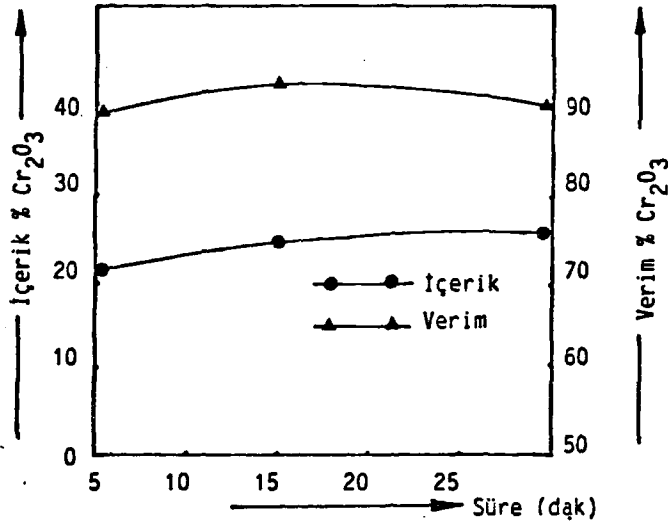
Na₂SiO₃ kıvam süresini tesbit etmek amacıyla 5 dak, 15 dak.ve 30 dak. sürelerde deneyler yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4-5 ve Şekil 4-7'de verilmektedir. Deneyler sonucunda 15 dak. kıvam süresinin yeterli olduğu saptanmıştır.

Flotasyon koşulları şu şekildedir;

Pülp-te Katı Oranı	: % 20
pH	: 11.0 (NaOH: 5000 gr/ton)
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/t
OMC-377/SM-15	: 0.7
Kıvam Süresi	: 5 dak.
Na ₂ SiO ₃	: 4000 gr/t
Flotasyon Süresi	: 1 dak.
Temizleme	: Yapılmadı

Çizelge 4-5 Na_2SiO_3 Kıvam Süresini Saptamak Amacıyla Yapılan Deneylerin Sonuçları

Kıvam Süresi (dak)	Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
5	Konsantre	77.1	23.11	89.9
	Artık	22.9	8.75	10.1
	Toplam	100.0	19.82	100.0
15	Konsantre	79.7	24.39	93.3
	Artık	20.3	6.86	6.7
	Toplam	100.0	20.83	100.0
30	Konsantre	72.4	25.87	89.9
	Artık	27.6	7.60	10.1
	Toplam	100.0	20.83	100.0



Şekil 4-7 Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin Na_2SiO_3 Kıvam Süresine Bağlı Olarak Değişimi

4.3.4. Optimum Koşullarda Yapılan Flotasyon Deneyleri

0.1 mm altı artık numunesi ile yapılan sistematik flotasyon deneyleri sonucunda, optimum flotasyon koşulları şu şekilde tesbit edilmiştir.

Optimum Flotasyon Koşulları:

Katı oranı	: % 20
pH	: 10.3 - 11.0 (Na_2CO_3 : 4000 gr/ton, NaOH:5000 gr/ton)
Na_2SiO_3	: 4000 gr/ton Kıvam 15 dak.
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton (OMC-377/SM-15:0.7) Kıvam: 5 dak.
Temizleme	: 3 Kademe

NaOH kullanılarak pH: 11'de ve Na_2CO_3 kullanılarak pH:10.3'de iki ayrı deney yapılmış, diğer koşullar ise sabit tutulmuştur. Her iki deneyden de yüksek Cr_2O_3 içerikli konsantreler elde edilmiştir.

Sonuçlar Çizelge 4-6 ve Çizelge 4-7'de verilmektedir. Çizelgelerden de izlenebileceği gibi NaOH kullanılarak pH:11'de yapılan deneyde % 7.8 oranında % 43.63 Cr_2O_3 içerikli konsantre % 16.3 krom kazanma verimi ile elde edilmekte, Na_2CO_3 kullanılarak pH: 10.3'de yapılan deneyde ise, % 11.8 oranında % 45.05 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 26.2 krom kazanma verimi ile elde edilmektedir.

NaOH'lı deneyde % 20.3 oranında, % 6.86 Cr_2O_3 içerikli artık, % 6.7 krom kaybı ile elde edilirken, Na_2CO_3 'lı deneyde % 41 oranında, % 13.11 gibi yüksek Cr_2O_3 içerikli artık, % 27.5 krom kaybı ile elde edilmektedir.

Her iki deneyde, konsantre ile araürün-1'in birleştirilmesi durumunda, NaOH'lı deney için % 19.3 oranında, % 41 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 38.8 krom kazanma verimi ile Na_2CO_3 'lı deney de ise, % 20.5 oranında, % 41.58 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 42 krom kazanma verimi ile elde edilmektedir.

Çizelge 4-6 Optimum Koşullarda NaOH
Kullanılarak pH:11'de
Yapılan Deneyin Sonuçları

Ürünler	Miktar %	İçerik % Cr_2O_3	Verim % Cr_2O_3
Konsantre	7.8	43.63	16.3
Araürün-1	11.5	40.69	22.5
Araürün(2+3)	60.4	18.80	54.5
Artık	20.3	6.86	6.7
TOPLAM	100.0	20.83	100.0

Çizelge 4-7 Optimum Koşullarda Na_2CO_3
Kullanılarak pH:10.3'de
Yapılan Deneyin Sonuçları

Ürünler	Miktar %	İçerik % Cr_2O_3	Verim % Cr_2O_3
Konsantre	11.8	45.05	26.2
Araürün-1	8.7	36.88	15.8
Araürün(2+3)	38.5	16.09	30.5
Artık	41.0	13.11	27.5
TOPLAM	100.0	20.30	100.0

4.4. Kolon Flotasyonu Deneyleri

Klasik flotasyon sisteminde mekanik karıştırma nedeniyle, hücre içersinde şiddetli bir girdap oluşmaktadır. Ayrıca oluşan kabarcıklar iri boyutlu ve heterojen dağılımlıdır. Bu durum, çok küçük boyutlu minerallerin selektif olarak yüzdürülmesinde önemli sorunlar yaratmaktadır [37,38,39] .

Kolon flotasyonu sisteminde ise, klasik flotasyonun tersine, oldukça durgun bir ortam vardır ve oluşan kabarcıklar küçük, eşboyutlu ve homojen dağılımlıdır. Kolon flotasyon hücresinin bu yapısı, küçük boyutlu tanelerin selektif olarak yüzdürülmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır.

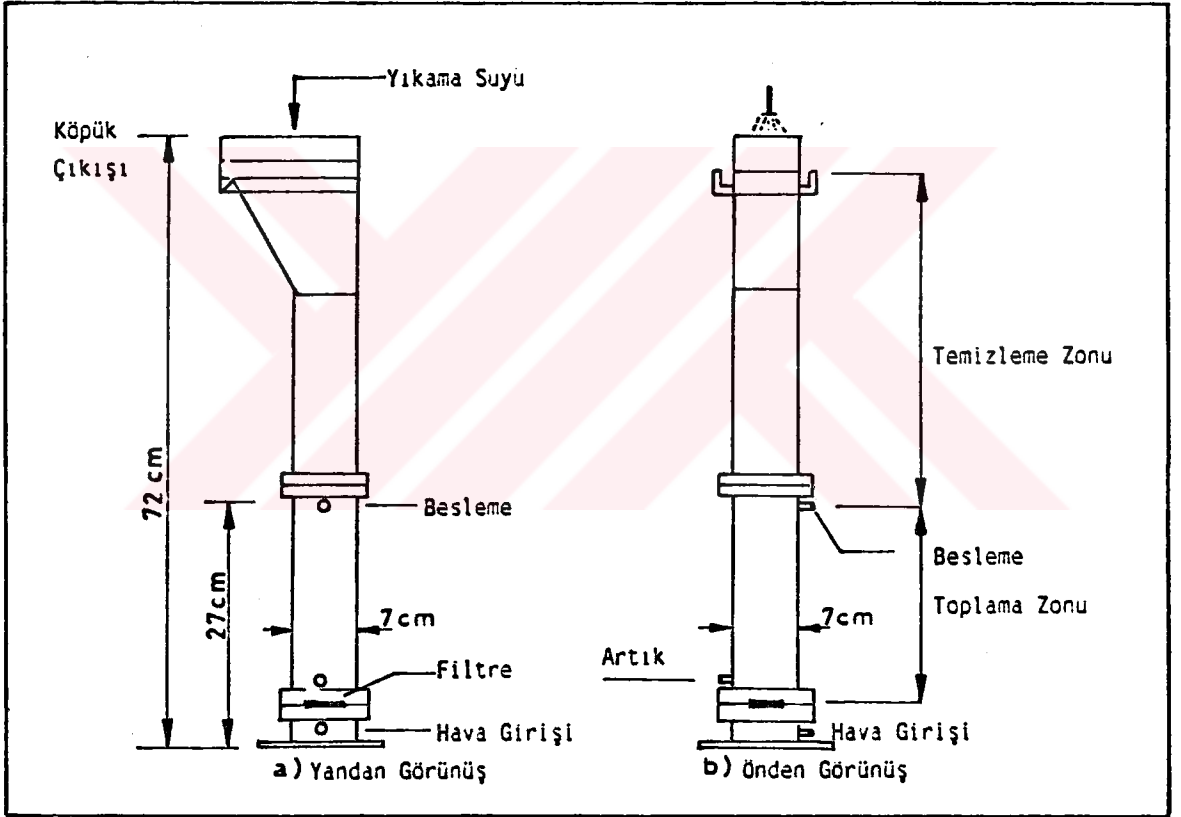
Kolon flotasyonu hücresinde alttan gelen hava kabarcığı, belli bir hızla yukarıya doğru yükselirken, daha önce kıvamlandırılan pülp, hücreye beslenmekte ve taneler aşağıya doğru hareket etmektedir. Kullanılan reaktifin etkinliğine bağlı olarak hidrofobik özellik kazanan taneler, kabarcığa yapışarak, yüzdürülmektedir. Yüzen mineral yüklü kabarcıklar taşma bölümüne geldiklerinde, yıkama suyu verilerek suretiyle, şlamla kaplanmış tanelerden temizlenmekte ve temiz bir konsantre elde edilmektedir [40,41,42] .

Deneylerde kullanılan laboratuvar tipi kolon flotasyon hücresi şematik olarak Şekil 4-8'de verilmektedir. Kolon flotasyonu üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm, hücrenin en altında bulunan kabarcık bölümüdür. İkinci bölüm toplama; üçüncü bölüm ise temizleme bölümüdür. Dışarıdan verilen basınçlı hava kabarcık üretim bölümünde bulunan filtreden geçerek, hücrenin her tarafına homojen biçimde dağılan eş boyutlu kabarcıklar oluşmaktadır. Kabarcık çapları, değişik açıklıklı filtreler kullanılarak değiştirilebilmektedir. Toplama bölümünde, taneciklerin hava kabarcığına yapışması gerçekleşmekte, temizleme bölümünde ise, konsantrenin temizlenmesi sağlanmaktadır.

Toplama bölümü, pülpün kolona beslendiği nokta ile kabarcık üretim bölümü arasında kalan bölümdür ve besleme noktası değiştirilerek

bu bölümün mesafesi ayarlanabilmektedir. Deneylerde, besleme noktası tabandan itibaren, hücre yüksekliğinin 1/3'ü kadar seçilmiş ve sabit bırakılmıştır.

Kolon flotasyonu sistematik deneylerinde, pülpün katı oranı, toplayıcı miktarı kontrol reaktifi ve pH değişiminin flotasyondaki etkileri incelenerek, optimum kolon flotasyonu koşullarının tesbiti amaçlanmıştır.



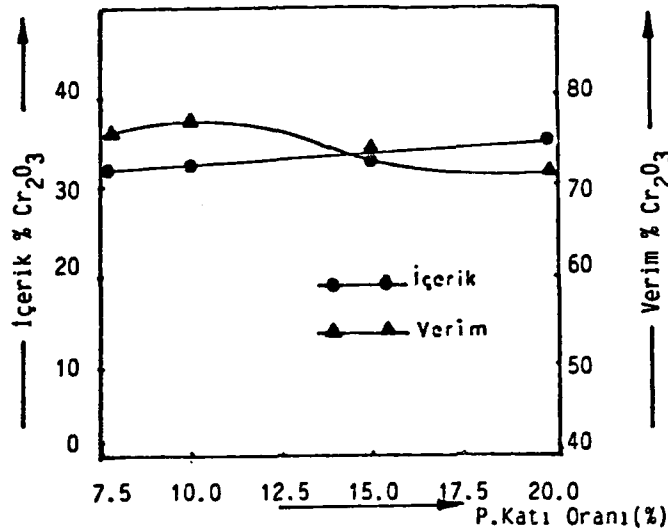
Şekil 4-8 Laboratuvar Tipi Kolon Flotasyonu Hücresinin Şematik Görünüşü

4.4.1. Pülpde Katı Oranının Saptanması

Kolon flotasyonu öndeneylelerinde pülpde katı oranı değişiminin, flotasyon verimi önemli ölçüde etkilediği gözlemlendiğinden, aşağıda belirtilen koşullar sabit tutularak, en uygun katı oranının saptanmasına yönelik sistematik deneyler yapılmıştır. Flotasyon koşulları şu şekildedir;

Hava Miktarı	: 2.0 lt/dak
Pülpde Katı Oranı	: % 5; % 7.5; % 10; % 15; % 20
pH	: 10.0-10.3 (Na_2CO_3 : 4000 gr/ton)
Na_2SiO_3	: 4000 gr/ton Kıvam: 15'
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton OMC-377/SM-15: 0.25 Kıvam: 5'
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: Yapılmadı

Deney sonuçları Çizelge 4-8'de, pülpde katı oranı değişiminin, konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimine olan etkisi Şekil 4-9'da verilmektedir. Çizelge 4-8 ve Şekil 4-9'dan da görüldüğü gibi en iyi sonuç, % 10 katı oranında yapılan kolon flotasyonu deneyinden elde edilmektedir.



Şekil 4-9 Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin Pülpde Katı Oranına Bağlı Olarak Değişimi

Çizelge 4-8 Pülpde Katı Oranını Saptamak Ama-
cıyla Yapılan Deneylerin Sonuçları

Katı Oranı	Ürünler	Miktar %	Cr ₂ O ₃ İçeriği %	Verim %
5	Konsantre	39.9	32.81	62.9
	Artık	60.1	12.87	37.1
	Toplam	100.0	20.83	100.0
7.5	Konsantre	47.9	30.84	70.9
	Artık	52.1	11.63	29.1
	Toplam	100.0	20.83	100.0
10	Konsantre	46.7	33.03	74.1
	Artık	53.3	10.14	25.9
	Toplam	100.0	20.83	100.0
15	Konsantre	40.5	32.52	63.2
	Artık	59.5	12.87	36.8
	Toplam	100.0	20.83	100.0
20	Konsantre	36.4	35.61	62.2
	Artık	63.6	12.37	37.8
	Toplam	100.0	20.83	100.0

4.4.2. Toplayıcı Miktarının Saptanması

Klasik flotasyon sistematik deneylerine benzer biçimde OMC-377 ve SM-15 toplayıcılarının ayrı ayrı ve karışım halinde kullanılmaları durumunda, kolon flotasyonundaki etkinlikleri araştırılmıştır.

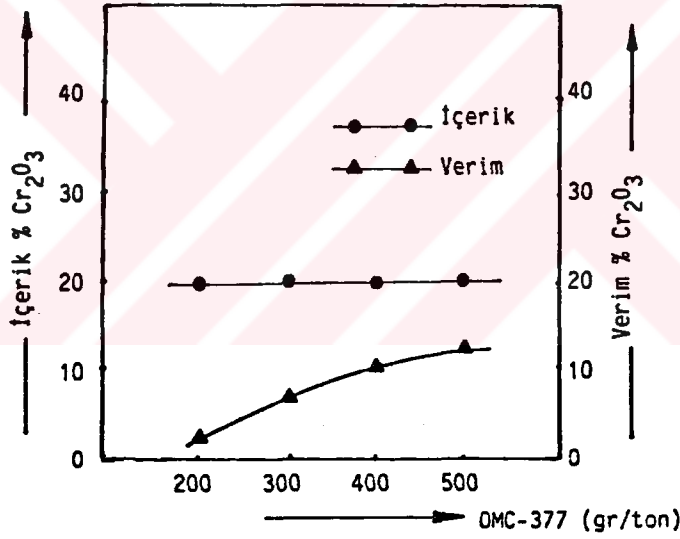
OMC-377 Miktarının Saptanması

Aşağıda belirtilen flotasyon koşulları sabit tutularak, OMC-377 toplayıcısından 200, 300, 400 ve 500 gr/ton düzeylerinde kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Flotasyon Koşulları:

Hava Miktarı	: 2.0 lt/dak
Katı Oranı	: % 10
pH	: 7.5 - 8.0 (Doğal)
OMC-377	: 200; 300; 400; 500 gr/ton Kıvam: 5'
Köpürtücü	: 50 gr/t (Flotanol D-14)
Flotasyon Süresi	: 5 dak.

Şekil 4-10'da OMC-377 değişiminin konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimi üzerindeki etkisi verilmektedir. OMC-377 tek başına kullanıldığında kolon flotasyonundan da olumlu bir sonuç alınamamaktadır.



Şekil 4-10 Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin OMC-377 Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

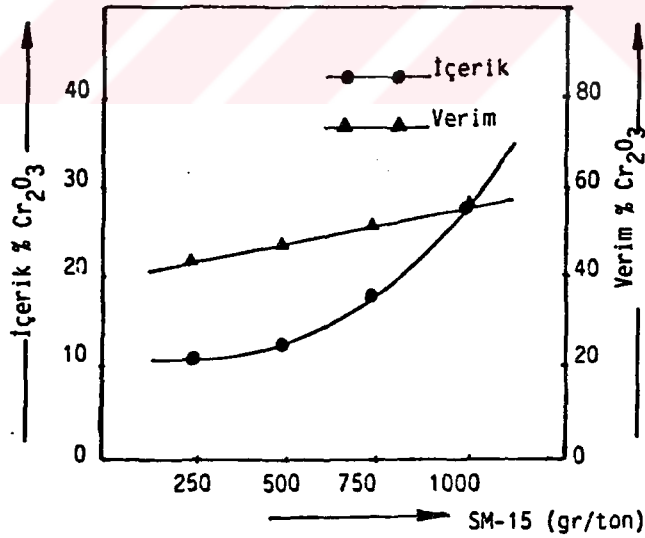
SM-15 Miktarının Saptanması

Aşağıda belirtilen flotasyon koşulları sabit tutularak, SM-15 toplayıcısı 250, 500, 750 ve 1000 gr/ton düzeyinde kullanılarak deneyler yapılmıştır.

Flotasyon Koşulları:

Hava Miktarı	: 2.0 lt/dak
Katı Oranı	: % 10
pH	: 7.5 - 8.0 (Doğal)
SM-15	: 250; 500; 750; 1000 gr/ton Kıvam: 5'
Köpürtücü	: 50 gr/ton (Flotanol D-14)
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: Yapılmadı

Şekil 4-11'de SM-15 değişiminin konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimi üzerindeki etkisi verilmektedir. SM-15 miktarındaki artışa paralel olarak, konsantre Cr_2O_3 içeriğinde ve veriminde belirgin bir artış gözlenmektedir. 1000 gr/ton SM-15'in kullanıldığı deneyde, % 39 oranında, % 29.81 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 57.1 krom kazanma verimi ile elde edilmektedir. 1000 gr/ton'un üzerinde kullanılan miktarlarda ise benzer sonuçlar alınmıştır.



Şekil 4-11 Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin SM-15 Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

pH:7.5 - 8.0 (Doğal)'de ve 1000 gr/ton SM- 15 kullanılarak yapılan kolon flotasyon deneyinde, klasik flotasyonun tersine yüksek Cr_2O_3 içerikli konsantrenin elde edildiği görülmüştür. Aynı deneyler pH:11.0' de tekrarlanarak, yüksek pH'nın konsantrenin Cr_2O_3 içeriği ve verimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

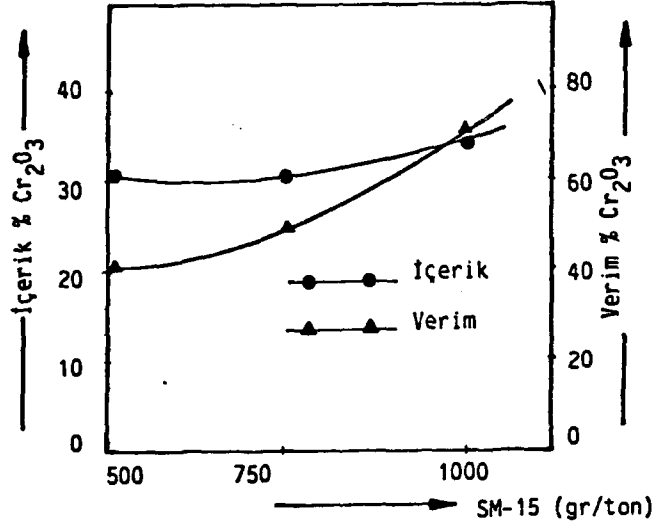
Flotasyon Koşulları:

Hava Miktarı	: 2.0 lt/dak
Katı Oranı	: % 10
pH	: 11.0 (NaOH: 5000 gr/ton)
SM-15	: 500; 750; 1000 gr/ton Kıvam 5'
Köpürtücü	: 50 gr/ton (Flotanol D-14)
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: Yapılmadı

Deney sonuçları Çizelge 4-9'da, SM-15 değişiminin konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimi üzerindeki etkisi ise Şekil 4-12'de verilmektedir. 1000 gr/ton SM-15'in kullanıldığı deneyde, % 45 oranında, % 34.27 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 75.7 verim ile kazanılmakta, % 55 oranındaki, % 8.99 Cr_2O_3 içerikli artık % 24.3 krom kaybı ile elde edilmektedir.

Çizelge 4-9 pH:11.0'de SM-15 Reaktifi ile Yapılan Kolon Flotasyon Deneyleri Sonuçları

SM-15 gr/ton	ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
500	Konsantre	26.3	31.62	40.8
	Artık	73.4	16.41	59.2
	Toplam	100.0	20.36	100.0
750	Konsantre	33.3	31.29	51.2
	Artık	66.7	14.90	48.8
	Toplam	100.0	20.36	100.0
1000	Konsantre	45.0	34.27	75.7
	Artık	55.0	8.99	24.3
	Toplam	100.0	20.36	100.0



Şekil 4-12 pH:11'de Konsantre Cr₂O₃ İçeriği ve Veriminin SM-15 Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

Karışım Halinde Kullanılan OMC-377 ve SM-15 Miktarının Saptanması

Klasik flotasyon sistematik deneylerinde gözlemlendiği gibi, OMC-377 reaktifinin tek başına etkin olmadığı anlaşılmıştır. Ancak SM-15 reaktifi ile karışım halinde kullanıldığında, kromitin selektif olarak yüzdürülmesini kolaylaştırmakta ayrıca hiçbir köpürtücü reaktife gerek duyulmadan, uygun yapıda köpük oluşturmaktadır.

Kolon flotasyonu deneylerinde OMC-377 + SM-15 karışımı, 1200 gr/ton olarak sabit tutulmuştur.

OMC-377/SM-15 Karışım Oranının Saptanması

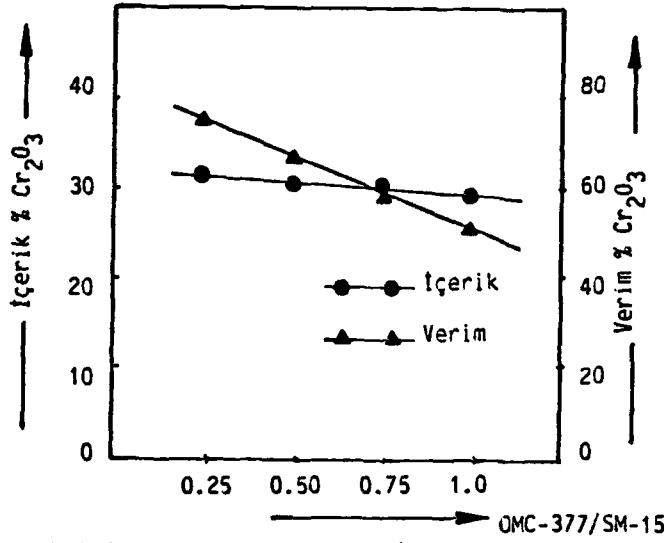
1200 gr/ton karışım miktarı sabit tutularak, 0.2, 0.5, 0.7 ve 1.0 OMC-377/SM-15 karışım oranlarında kolon flotasyonu deneyleri yapılmıştır. Deneylerde sabit tutulan koşullar aşağıda verilmektedir;

Hava Miktarı : 2.0 lt/dak
Pülpde Katı Oranı : % 10
pH : 11.0 (NaOH: 5000 gr/t)
Na₂SiO₃ : 4000 gr/t Kıvam: 15'
OMC-377 + SM-15 : 1200 gr/ton OMC-377/SM-15: 0.2,0.5, 0.7,1.0
Kıvam 5'
Flotasyon Süresi : 5'
Temizleme : Yapılmadı

Deney sonuçları  izelge 4-10'da, karışım oranı değişiminin konsantre Cr₂O₃ içeriği ve verimi üzerindeki etkileri şekil 4-13'de verilmektedir. Sonuçlardan da izlenebileceği gibi, 0.2 karışım oranında en iyi sonuç elde edilmiştir. Bu deneyde % 48.4 oranında % 33.44 Cr₂O₃ içerikli konsantre, % 79.5 krom kazanma verimi ile elde edilmekte, % 8.09 Cr₂O₃ içerikli artık ise % 20.5 krom kaybı ile atılmaktadır.

Çizelge 4-10 OMC-377/SM-15 Karışım Oranını Sap-
tamak Amacıyla Yapılan Kolon Flo-
tasyon Deneyleri Sonuçları

OMC-377 SM-15 (gr/t)	�r�nler	Miktar %	Cr ₂ O ₃ içeriği %	Verim %
0.2	Konsantre	48.4	33.44	79.5
	Artık	51.6	8.09	20.5
	Toplam	100.0	20.36	100.0
0.5	Konsantre	41.6	32.45	66.3
	Artık	58.4	11.75	33.7
	Toplam	100.0	20.36	100.0
0.7	Konsantre	40.1	30.30	59.3
	Artık	59.9	13.91	40.7
	Toplam	100.0	20.48	100.0
1.0	Konsantre	34.4	31.79	53.7
	Artık	65.6	14.41	46.3
	Toplam	100.0	20.36	100.0



Şekil 4-13 Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin OMC-377/SM-15 Karışım Oranına Bağlı Olarak Değişimi

4.4.3. pH'nın Saptanması

pH saptama amacıyla yapılan deneylerde, OMC-377 ve SM-15 toplayıcıları birlikte kullanılmış, pH düzenleyicisi olarak da NaOH kullanılmıştır. Flotasyon koşulları şu şekildedir;

Pülpde Katı Oranı	: % 10
Hava Miktarı	: 2.0 lt/dak
pH	: 8.0; 9.5; 11.0 (NaOH ile)
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton OMC-377/SM-15: 0.2 Kıvam:5'
Na_2SiO_3	: 4000 gr/ton Kıvam: 15'
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: Yapılmadı

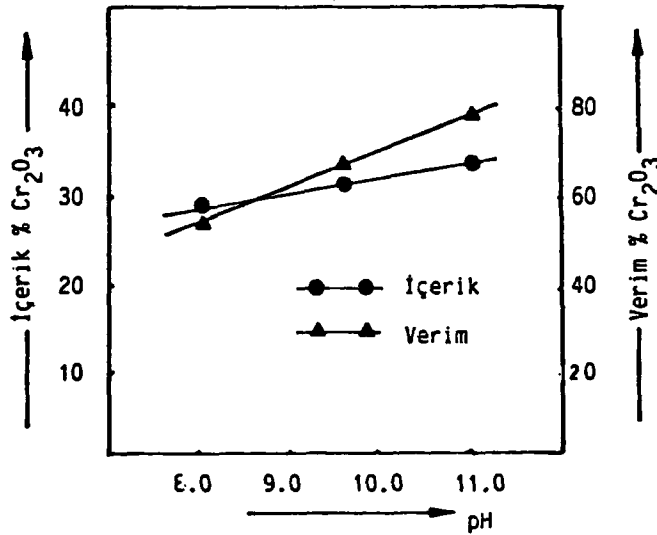
Deneylere ilişkin sonuçlar Çizelge 4-11'de, pH değişiminin konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimi üzerindeki etkisi Şekil 4-14'de verilmektedir.

Çizelge 4-11'den de izlendiği gibi pH'daki artışa paralel olarak konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimi yükseltmektedir. pH:8.0'de (Doğal) % 39.0 oranında % 29.81 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 57.1 verimle elde edilirken, pH:9.5'da % 42 oranındaki konsantre, % 31.50 Cr_2O_3 içeriği

ve % 65 krom kazanma verimi ile, pH:11'de ise % 48.4 oranındaki konsantre % 33.44 Cr_2O_3 içeriği ve % 79.5 krom kazanma verim ile elde edilmektedir.

Çizelge 4-11 pH Saptamak Amacıyla Yapılan Kolon Flotasyon Deneyi Sonuçları

pH	Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
8.0	Konsantre	39.0	29.81	57.1
	Artık	61.0	14.31	42.9
	Toplam	100.0	20.36	100.0
9.5	Konsantre	42.0	31.50	65.0
	Artık	58.0	12.28	35.0
	Toplam	100.0	20.36	100.0
11.0	Konsantre	48.4	33.44	79.5
	Artık	51.6	8.09	20.5
	Toplam	100.0	20.35	100.0



Şekil 4-14 Konsantre Cr_2O_3 İçeriği ve Veriminin pH'a Bağlı Olarak Değişimi

4.4.4. Na_2SiO_3 Miktarının Saptanması

Kolon flotasyonu deneylerinde pülpü dağıtmak ve gang minerallerini bastırmak amacıyla 1000 ile 4000 gr/ton arasında değişen miktarlarda Na_2SiO_3 kullanılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4-12 ve Şekil 4-15'de verilmektedir.

Na_2SiO_3 miktarı tesbit deneylerinde sabit tutulan flotasyon koşulları şu şekildedir;

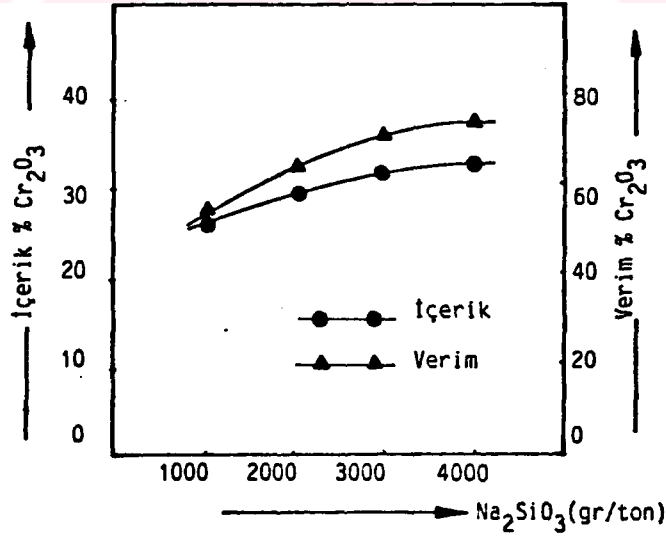
Hava Miktarı	: 2.0 lt/dak
Katı Oranı	: % 10
pH	: 10 - 10.3 (Na_2CO_3 : 4000 gr/ton)
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton OMC-377/SM-15: 0.2
Na_2SiO_3	: 1000, 2000, 3000, 4000 gr/ton
Kıvam (Na_2SiO_3)	: 15 dak.
Flotasyon Süresi	: 5 dak.
Temizleme	: Yapılmadı

Çizelge 4-12 ve Şekil 4-15'den de izlenebileceği gibi 3000 gr/ton Na_2SiO_3 miktarına kadar büyük bir yükselme gösteren konsantre krom içeriği ve verimi bunun üstündeki Na_2SiO_3 miktarlarında önemli bir değişim göstermemektedir. En iyi sonucun elde edildiği 3000 gr/ton Na_2SiO_3 miktarında, % 46.7 oranındaki konsantre % 33.03 Cr_2O_3 içeriği ve % 74.1 verim ile elde edilmiştir.

Konsantre verimi arttıkça konsantre tenörünün de artması genelde zenginleştirme kurallarıyla çalışmaktadır. Ancak Na_2SiO_3 miktarındaki artışa paralel olarak, pülpün dağılması daha iyi sağlanmakta ve tanelerin şlamla kaplanmasını önleyerek selektiviteyi ve dolayısıyla da konsantrenin Cr_2O_3 içeriğini artırmaktadır. Öte yandan şlamin dağıtılması, kullanılan kollektörün etkinliğini artırarak verimin yükselmesine sebep olmaktadır.

Çizelge 4-12 Na_2SiO_3 Miktarını Saptamak Amacıyla Yapılan Deneyin Sonuçları

Na_2SiO_3 gr/ton	Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
1000	Konsantre	43.3	27.47	57.1
	Artık	56.7	15.76	42.9
	Toplam	100.0	20.83	100.0
2000	Konsantre	46.3	29.20	64.9
	Artık	53.7	13.61	35.1
	Toplam	100.0	20.83	100.0
3000	Konsantre	46.7	33.03	74.1
	Artık	53.3	10.14	25.9
	Toplam	100.0	20.83	100.0
4000	Konsantre	46.5	33.17	74.0
	Artık	53.5	10.10	26.0
	Toplam	100.0	20.83	100.0



Şekil 4-15 Konsantre Cr_2O_3 içeriği ve Veriminin Na_2SiO_3 Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

4.4.5. Optimum Koşullarda Yapılan Kolon Flotasyonu Deneyleri

Kolon flotasyon yöntemi ile yapılan sistematik deneyler sonucunda optimum koşullar şu şekilde tesbit edilmiştir;

Hava Miktarı	: 2.0 lt/dak
Katı Oranı	: % 10
pH	: 10 -11
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton Kıvam 5'
OMC-377/SM-15	: 0.2
Na ₂ SiO ₃	: 3000 gr/ton Kıvam: 15'
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: 3 Kademe

Optimum koşullarda yapılan flotasyon deneyinde ilk olarak elde edilen kaba konsantre, aynı flotasyon hücresinde reaktifsiz olarak 3 kez temizlenmiştir. pH düzenleyicisi olarak pH:10 - 10.3 aralığında Na₂CO₃, pH:10.5 - 11 aralığında ise NaOH kullanılarak iki ayrı deney yapılmıştır. Sonuçlar Çizelge 4-13 ve 4-14'de verilmektedir.

NaOH kullanılarak pH:11'de yapılan deneyde % 15.4 oranında, % 49.17 Cr₂O₃ içerikli konsantre, % 37.7 verimle elde edilmektedir. % 43.58 Cr₂O₃ içerikli Araürün-1'in konsantreye katılması durumunda, % 48.73 Cr₂O₃ içerikli konsantre % 40.5 krom kazanma verimi ile elde edilmektedir. Toplam malzemenin % 51.6' sı oranındaki, % 8.09 Cr₂O₃ içerikli artık, % 20.8 krom kaybı ile uzaklaştırılmaktadır.

pH:10.3'de Na₂CO₃ kullanılarak yapılan deneyde ise benzer Cr₂O₃ içerikli konsantre alınmasına karşın, konsantre veriminde 5 puanlık düşme ortaya çıkmaktadır. Konsantrenin araürün-1 ile birleşmesi durumunda % 46.73 içerikli konsantre % 35.6 verim ile elde edilmektedir. NaOH ile pH:11'de yapılan kolon flotasyonunda ise verim % 40.5'dir.

Araürün-2 ve Araürün-3'ün birleştirilmesiyle, her iki deneyde % 30 oranında, % 24 Cr₂O₃ içerikli araürün elde edilmektedir. Bu araürünün konsantre ve artığa dağıtılması durumunda, NaOH kullanılan deneyde

% 71 krom kazanma verimi, Na_2CO_3 kullanılan deneyde ise % 59.3'lik krom kazanma verimi elde edilmektedir.

Deneyler sonucunda elde edilen Araürün-1'in konsantreye katılması, Araürün-2 ve 3'ün konsantre ve artık arasında dağıtılması durumunda elde edilen sonuçlar, Na_2CO_3 'lı deney için Çizelge 4-15 NaOH 'li deney için Çizelge 4-16'da verilmektedir.

Çizelge 4-13 Optimum Koşullarda Na_2CO_3 Kullanılarak pH:10.3'de Yapılan Deneyin Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
Konsantre	13.0	49.01	32.1
Araürün-1	2.1	32.67	3.5
Araürün-2	5.2	25.03	6.5
Araürün-3	24.3	22.78	27.8
Artık	55.4	10.80	30.1
TOPLAM	100.0	19.88	100.0

Çizelge 4-14 Optimum Koşullarda NaOH Kullanılarak pH:11'de Yapılan Deneyin Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
Konsantre	15.4	49.17	37.7
Araürün-1	1.3	43.58	2.8
Araürün-2	9.3	33.61	15.6
Araürün-3	22.4	20.75	23.1
Artık	51.6	8.09	20.8
TOPLAM	100.0	20.08	100.0

Çizelge 4-15 Optimum Koşullarda Na_2CO_3 Kullanılarak Yapılan Deneyin Nihai Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
Konsantre	25.2	46.73	59.3
Artık	74.8	10.80	40.7
TOPLAM	100.0	19.88	100.0

Çizelge 4-16 Optimum Koşullarda NaOH Kullanılarak Yapılan Deneyin Nihai Sonuçları

Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçeriği %	Verim %
Konsantre	29.5	48.73	71.6
Artık	70.5	8.09	28.4
TOPLAM	100.0	20.08	100.0

4.5. Jet Flotasyonu Deneyleri

Çok küçük boyutlu tanelerin zenginleştirilmesinde kullanılan jet flotasyonu, Berlin Teknik Üniversitesi tarafından geliştirilmiştir. 0.053 mm altındaki tanelerin yüzdürülmesinde başarılı olarak kullanılmaktadır [26] .

Şekil 4-16'da şematik bir görünüşü verilen Jet Flotasyon Sistemi başlıca iki bölümden oluşmaktadır. 1.Bölüm, kıvamlandırma bölümü, 2. Bölüm ise flotasyonun gerçekleştirildiği, Jet Flotasyon hücresidir.

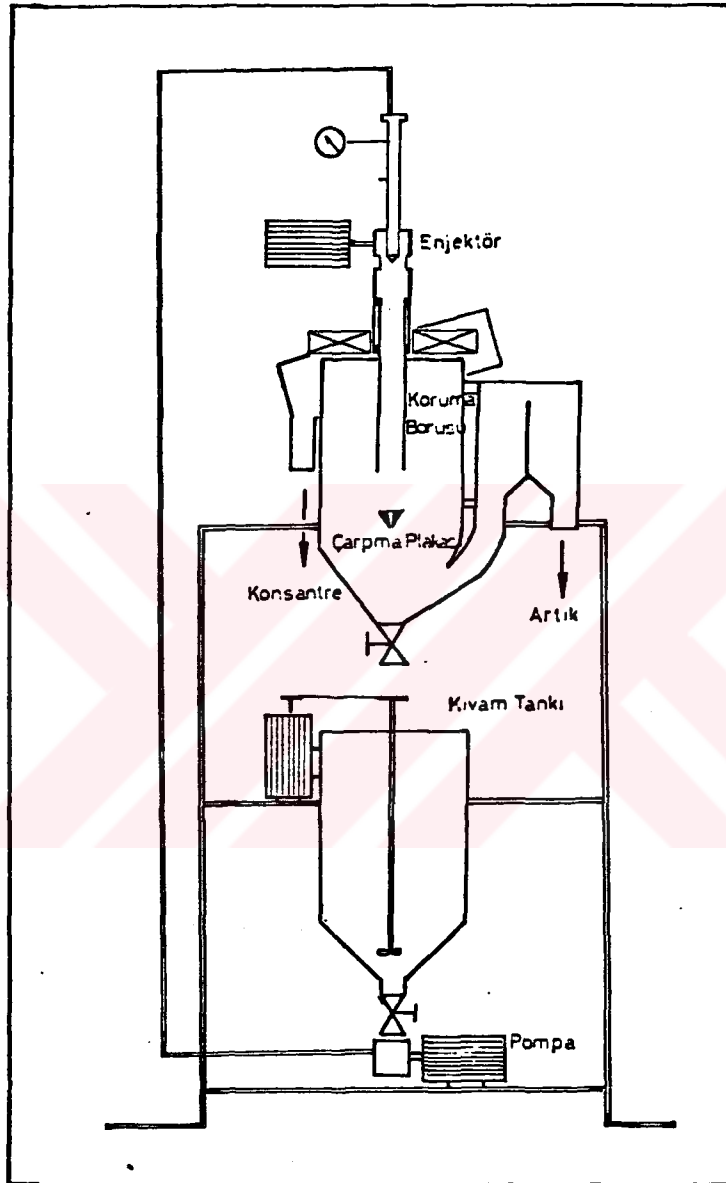
Kıvamlandırma bölümünde, pülpe gerekli reaktifler eklenip, kıvamlandırma sağlandıktan sonra, pülp bir pompa yardımıyla jet flotasyon hücresinde bulunan enjektöre basılmaktadır. Hava ile karışıp, basınçlı olarak enjektörden çıkan pülp, hücre içersinde bulunan çarpma plakasına çarparak şiddetli bir girdap oluşturmaktadır. "Girdaplı Bölüm" (Maksimum Türbülans Zonu) olarak adlandırılan bu bölümde, flotasyonunun birinci koşulu olan, katının hava kabarcığı ile karşılaşması ve yapışması sağlanmaktadır. Girdaplı akış bölümünün kalınlığı enjektör çevresindeki koruma borusunun, çarpma plakası ile olan mesafesine ve enjektörün pülp seviyesi ile olan mesafesine ve pülpün basıncına bağlı olarak değişmektedir.

Yüklü kabarcıkların girdaplı akış bölümünden, köpük alma seviyesine kadar yükseldikleri bölüm "Durgun Akış Bölümü" (Laminer Akış Zonu) dur. Bu bölüm koruma borusunun hareketiyle düzenlenmektedir. Jet flotasyonunda selektivite bu bölümde sağlanmaktadır.

Jet flotasyonuna hava giriş enjektör çevresindeki koruma borusu ile ayarlanmaktadır. Hava girişi, klasik flotasyon sistemine oranla oldukça fazladır. Oluşan kabarcıklar bol miktarda ve küçük çaplıdır. Bu durum, çok küçük taneli cevherlerin flotasyonunda kolaylık sağlamaktadır.

Deneylerde kullanılan Jet Flotasyon hücresinin özellikleri şu şekildedir.

Kıvam Tankı Hacmi	: 30 lt
Jet Flotasyon Hücre Hacmi	: 30 lt
Enjektör Basıncı	: 0.8 - 1.0 kg/cm ²
Enjektörün Pülpe Dalma Seviyesi	: 0.3 m
Koruma Borusu Dalma Derinliği	: 0.2 m
Pompa Debisi	: 1.2 m ³ /h
Enjektör Delik Sayısı ve Çapı	: 3 adet, 0.003 m



Şekil 4-16 Jet Flotasyon Sisteminin Şematik Görünüşü

4.5.1. Pülpde Katı Oranının Saptanması

Jet Flotasyon ödeneylerinde pülpde katı oranı değişiminin, flotasyon verimini önemli ölçüde etkilediği gözlemlendiğinden, aşağıda belirtilen koşullar sabit tutularak, en uygun katı oranının saptanmasına yönelik sistematik deneyler yapılmıştır.

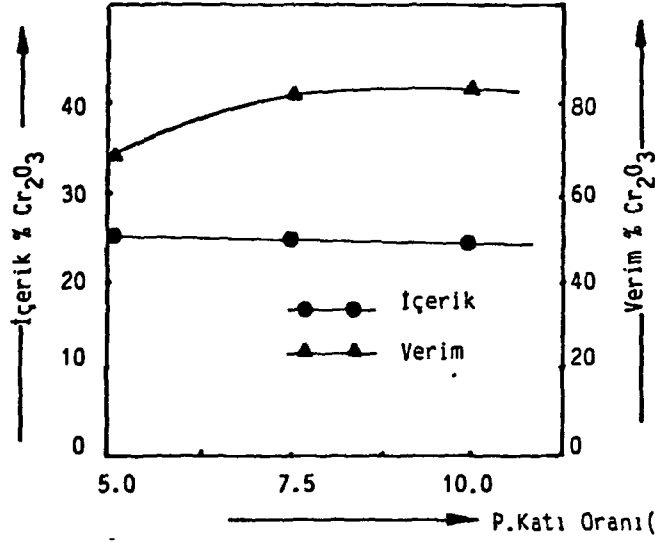
Flotasyon Koşulları:

Pülpde Katı Oranı	: % 5, % 7.5, % 10
pH	: 11.0 (NaOH: 5000 gr/ton)
Na ₂ SiO ₃	: 4000 gr/ton Kıvam: 15'
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton OMC-377/SM-15: 0.2 Kıvam: 5'
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: Yapılmadı

Deney sonuçları Çizelge 4-17'de, pülpde katı oranı değişiminin, konsantre Cr₂O₃ içeriği ve verimine olan etkisi Şekil 4-17'de verilmektedir. Deneylerden % 7.5 ve % 10 katı oranlarında benzer sonuçlar alınmıştır. Sistematik deneyler için % 10 katı oranı tercih edilmiştir.

Çizelge 4-17 Pülpde Katı Oranını Saptamak Amacıyla Yapılan Deneylerin Sonuçları

Katı Oranı	Ürünler	Miktar %	Cr ₂ O ₃ İçeriği %	Verim %
5.0	Konsantre	52.3	26.35	68.1
	Artık	47.7	13.51	31.9
	Toplam	100.0	20.22	100.0
7.5	Konsantre	64.6	25.88	82.3
	Artık	35.4	10.13	17.7
	Toplam	100.0	20.30	100.0
10.0	Konsantre	65.4	25.26	82.6
	Artık	34.6	10.10	17.4
	Toplam	100.0	20.01	100.0



Şekil 4-17 Konsantre Cr₂O₃ İçeriğinin ve Veriminin, Pülpte Katı Oranına Bağlı Olarak Değişimi

4.5.2. Toplayıcı Miktarının Saptanması

Jet Flotasyonu deneylerinde de, klasik ve kolon flotasyon deneylerinde olduğu gibi OMC-377 ve SM-15 toplayıcıları kullanılmış, toplam karışım miktarı 1200 gr/ton olarak sabit tutulmuştur. OMC-377 ve SM-15 için ayrı ayrı miktar saptama deneyleri yapılmış, sadece OMC-377/SM-15 karışım oranının değişimi incelenmiştir.

OMC-377/SM-15 Karışım Oranının Saptanması

1200 gr/ton karışım miktarı sabit tutularak, 0.2, 0.5, 0.7 ve 1.0 OMC-377/SM-15 karışım oranlarında Jet Flotasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylerde sabit tutulan koşullar aşağıda verilmektedir;

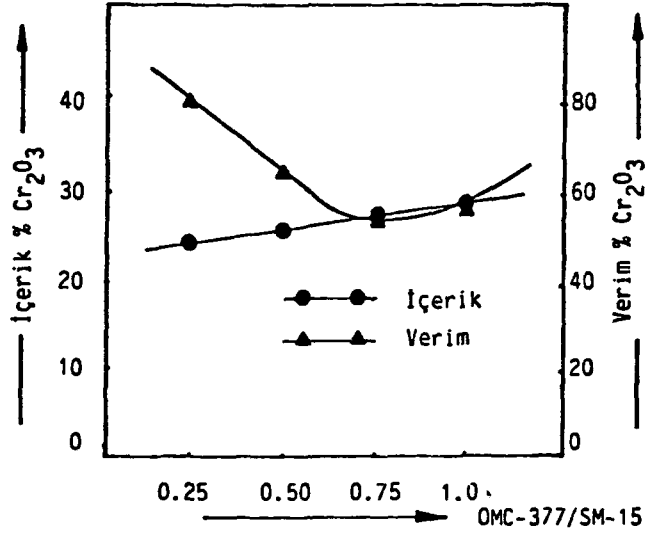
Pülpte Katı Oranı	: % 10
pH	: 11.0 (NaOH: 5000 gr/ton)
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton, OMC-377/SM-15: 0.2, 0.5, 0.7, 1.0 Kıvam: 5'
Na ₂ SiO ₃	: 4000 gr/ton Kıvam 15'
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: Yapılmadı

0.2, 0.5, 0.7 ve 1.0 OMC-377/SM-15 karışım oranında yapılan jet flotasyonu deney sonuçları Çizelge 4-18'de, karışım oranı değişiminin, konsantre Cr_2O_3 içeriği ve verimi üzerindeki etkileri ise Şekil 4-18'de verilmektedir.

Karışım oranı tesbit deneylerinde, konsantre verimi dikkate alındığında en iyi sonuç OMC-377/SM-15 oranının 0.2 olduğu deneyde elde edilmiştir. İçerik açısından ise en iyi sonuç 1.0 karışım oranında elde edilmiştir. Reaktif karışımı içerisinde OMC-377'nin oranı arttıkça konsantre tenörünün yükseldiği verimin ise azaldığı Şekil 4-18'de açıkça görülmektedir.

Çizelge 4-18 OMC-377/SM-15 Karışım Oranını Saptamak Amacıyla Yapılan Deneylerin Sonuçları

OMC-377 SM-15	Ürünler	Miktar %	Cr_2O_3 İçerik %	Verim %
0.2	Konsantre	65.4	25.26	82.5
	Artık	34.6	10.10	17.5
	Toplam	100.0	20.01	100.0
0.5	Konsantre	48.8	26.29	65.8
	Artık	51.2	13.00	34.2
	Toplam	100.0	19.50	100.0
0.7	Konsantre	37.9	27.62	52.1
	Artık	62.1	15.50	47.9
	Toplam	100.0	20.08	100.0
1.0	Konsantre	36.0	30.68	58.0
	Artık	64.0	12.50	42.0
	Toplam	100.0	19.06	100.0



Şekil 4-18 Konsantre Cr_2O_3 İçeriğinin ve Veriminin OMC-377/SM-15 Karışım Oranına Bağlı Olarak Değişimi

4.5.3. pH'nın Saptanması

OMC-377 + SM-15 karışımı ile yapılan gerek klasik flotasyon, gerekse kolon flotasyonu optimum koşullarının pH:11.0'de gerçekleştiği tesbit edildiğinden, jet flotasyon deneyleri için, pH:11 değeri sabit tutulmuş, pH değişiminin incelenmesine gerek duyulmamıştır.

4.5.4. Na_2SiO_3 Miktarının Saptanması

Klasik ve kolon flotasyon deneylerinde kullanılan Na_2SiO_3 'ün pülpe dağıtılarak, kromitin selektif olarak, yüzdürülmesinde çok önemli bir etkiye sahip olduğu tesbit edilmiştir. Na_2SiO_3 gereğinden fazla kullanılmasının ekonomik faktörünün yanısıra, flotasyonu da bozarak kromitin yüzmesini güçleştirdiği yine bu konuda yapılan ön deneylerde görülmüştür.

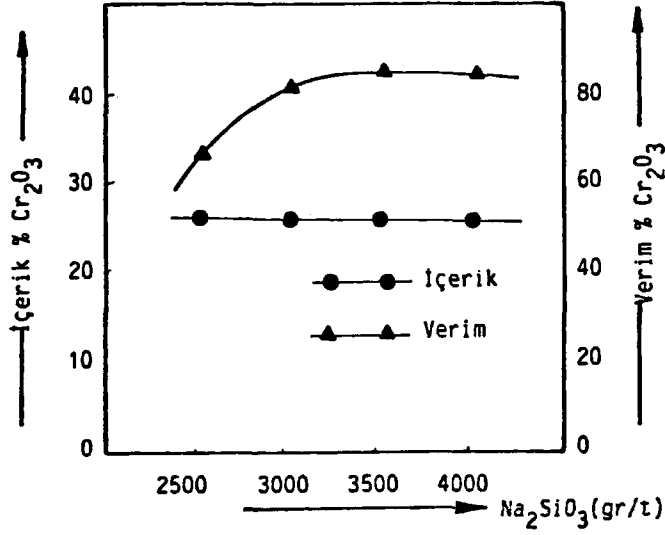
Jet Flotasyonu ile yapılan Na_2SiO_3 miktarı tesbit deneylerinde, kıvam süresi 15' olarak sabit tutulmuştur. Flotasyon koşulları aşağıda verilmektedir;

Pülpde Katı Oranı : % 10
pH : 11.0 (NaOH: 5000 gr/ton)
OMC-377 + SM-15 : 1200 gr/ton OMC-377/SM-15: 0.2 Kıvam: 5'
Na₂SiO₃ : 2500; 3000; 4000 gr/ton Kıvam: 15'
Flotasyon Süresi : 5 dak
Temizleme : Yapılmadı

Deneylere ilişkin sonuçlar  izelge 4-19'da Na₂SiO₃ değişiminin konsantre Cr₂O₃ içeriği ve verimi üzerindeki etkisi  ekil 4-19'da verilmektedir.

Çizelge 4-19 Na₂SiO₃ Miktarını Saptamak Amacıyla Yapılan Deneylerin Sonuçları

Na ₂ SiO ₃ gr/ton	�r�nler	Miktar %	Cr ₂ O ₃ �eriği %	Verim %
2500	Konsantre	52.2	25.07	65.2
	Artık	48.8	14.31	34.8
	Toplam	100.0	20.07	100.0
3000	Konsantre	64.2	25.69	81.2
	Artık	35.8	10.69	18.8
	Toplam	100.0	20.34	100.0
4000	Konsantre	65.4	25.26	82.5
	Artık	34.6	10.10	17.5
	Toplam	100.0	20.01	100.0



Şekil 4-19 Konsantre Cr₂O₃ İçeriği ve Veriminin Na₂SiO₃ Miktarına Bağlı Olarak Değişimi

Çizelge 4-19 ve Şekil 4-19'dan da izlenebileceği gibi, Na₂SiO₃ miktarı arttıkça flotasyon veriminde bir artış gözlenmektedir. Na₂SiO₃ miktarındaki artış, çok küçük boyutlu şlam malzemesinin dispersiyonunu hızlandırmakta ve kullanılan toplayıcıların daha etkin olmalarını sağlamaktadır. Yapılan Jet Flotasyon deneylerinde konsantre Cr₂O₃ içerikleri hemen hemen aynı olmakla birlikte, 4000 gr/ton Na₂SiO₃'u kullanıldığı deneyde daha yüksek krom kazanma verimi elde edilmiştir.

4.5.5. Optimum Koşullarda Yapılan Jet Flotasyon Deneyi

Optimum Flotasyon koşulları, sistematik deneyler sonucunda aşağıdaki şekilde saptanmıştır;

Pülpde Katı Oranı	: % 10
pH	: 11.0 NaOH: 5000 gr/ton
Na ₂ SiO ₃	: 4000 gr/ton Kıvam: 15'
OMC-377 + SM-15	: 1200 gr/ton OMC-377/SM-15: 0.2 Kıvam: 5'
Flotasyon Süresi	: 5'
Temizleme	: 3 Kademe

Optimum flotasyon deneyi sonuçları Çizelge 4-20'de verilmektedir.

Çizelge 4-20 Optimum Koşullarda Yapılan Jet Flotasyon Deneyleri Sonuçları

Ürünler	Miktar %	İçerik Cr_2O_3 %	Verim % Cr_2O_3
Konsantre	8.0	43.16	17.3
Araürün-1	13.8	25.34	17.5
Araürün(2+3)	43.6	22.68	49.4
Artık	34.6	9.18	15.8
Toplam	100.0	20.01	100.0

BÖLÜM 5. PİLOT FLOTASYON DENEYLERİ

5.1. Giriş

Bu bölümde Klasik flotasyon, Kolon flotasyonu ve Jet flotasyonu sistematik laboratuvar deneyleri sonucunda saptanan optimum flotasyon koşulları esas alınarak yapılan Pilot Flotasyon deneyleri yer almaktadır.

Klasik flotasyon pilot deneylerinde 4 kaba, 2 temizleme hücreli, batarya kullanılmış, üçüncü ve dördüncü temizleme devresi için, batarya üzerinde düzenlemeler yapılmıştır.

Kolon flotasyon pilot deneyleri için, bu çalışma çerçevesi içerisinde 2'şer metre uzunluğunda pleksiglas malzameden üç adet kolon tasarlanarak yerli olanaklarla imal ettirilmiş, deneyler bu sistem ile yapılmıştır.

Jet flotasyon pilot deneyleri ise Berlin Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Bölümü tarafından geliştirilen ve orijinaline uygun biçimde yerli olanaklarla yaptırılan 33 lt. hacimli Jet Flotasyon devresinde yapılmıştır.

5.2. Klasik Flotasyon Pilot Deneyleri

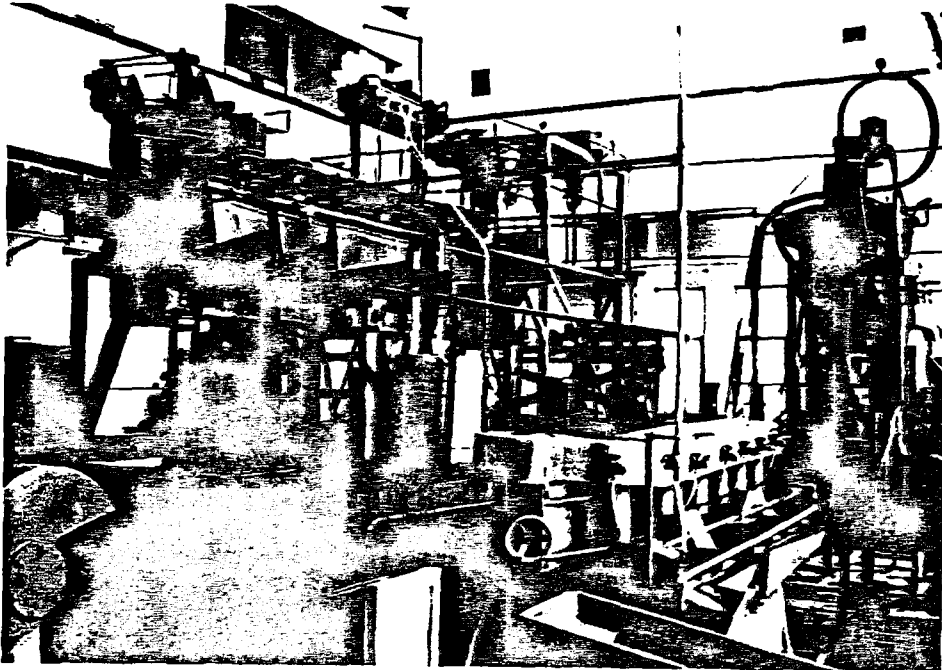
Pilot deneyler, 12'şer lt. hacimli 4 adet kaba ve 2 adet temizleme olmak üzere toplam 6 hücreli batarya kullanılarak yapılmıştır. Hücreler mekanik karıştırırmalı ve kendinden havalandırılmalıdır. Karıştırma hızı ve hava miktarı ayar edilebilmektedir.

Pilot deneyler sırasında pülp, önce 50 lt. kapasiteli kıvam tankına verilmiş burada gerekli pH ayarı yapıp, reaktifler eklendikten sonra, 4 hücreli kaba flotasyon devresine beslenmiştir. Bu devrenin konsantresi ise, 1. temizleme hücreesine, bu hücrenin konsantresi de 2. temizleme hücreesine verilmiştir. 2. Temizleme hücrelerinden alınan konsantre biriktirildikten sonra, 4 kaba devresi iptal edilmiş, sadece 2 temizleme hücreesi çalışan ayrı bataryaya beslenerek, 2 kez daha temizlenmesi sağlanmıştır. Buradan elde edilen araürün, konsantre ve kaba devreden atılan artık arasında dağıtılmıştır.

Deneylerin gerçekleştirildiği flotasyon pilot tesisi Şekil 5-1' de görülmektedir.

Pilot Tesis Deney Koşulları

Flotasyon Hücre Sayısı	: 4 adet kaba, 2 adet temizleme hücreesi
Hücre Kapasiteleri	: 12 lt
Kondisyoner	: 50 lt
Pülpde Katı Oranı	: % 20
Beslenen Miktar	: 10 kg/h (Katı)
pH	: 10-10.3 (NaCO_3)
Na_2CO_3	: 4000 gr/ton
Na_2SiO_3	: 2800 gr/ton
OMC-377	: 500 gr/ton
SM-15	: 700 gr/ton



Şekil 5 1 Klasik Flotasyon Pilot Tesisi

Malzeme dengesi, reaktif besleme yeri ve miktarının belirtildiği pilot flotasyon deneyi akım şeması Şekil 5-2'de, pilot tesis ürünlerinin metalurjik denge tablosu ise Çizelge 5-1'de verilmektedir.

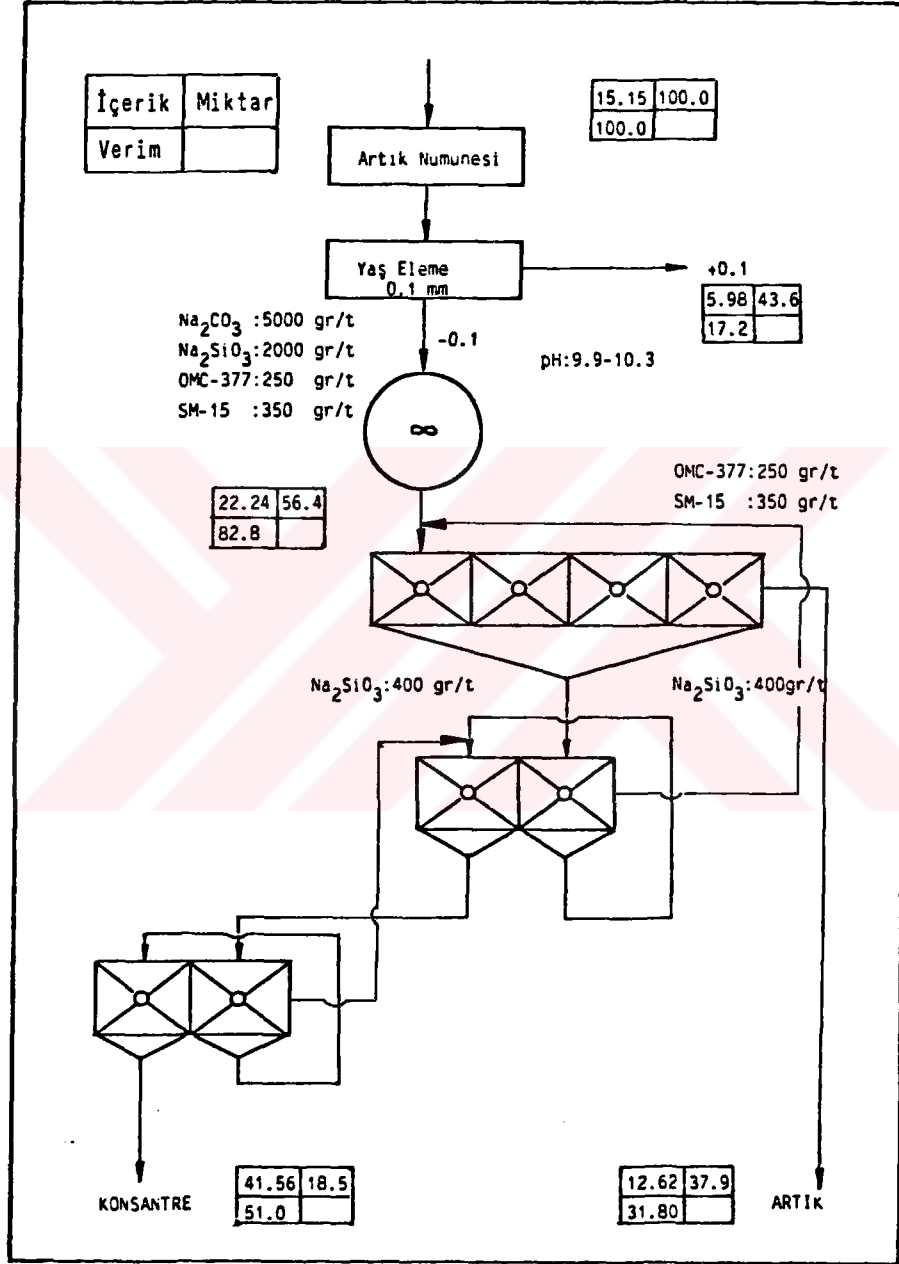
Sistematik flotasyon deneyleri sırasında Na_2SiO_3 miktarının 4000 gr/ton olarak tesbit edilmesine karşın, pilot deneyler sırasında 2800 gr/ton'un yeterli olduğu görülmüştür. Na_2SiO_3 miktarının arttırılması, flotasyonu olumsuz yönde etkilemiştir. Pilot deneylerdeki Na_2SiO_3 tüketiminin azalması, 4 kaba ve 2 temizleme hücrelerindeki karıştırma süresinin, sistematik deneylerdeki tek hücreye oranla daha uzun olmasından kaynaklanmaktadır. Uzun süreli kıvamlandırma şlamın dağılması için gerekli Na_2SiO_3 miktarını düşürmektedir.

Çizelge 5-1 Klasik Flotasyon Pilot Deneyi Sonucu

Ürünler	Miktar %	İçerik % Cr_2O_3	Verim % Cr_2O_3
Konsantre	32.8	41.56	61.6
Artık	67.2	12.62	38.4
TOPLAM	100.0	22.11	100.0

5.3. Kolon Flotasyonu Pilot Deneyleri

Kolon flotasyon pilot deneyleri 13 X 13 cm kare kesitli ve 250 cm yüksekliğindeki üç adet kolon kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her biri 35 lt kapasiteli olan kolonlara besleme, tabandan itibaren 65 cm yukarıdan yapılmıştır. İlk iki kolonda artık, köpük üretim plakasının üstünden, üçüncü kolonda ise köpük üretim plakasının çevresinden alınmaktadır. Kolonlardan elde edilen konsantreler, yukarıdan kontrollü yıkama suyu verilerek temizlenmiştir. Köpük üretimi için gerekli olan hava ve kolon beslemesi, basınç ölçer ve akım ölçer kullanılarak kontrol edilmiştir.



Şekil 5-2 Klasik Flotasyon Pilot Deneyi Akım Şeması

180 lt kapasiteli kıvam tankından alınan pülp, bir pompa yardımıyla en üstte bulunan birinci kolona beslenmiş, bunun artığı ikinci kolona ikinci kolonun artığı da kendi akışları ile üçüncü kolona verilmiştir. Nihai artık üçüncü kolondan atılmıştır. Her kolondan alınan konsantreler birleştirilerek, üç kez temizlenmiştir.

Kolon flotasyon devresinin şematik görünüşü Şekil 5-3'de, deneylerin gerçekleştirildiği pilot ölçekli devre ise Şekil 5-4'de gösterilmektedir.

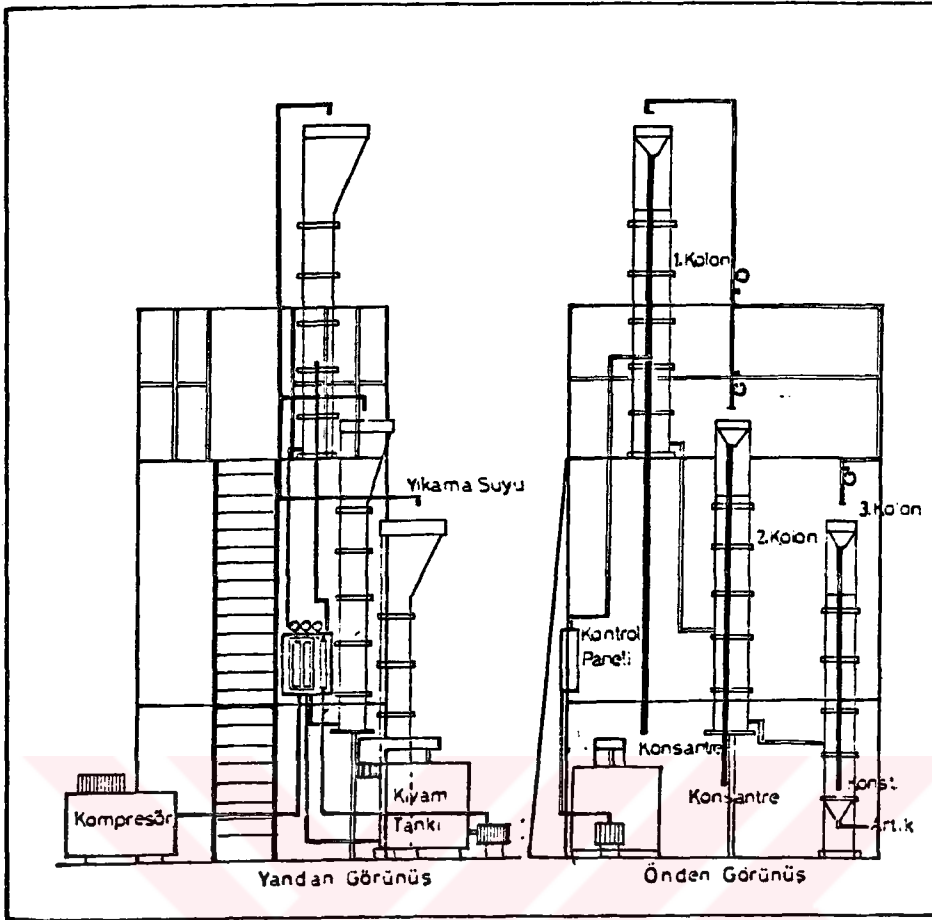
Pilot Tesis Deney Koşulları

Kolon Sayısı	: 3	
Kolon Kapasitesi	: 35 lt	
Kondisyoner Kapasitesi	: 180 lt	
Pülpde Katı Oranı	: % 10	
Beslenen Miktar	: 300 lt/h (Pülp)	30 kg/h (Katı)
Kolon Basıncı	: 0.3 kg/cm ²	
Yıkama Suyu Basıncı	: 0.5 kg/cm ²	
pH	: 10.5 - 11.0	
NaOH	: 4000 gr/ton	
Na ₂ SiO ₃	: 3000 gr/ton	
OMC-377	: 200 gr/ton	
SM-15	: 1000 gr/ton	

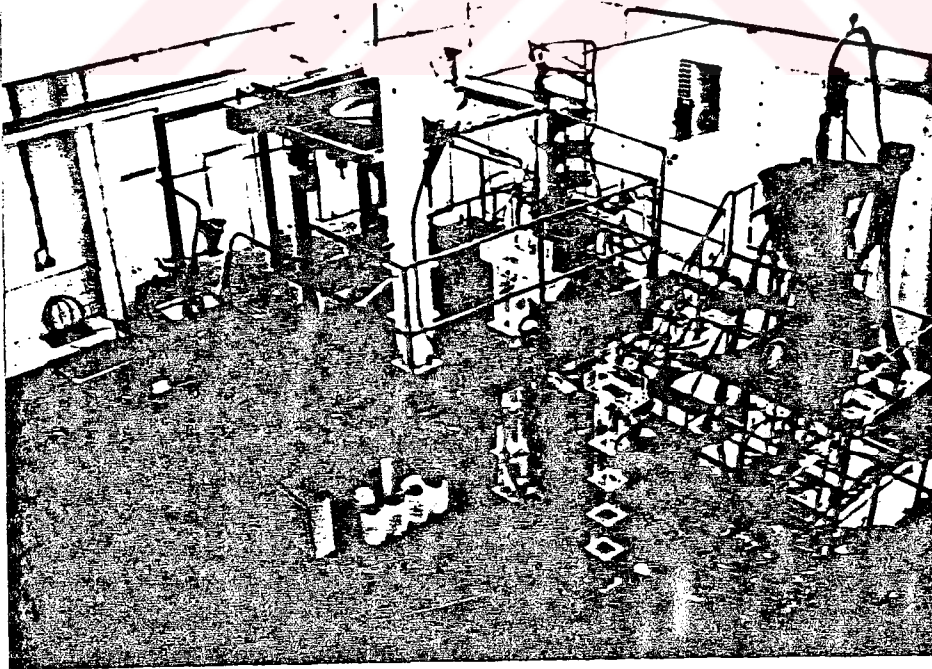
Kolon flotasyonu pilot deneyi akım şeması Şekil 5-5'de, deney sonucunda elde edilen ürünlerin metalurjik denge tablosu ise Çizelge 5-2'de verilmektedir.

Çizelge 5-2 Kolon Flotasyonu Pilot Deneyi Sonuçları

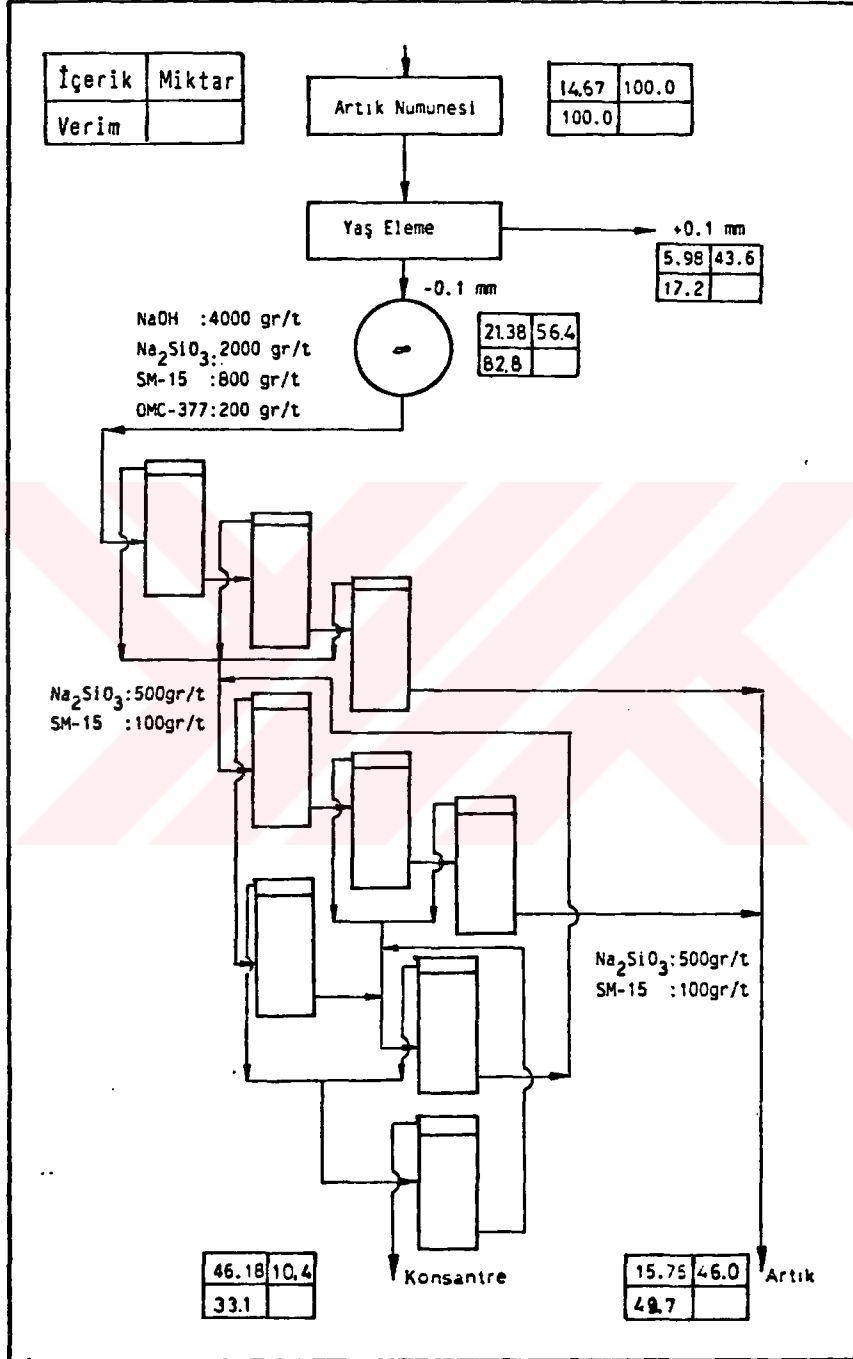
Ürünler	Miktar %	İçerik % Cr ₂ O ₃	Verim % Cr ₂ O ₃
Konsantre	18.5	46.18	40.0
Artık	81.5	15.75	60.0
TOPLAM	100.0	21.38	100.0



Şekil 5-3 Pilot Ölçekli Kolon Flotasyon Devresi



Şekil 5-4 Pilot Ölçekli Kolon Flotasyon Devresi



Şekil 5-5 Kolon Flotasyonu Pilot Deneyi Akım Şeması

Çizelge 5-2'den de izlendiği gibi, kolon flotasyonu pilot deneyi sonucunda, girenin 18.5'i oranında, % 46.18 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 40 krom kazanma verimi ile elde edilirken, % 81.5 oranındaki, % 15.75 Cr_2O_3 içerikli artık, % 60 krom kaybı ile atılmaktadır.

5.4. Jet Flotasyonu Pilot Deneyleri

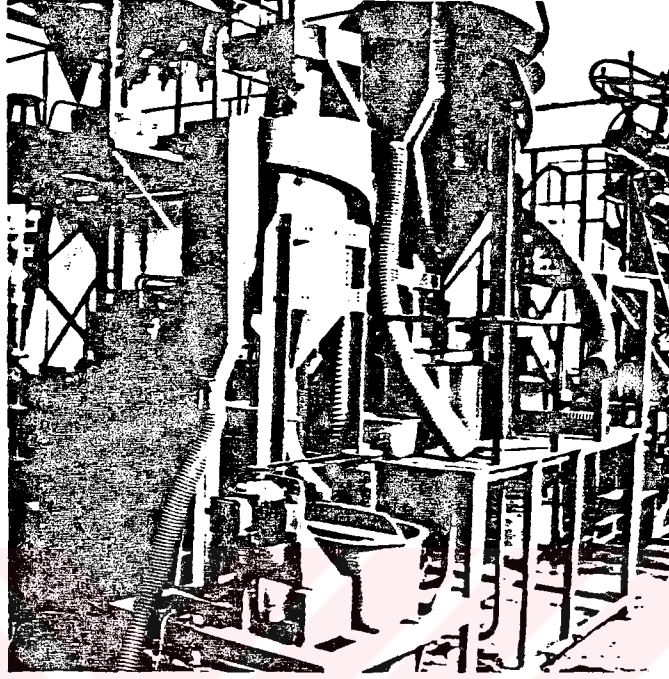
Jet flotasyonu pilot deneyleri, sistematik deneyler sonucunda belirlenen ve aşağıda verilen koşullarda yapılmıştır. 33 lt Hacmindeki pilot ölçekli jet flotasyon sistemi Şekil 5-6'da görülmektedir.

Pilot Tesis Deney Koşulları

Enjektör Delik Sayısı	: 3
Enjektör Delik Çapı	: 0.003 m
Enjektörün Pülp Seviyesinden Yüksekliği	: 0.3 m
Koruma Borusu Dalma Derinliği	: 0.2 m
Jet Basıncı	: 0.8 kg/cm^2
Jet Flotasyon Debisi	: 1.2 m^3/h
Besleme Miktarı	: 120 kg/h (Katı)
Kondisyoner Kapasitesi	: 32 lt
Hücre Kapasitesi	: 33 lt
Pülpde Katı Oranı	: % 10
pH	: 11.0 (NaOH)
NaOH	: 5000 gr/ton
Na_2SiO_3	: 4000 gr/ton
OMC-377	: 200 gr/ton
SM-15	: 1000 gr/ton

Pilot ölçekte yapılan jet flotasyonu deneyi akım şeması Şekil 5-7'de deney sonuçları ise Çizelge 5-3'de verilmektedir. Akım şemasından da izleneceği gibi, gerekli pH düzenlemesi yapıp reaktif eklendikten sonra, pülp 4 kademeli kaba flotasyona tabi tutulmuş, buradan temiz bir artık atıldıktan sonra, kaba konsantre 2 kez temizlenmiş, temizleme devresinin artıkları ise, iki ayrı devrede tekrar reaktif verilerek flotasyona tabi tutulmuştur. Bu iki devrenin ve temizleme devresinin konsantreleri

birleştirilerek, 2 kez daha temizlenmiş ve nihai konsantre elde edilmiştir.

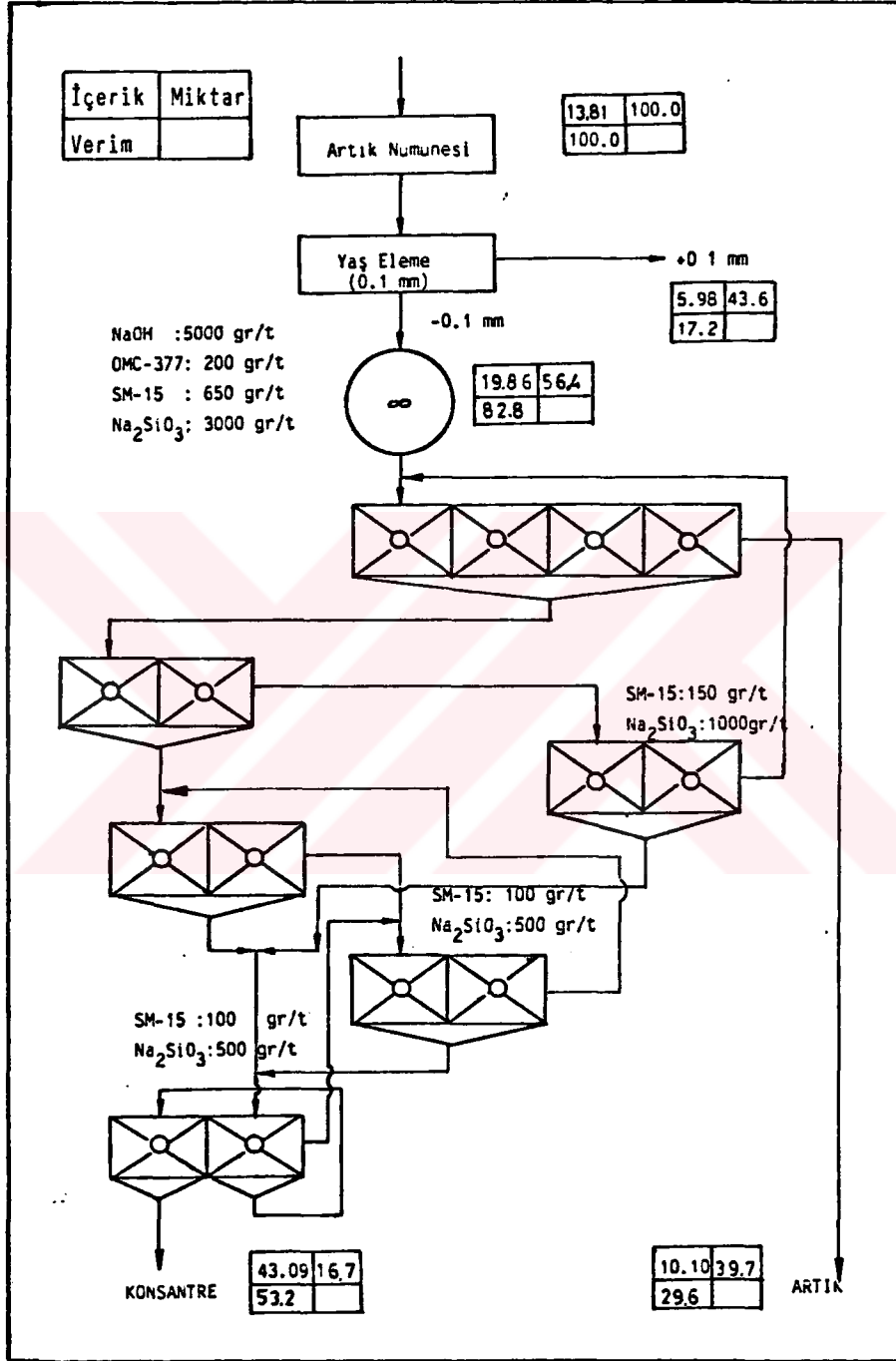


şekil 5-6 Pilot Jet Flotasyon Devresi

Çizelge 5-3 Jet Flotasyon Pilot Deneyi Sonuçları

Ürünler	Miktar %	İçerik % Cr_2O_3	Verim % Cr_2O_3
Konsantre	29.6	43.09	64.2
Artık	70.4	10.10	35.8
TOPLAM	100.0	19.86	100.0

Çizelge 5-3'den de izlendiği gibi, jet flotasyon pilot deneyi sonucunda, girenin % 29.6'sı oranındaki, % 43.09 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 64.2 krom kazanma verimi ile elde edilirken, % 70.4 oranındaki, % 10.10 Cr_2O_3 içerikli artık, % 35.8 krom kaybı ile elde edilmektedir.



Şekil 5-7 Jet Flotasyon Deneyi Akım Şeması

BÖLÜM 6. KROMİTİN YÜZEY ELEKTRİK YÜKÜ DEĞİŞİMİ VE ADSORBSİYONU

6.1. Kromit Yüzey Elektrik Yükü Ölçüm Deneyleri

Zenginleştirme Tesisi artığı ile yapılan kromit flotasyon deneyleri sonuçlarının değerlendirmesini yapmak, çeşitli metal iyonları ve toplayıcı reaktiflerin etkilerini ortaya koymak amacı ile kromitin yüzey özellikleri incelenmiş, çözelti yapısındaki değişimin yüzey elektrik yükü üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

6.2. Mikro-Elektroforez Aygıtı

Zetametre olarak da bilinen mikro-elektroforez cihazı, mineral süspansiyonu içindeki katı parçacıkların bir elektroliz hücresinde anoda veya katoda doğru hareket hızlarından yararlanarak, yüzey elektrik yükünü mutlak değer ve işaretce saptayan bir aygıttır. Şekil 6-1'de deneylerde kullanılan Rank-Brothers Mikro-Elektroforez aygıtı görülmektedir.

Parçacıkların hareket hızı, mikroskopun okülerinde bulunan retikül ve alete bağlı kronometre ile saptanır. Uygulanan gerilim ve saptanan hızdan yararlanılarak, elektrotekniğin temel kurallarının uygulanmasıyla, elektrokinetik potansiyel (zeta potansiyeli) aşağıdaki şekilde tesbit edilmektedir.

$$\eta = \frac{\zeta \cdot D \cdot V}{4 \cdot \pi \cdot \eta} \quad \text{buradan} \quad \zeta = \frac{4 \cdot \pi \cdot \eta}{D} \cdot \frac{v}{V} \quad \text{bulunur.}$$

Yukarıdaki eşitlikte, η sıvının viskozitesi, D ise dielektrik sabitidir. Ortam su olduğu için bu değerler η : 0.01 Poise, D: 80'dir. C.G.S sisteminde parçacık hareket hızı (v), cm/sn, uygulanan gerilim

(V), esu/cm olarak alınır, elektrokinetik potansiyel esu olarak bulunur. ψ : mikron/sn, V: Volt/cm alınır ve gerekli katsayı düzeltmeleri yapılsa, elektrokinetik potansiyel;

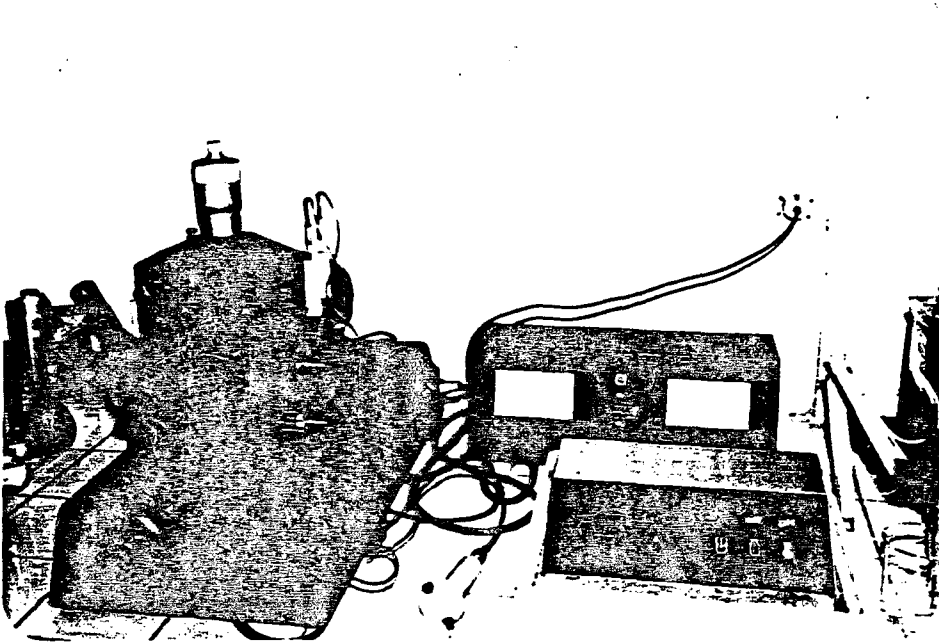
$$\eta = 12.83 \frac{\psi}{V} \text{ (milivolt) olarak hesaplanmaktadır.}$$

Zetametre hücresi (yassı hücre) gözlem noktası ise aşağıdaki bağıntı vasıtası ile saptanmaktadır [43,44,45] .

$$s/d = 0.500 \left(0.0833 + \frac{32}{\pi^5} \cdot \frac{d}{l} \right)^{1/2}$$

Burada; (d) yassı hücre kalınlığı: 0.931 mm, (l) yassı hücre yüksekliği: 10 mm, (s) yassı hücre gözlem noktasıdır. (d) ve (l) değerleri yukarıdaki eşitlikte yerine konulduğunda,

$s = 0.284$ mm olarak bulunmaktadır. (s) gözlem noktası hücrenin ortasından geçen düzlem üzerinde ve cıdardan 0.284 mm uzaklıkta olacak şekilde saptanmaktadır.



Şekil 6-1 Rank-Brothers Marka Mikroelektroforez (Zetametre) Aygıtı.

6.3. Deneylerde Kullanılan Malzeme

Yüzey elektrik yükü ölçüm deneylerinde, % 52.50 Cr_2O_3 içerikli masa konsantresinden, manyetik ayırma ve tavalama işlemleri sonucunda saflaştırılan kromit numunesi kullanılmıştır. 0.038 mm altına öğütülen numune, içinde saf su bulunan genişçe bir kaba alınarak karıştırılmış ve bir süre çökmeye bırakılmıştır. Kapta asılı durumda kalan çok ince boyutlu kromitler, başka bir kaba alınarak, pH düzenlemeleri yapılmış ve daha sonra yüzey elektrik yükü ölçüm deneylerinde kullanılmıştır.

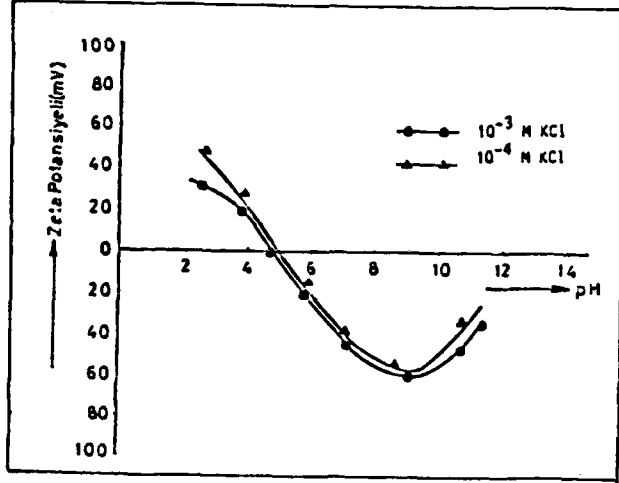
6.4. Yüzey Elektrik Yükü Ölçümleri

Yüzey elektrik yükü ölçümleri 10^{-3} ve 10^{-4} M KCl, CaCl_2 , MgSO_4 , AlCl_3 ve CrCl_3 çözeltilerinde yapılmıştır.

KCl Çözeltisinde Yapılan Yüzey Yükü Ölçümleri

10^{-3} ve 10^{-4} KCl tuzu çözeltisinde yapılan kromit yüzey elektrik yükü ölçüm sonuçları Şekil 6-2'de verilmektedir. İyonik kuvveti artırması sebebi ile, KCl gibi tuz çözeltilerinde yapılan yüzey elektrik yükü ölçümleri, saf suda yapılan ölçümlerden daha iyi sonuç vermektedir. Şekil 5-7'den de görüldüğü gibi KCl konsantrasyonu değişimi, 4.8 olan kromit zpc değerini değiştirmemekte ancak K^+ ve Cl^- iyonlarının elektiriksel çift tabakadaki sıkıştırma etkisiyle, kromit zetapotansiyelini bir miktar azaltmaktadır.

pH: 4.8 değerinin altındaki pH'larda yüzey pozitif, üstündeki pH'larda yüzey negatiftir. Çözeltideki H^+ ve OH^- iyon konsantrasyonundaki değişimler, kromit yüzey elektrik yükü işaretini değiştirmektedir. H^+ ve OH^- iyonları kromit için potansiyeli tayin eden iyonlardır.

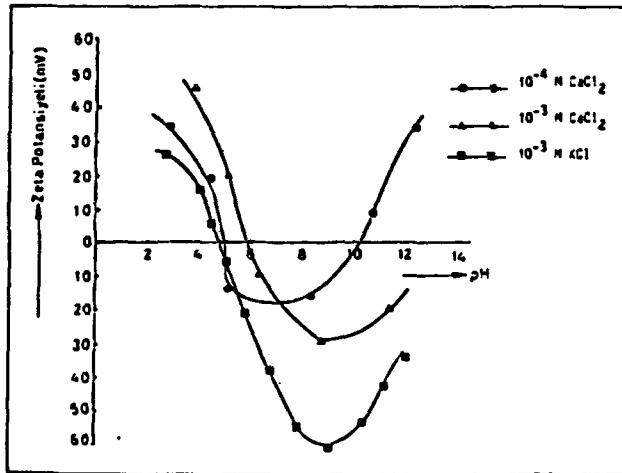


Şekil 6-2 10^{-3} ve 10^{-4} M KCl Çözeltisinde Kromit Yüzey Elektrik Yükünün pH'a Bağlı Olarak Değişimi

10^{-3} ve 10^{-4} M CaCl_2 Çözeltisinde Yapılan Yüzey Elektrik Yükü Ölçüm Deneyleri

10^{-3} ve 10^{-4} M CaCl_2 çözeltilerinin herbirinde kromitin yüzey elektrik yükleri ölçülmüştür. pH'a bağlı olarak kromit yüzey yükü değişimi Şekil 6-3'de verilmektedir.

Şekil 6-3'den de izlenebileceği gibi 10^{-4} M CaCl_2 konsantrasyonunda zpc değeri 5.4 iken, 10^{-3} M CaCl_2 konsantrasyonunda önce pH: 4.4'de daha sonra da pH: 11'de yüzey sıfır olmakta ve pH: 11'in üstünde ise tamamen yüzey pozitif olmaktadır.

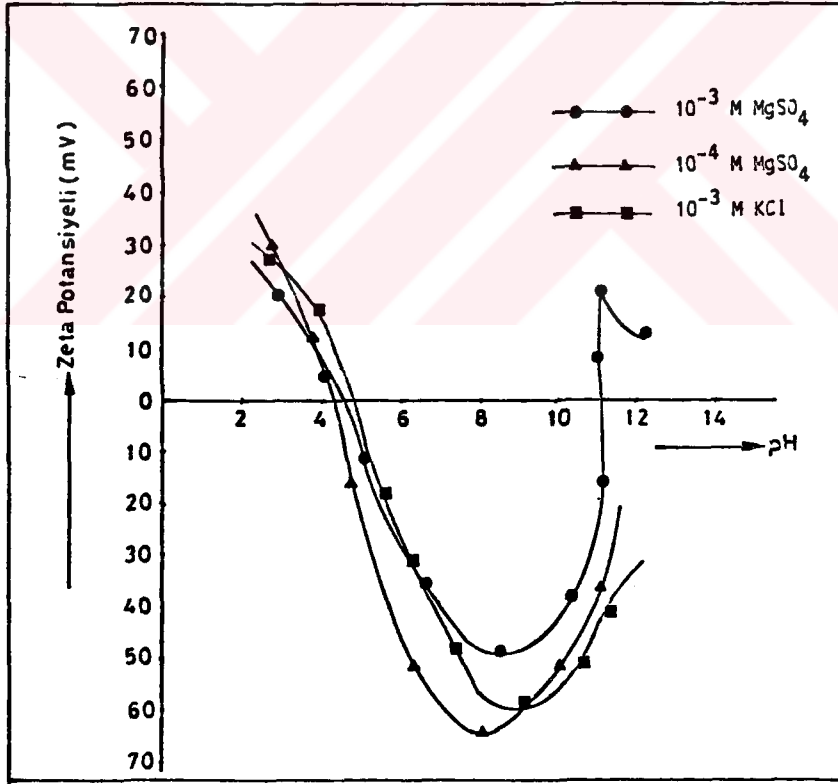


Şekil 6-3 10^{-3} ve 10^{-4} M CaCl_2 Çözeltisinde Kromit Yüzey Elektrik Yükünün pH'a Bağlı Olarak Değişimi

10^{-3} ve 10^{-4} M $MgSO_4$ Çözeltisinde Yapılan Kromit Yüzey Elektrik Yükü Ölçüm Deneyleri

10^{-3} ve 10^{-4} M $MgSO_4$ konsantrasyonlarındaki çözeltilerde pH'a bağlı olarak kromit yüzey elektrik yükü değişimleri incelenmiştir. Şekil-6.4'de 10^{-3} ve 10^{-4} M $MgSO_4$ çözeltisinde kromit yüzey yükü değişimi görülmektedir.

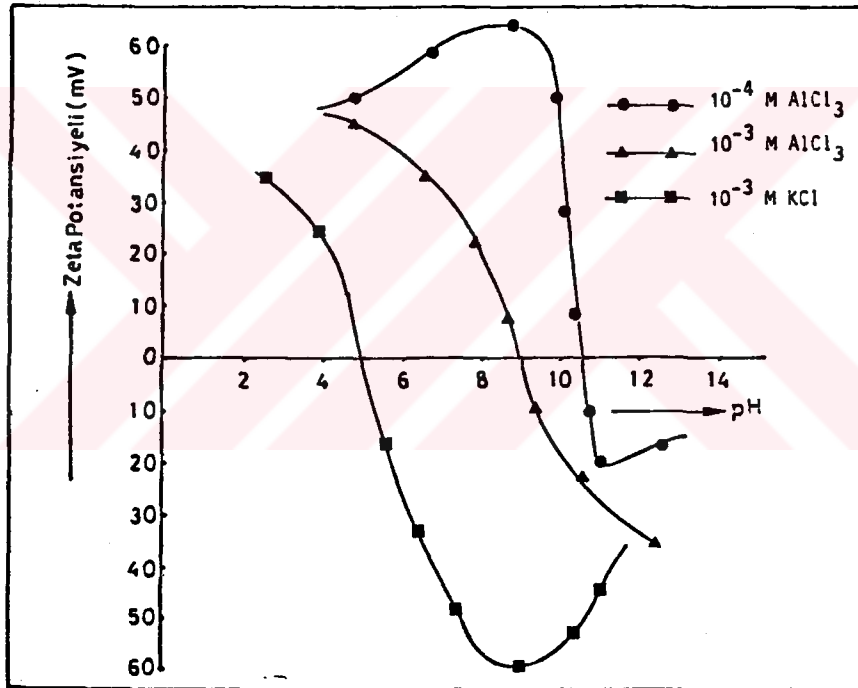
Şekil 6-4'den de izleneceği gibi kromitin zpc değeri değişmemekle beraber, pH:11'de tekrar sıfır yük noktası tesbit edilmekte ve pH: 11'in üstündeki pH değerlerinde yüzey pozitif olmaktadır.



Şekil 6-4 10^{-3} ve 10^{-4} M $MgSO_4$ Çözeltisinde Kromit Yüzey Elektrik Yükünün pH'a Bağlı Olarak Değişimi

10^{-3} ve 10^{-4} M AlCl_3 Çözeltisinde Yapılan Kromit Yüzey Elektrik Yükü Ölçüm Deneyleri

10^{-3} ve 10^{-4} M AlCl_3 çözeltilerinde kromit yüzey elektrik yükü ölçüm deneyleri yapılmıştır. pH'a bağlı olarak kromit yüzey elektrik yükü değişimi Şekil 6-5'de gösterilmektedir. Nötr tuz çözeltisinde 4.8 olan kromit zpc değeri, 10^{-3} ve 10^{-4} M AlCl_3 çözeltilerinde pH:9.0 civarına yükselmektedir.

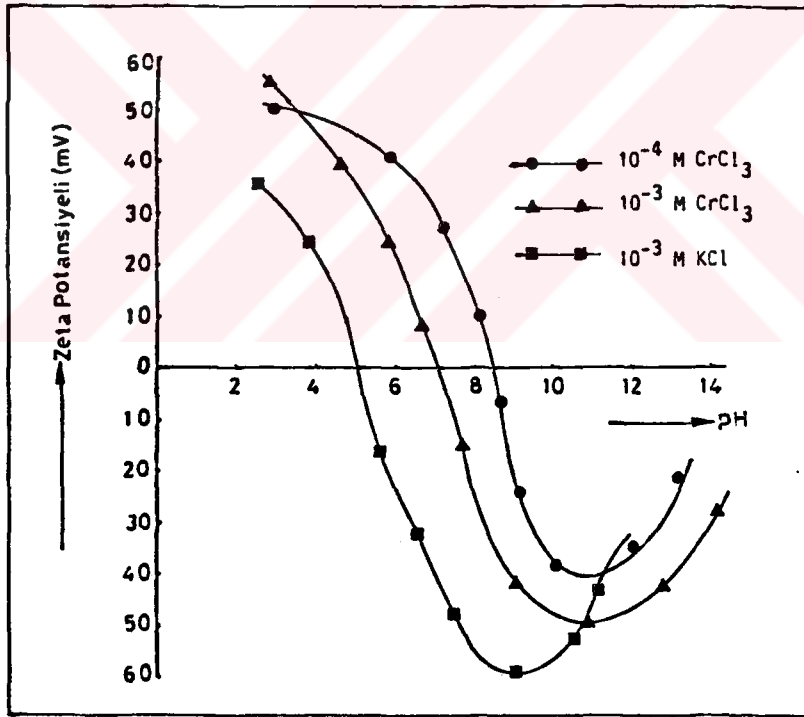


Şekil 6-5 10^{-3} ve 10^{-4} M AlCl_3 Çözeltisinde Kromit Yüzey Elektrik Yükünün pH'a Bağlı Olarak Değişimi

10^{-3} ve 10^{-4} M CrCl_3 Çözeltisinde Yapılan Kromit Yüzey Elektrik Yükü Ölçüm Deneyleri

10^{-3} ve 10^{-4} M konsantrasyonlarındaki CrCl_3 çözeltisinde, kromitin yüzey elektrik yükü ölçülmüştür. Şekil 6-6'da pH'a bağlı olarak, 10^{-3} ve 10^{-4} M CrCl_3 çözelti-lerinde kromitin yüzey elektrik yükü değişimi gösterilmektedir.

Cr^{+++} iyon konsantrasyonundaki artış, kromitin zpc değerini artırmaktadır. 10^{-4} M CrCl_3 konsantrasyonunda pH:7.4 zpc değeri, 10^{-3} M CrCl_3 konsantrasyonunda 8.2'e yükselmektedir.



Şekil 6-6 10^{-3} ve 10^{-4} M CrCl_3 Çözeltisinde Kromit Yüzey Elektrik Yükünün pH'a Bağlı Olarak Değişimi

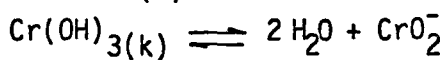
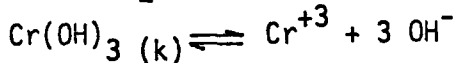
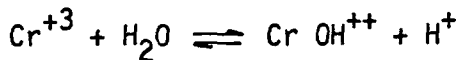
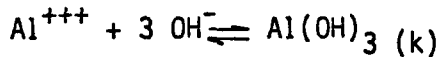
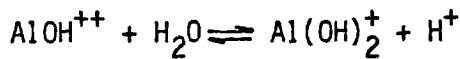
Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Fe⁺⁺⁺, Al⁺⁺⁺ ve Cr⁺⁺⁺ iyonlarının Kromit Yüzey Elektrik Yükü Üzerindeki Etkileri

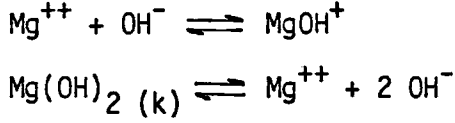
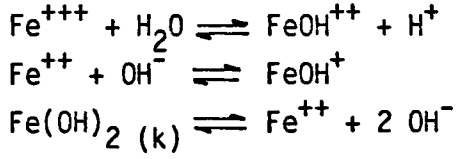
Genel olarak Ca⁺², Mg⁺², Fe⁺³, Al⁺³ ve Cr⁺³ iyonları kromit zpc değerini artırmaktadır. Parks'a göre (1965) bu katyonlar zpc değerini kendi oksitlerinin zpc değerleri doğrultusunda değiştirmektedir. Örneğin demiroksit'in zpc değeri 8.2'dir, 10⁻³ ve 10⁻⁴ M FeCl₃ çözeltisinde yapılan kromit yüzey elektrik yükü ölçümlerinde zpc değerinin 8-9 arasında değiştiği saptanmıştır. Fe⁺³ iyonu, kromit zpc değerini kendi oksitinin zpc değeri doğrultusunda artırmıştır [46] .

Aynı durum diğer katyonlar için de geçerlidir. 10⁻³ ve 10⁻⁴ M AlCl₃ çözeltisinde kromitin zpc değeri pH: 8.5-9.0 arasında değişmektedir (Şekil 6-5'de). Aynı konsantrasyondaki CrCl₃ çözeltisinde ise kromit zpc değeri 7.2 ve 8.2 arasında değişmektedir (Şekil 6-6). Alüminyum ve krom oksitin zpc değerleri ise 9.1 ve 7.0'dır.

MgO'nin zpc değeri 12.4 civarındadır. 10⁻³ ile 10⁻⁴ M MgSO₄ çözeltisinde kromitin zpc değeri pH:10.5 olarak ölçülmüştür. Burada da Mg⁺² iyonu, kromit zpc değerini kendi oksitinin zpc değeri doğrultusunda artırmıştır (Şekil 6-4).

Bu olayları daha iyi açıklamak için sulu sistemlerdeki metal iyonlarının hidroliz reaksiyonlarını da dikkate almak gerekmektedir. Metal iyonları sulu bir sisteme girdiklerinde, bu iyonların aşağıda belirtildiği gibi çeşitli hidroliz ürünleri ortaya çıkmaktadır [47,48,49,] [50] .





Bu iyonların bulunduğu sulu sistemlerde ilk oluşan hidroliz komplekslerinin konsantrasyonu çok önemlidir. Mineral yüzeyinde oluşan hidroliz olayı, hidrojen iyonunun buraya adsorplanmasına yol açmakta, adsorplanan hidrojen iyonu daha sonra hidroksil kompleksleri ile reaksiyona girerek, yüzeyde metal iyonunun adsorbsiyonuna yol açmaktadır. Bu durum da zeta potansiyel değerindeki artışa yol açmaktadır.

Örneğin Al OH^{++} kompleksinin maksimum olduğu pH:4.5-5 aralığında, bu kompleks yüzeye adsorbe olarak kromit zeta potansiyelini ve zpc değerini arttırmaktadır (Şekil 6-5) [17].

Mg^{+2} hidroliz komplekslerinin maksimum olduğu pH aralığı PH:10-11'dir. Bu aralıklarda da kromit zeta potansiyel değeri artmaktadır (Şekil 6-4).

Bir çok araştırmacı tarafından kromit flotasyonunda Fe^{+3} , Al^{+3} , Mg^{+2} , Cr^{+3} iyonlarının etkileri araştırılmış ve çeşitli görüşler ileri sürülmüştür.

1966 yılında M. Sagheer, % 56.52 Cr_2O_3 içerikli Yugoslav-Radusa kromiti ile yaptığı çalışmada Mg^{+2} , Ca^{+2} ve Fe^{+3} iyonlarının kromiti bastırdığı, fakat serpantin üzerinde hiçbir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur [14] .

Sobieraj, Laskowski (1973) Arnavutluk, Küba ve SSCB kromitleri ile yaptıkları çalışmada, bu tür iyonların flotasyon verimindeki etkilerini incelemiştir. Al^{+3} iyonunun kromit flotasyonunda önemli bir etkiye sahip olduğu pH:2.5-4.5 arasında herhangi bir bastırma etkisi gözlenmezken, alkali ortamda daha karmaşık olayların geliştiği ve kromit

flotasyonunu olumsuz yönde etkilediğini ortaya koymuşlardır [11] .

1975 yılında Palmer ve Fuerstenau çeşitli metal hidroksit komplekslerinin kromit flotasyonundaki etkilerini incelemişler, oleik asit ile yapılan krom flotasyonunda özellikle pH:8.0 ve pH:11.0'de $MgOH^+$ ve $FeOH^+$ hidroksit komplekslerinin zeta potansiyelini tersine çevirdiklerini ortaya koymuşlardır [17] . pH:4'ün üzerinde ise $AlOH^{++}$ adsorpsiyonunun etkili olduğunu ve kromit flotasyonunu bozduğunu, keza $CrOH^{++}$ de kromit flotasyonunda önemli rol oynadığını vurgulamışlardır.

Smith ve Allard (1980) Stillwater kompleks kromitleri ile yaptıkları çalışmada, anyonik ve katyonik flotasyon öncesi, hava ile muamele ve ısıtma işlemlerinin etkilerini incelemişler, Mg^{+2} , Cr^{+4} , Cr^{+3} , Fe^{+3} Fe^{+2} iyonlarının kromit flotasyonunda önemli etkiye sahip olduklarını ortaya koymuşlardır [19] .

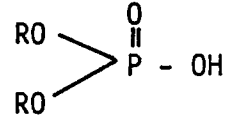
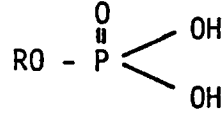
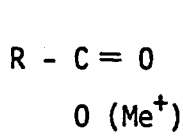
Kromit Flotasyonunda Kullanılan, Toplayıcı Reaktif Konsantrasyonu Değişiminin Zeta Potansiyeli Üzerindeki Etkileri

OMC-377 ve SM-15 reaktifleri kromit flotasyonunda kullanılan farklı yapıdaki toplayıcılardır. Toplayıcılar, yüzey elektrik yükünü kontrol etmek ve/veya hidrofilik, hidrofobik yüzey karakterini kontrol etmek amacıyla kullanılmaktadır. Adsorbsiyon, bu tür reaktiflerin etkin grubu ile kromit yüzeyi arasındaki kimyasal ilişkiyle veya zıt elektrik yüklü yüzey arasında fiziksel ilişkiyle oluşur. Birinci tip adsorbsiyona "Kimyasal Adsorbsiyon", ikinci tip adsorbsiyona "Fiziksel Adsorbsiyon" denir [51] .

Zeta potansiyeli ölçüm deneylerinde kullanılan OMC-377 (HENKEL) reaktifi, modifiye edilmiş bir yağ asidi olup, anyonik bir toplayıcıdır. Flotator SM-15 (HOECHST) reaktifi ise, Alkil Poliglikol eterin fosforik asit mono ve diester karışımıdır. Anyonik bir toplayıcı olan SM-15, genellikle ağır metal oksitlerin flotasyonunda kullanılmaktadır. Her iki reaktifin formülleri aşağıda verilmektedir.

OMC-377 (HENKEL)

FLOTINOR SM-15 (HOECHST)

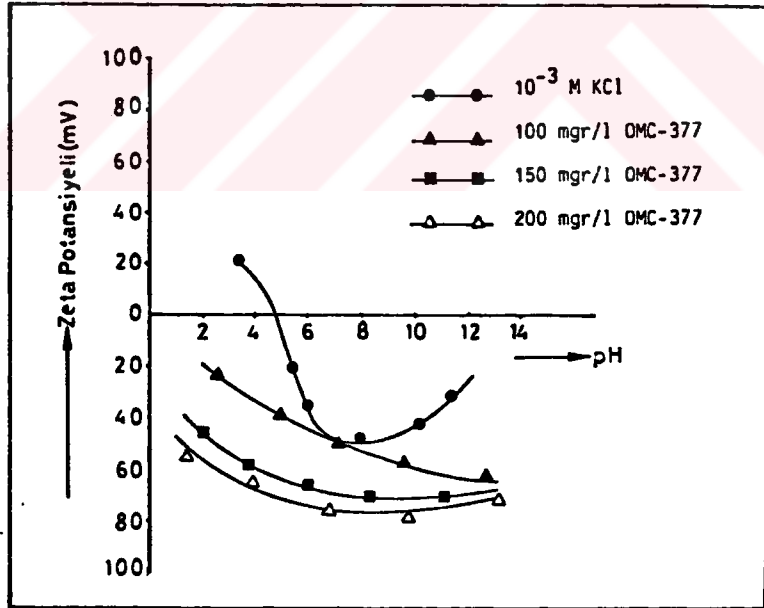


Mono ester

di ester

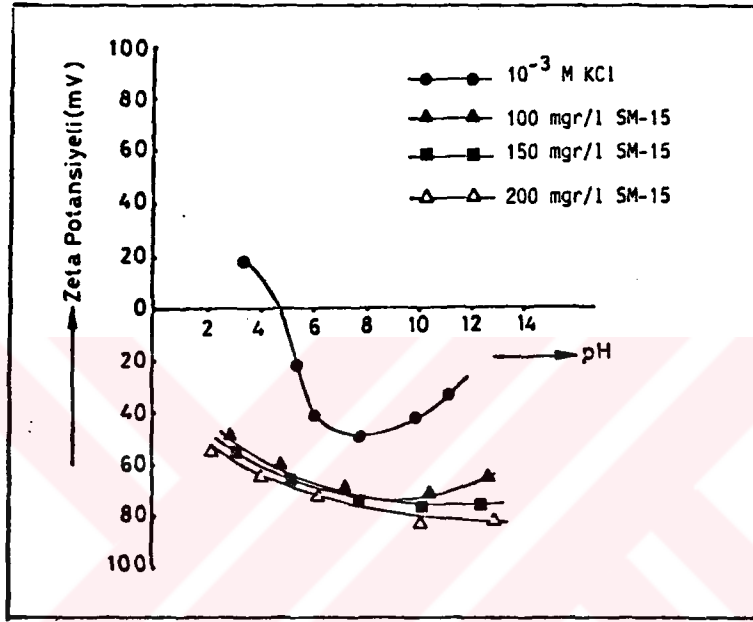
100, 150 ve 200 mgr/lit konsantrasyonlarındaki OMC-377 (Henkel) reaktifinin pH değişimine bağlı olarak, kromit yüzey elektrik yükü değişimi incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 6-7'de verilmektedir.

Şekil 6-7'den de izlenebileceği gibi her konsantrasyon değerinde pH artışına paralel olarak, kromitin mutlak değerce negatif yüzey yükü artmakta, pH:12'de ise sabit kalmaktadır.



Şekil 6-7 OMC-377 Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Kromit Yüzey Eletrik Yükünün Değişimi

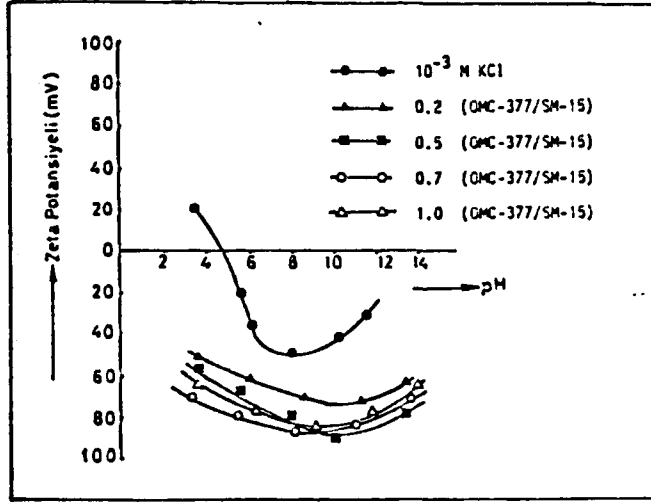
SM-15 toplayıcısı ile yapılan kromit zeta potansiyeli ölçüm deneylerinde de aynı konsantrasyon değerleri kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 6-8'de verilmektedir. SM-15 toplayıcısı ile yapılan deneylerde, OMC-377 toplayıcısına oranla, kromit zeta potansiyeli değerleri, mutlak değerce bir miktar daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 6-8 SM-15 Konsantrasyonuna Bağlı Olarak Kromit Yüzey Elektrik Yükünün Değişimi

OMC-377 ve SM-15 reaktifleri ile ayrı ayrı yapılan kromit zeta potansiyeli ölçüm deneylerinden sonra, flotasyon deneylerinde kullanıldığı biçimde, her iki reaktif karışımının kromit zeta potansiyeli üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

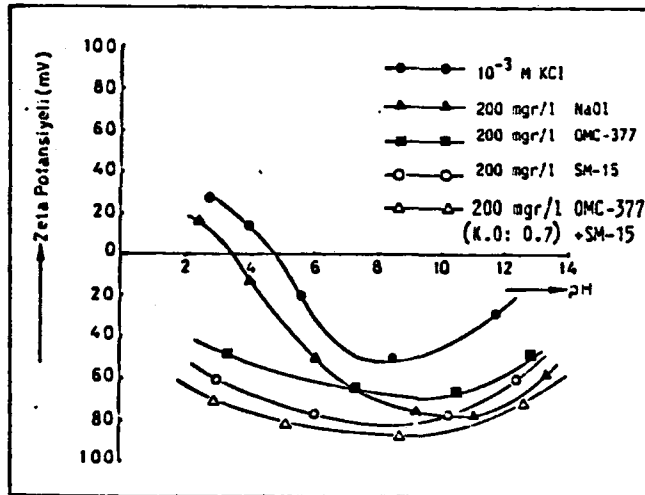
Değişik OMC-377/SM-15 karışım oranlarında ve toplam 200 mgr/lt OMC-377 + SM-15 miktarlarında deneyler yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 6-9'da verilmektedir. Şekil 6-9'dan da izlenebileceği gibi, sonuçlar daha önceki deney sonuçları ile benzerlik göstermekte ancak negatif yükün mutlak değerinde bir miktar artış gözlenmektedir. Mutlak değerce, negatif yüzey yükünün maksimum olduğu nokta, pH:10.5'da ve 0.7 OMC-377/SM-15 karışım oranında elde edilmiştir.



Şekil 6-9 Toplam 200 mgr/l'te Konsantrasyonunda, OMC-377/SM-15 Karışım Oranına Bağlı Olarak, Kromit Yüzey Elektrik Yükünün Değişimi

Kromit yüzeyindeki zeta potansiyeli değişimine göre OMC-377, SM-15 ve adsorbsiyon mekanizması bilinen NaOl toplayıcısının, flotasyon pH aralığındaki adsorbsiyonları hakkında fikir sahibi olmak amacıyla karşılaştırma yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan reaktif konsantrasyonu 200 mgr/l'tir. OMC-377/SM-15 karışımıyla yapılan deneyde, karışım oranı 0.7 olarak sabit tutulmuştur. Sonuçlar Şekil 6-10'da verilmektedir.



Şekil 6-10 200 mgr/l'te Konsantrasyonunda NaOl, OMC-377, SM-15 ve OMC-377 + SM-15 Karışımı ile Yapılan Kromit Yüzey Elektrik Yükü Ölçümleri

Kromit zpc değeri 4.8'dir. pH:4.8'in altındaki pH değerlerinde kromit yüzey elektrik yükü pozitif, pH:4.8'in üstündeki pH değerlerinde ise negatiftir.

Şekil-6.10'dan da görüldüğü gibi OMC-377, SM-15 ve her iki reaktifin karışımı ile yapılan zetapotansiyeli ölçüm deneylerinde, bütün pH aralıklarında zetapotansiyeli işareti negatiftir.

NaOH ile yapılan deneyde ise pH:4'ün altında yüzey pozitif, pH:4 üstündeki pH değerlerinde ise negatiftir.

Bu sonuçlara göre kabaca OMC-377 ve SM-15 reaktiflerinin pH:4.8'in altındaki pH değerlerinde kromit yüzeylerinde fiziksel adsorbsiyon yaptığı, pH:4.8'in üstündeki pH değerlerinde kimyasal adsorbsiyon yaptıkları söylenebilir. Kimyasal adsorbsiyon sırasında kromit yüzeyinde oluşan yapının tesbit edilmesi gerekmektedir.

6.5. Infrared Spektrometre ile Kromit Yüzeyindeki Adsorbsiyonun İncelenmesi

OMC-377 ve SM-15 reaktiflerinin pH:10-11 aralığında kromit yüzeyindeki adsorbsiyon mekanizmasını açıklamak amacıyla, 325 mesh altına öğütülen saf kromit numunesi pH:10-11 aralığında, belli konsantrasyonda reaktif içeren distile su içersinde karıştırılmış, daha sonra santrifüj ayırıcı ile katı-sıvı ayırması yapılmıştır.

Santrifüj ayırma sonucu elde edilen kromit numunesi, oda sıcaklığında kurutulmuş daha sonra KBr ile belli oranda karıştırılarak pellet hazırlanmış ve Perkin-Elmer Marka Infrared Spektrometreye yerleştirilerek, numuneden elde edilen spektrumlar otomatik olarak 15 dak. süresince kaydedilmiştir.

Çeşitli araştırmacılar tarafından yapılan Infrared Spektroskopik çalışmalarda (Leja 1960, Palmer 1982) yağ asitleri ve sabunların çeşitli karakteristik bandları verilmiştir [49,52] ,

Karakteristik bantlar şu şekildedir;

- 1650 - 1850 cm⁻¹ C = O
- 1430 - 1441 cm⁻¹ ve 1300 cm⁻¹ C - OH
- 1465 - cm⁻¹ CH₂
- 1400 - 1590 cm⁻¹ C - O

Alkil poliglitol eterin fosforik esteri için karakteristik olan bantları ise;

- 1250 cm⁻¹ ve 1300 cm⁻¹ P = O
- 2350 cm⁻¹ ve 2450 cm⁻¹ P - H

şeklindeir.

Infrared Spektrometre çalışmalarında sıvı-katı ayırması sonucu, elde edilen saf kromit numunesi kurutulduktan sonra 1 mg numune alınarak 1/300 oranında KBr ile karıştırılmış ve pelet hazırlanmıştır.

Deneylerde 200 mgr/lit konsantrasyonunda OMC-377 ve SM-15 reaktifleri kullanılmış ve pH:10-11 aralığında çalışılmıştır.

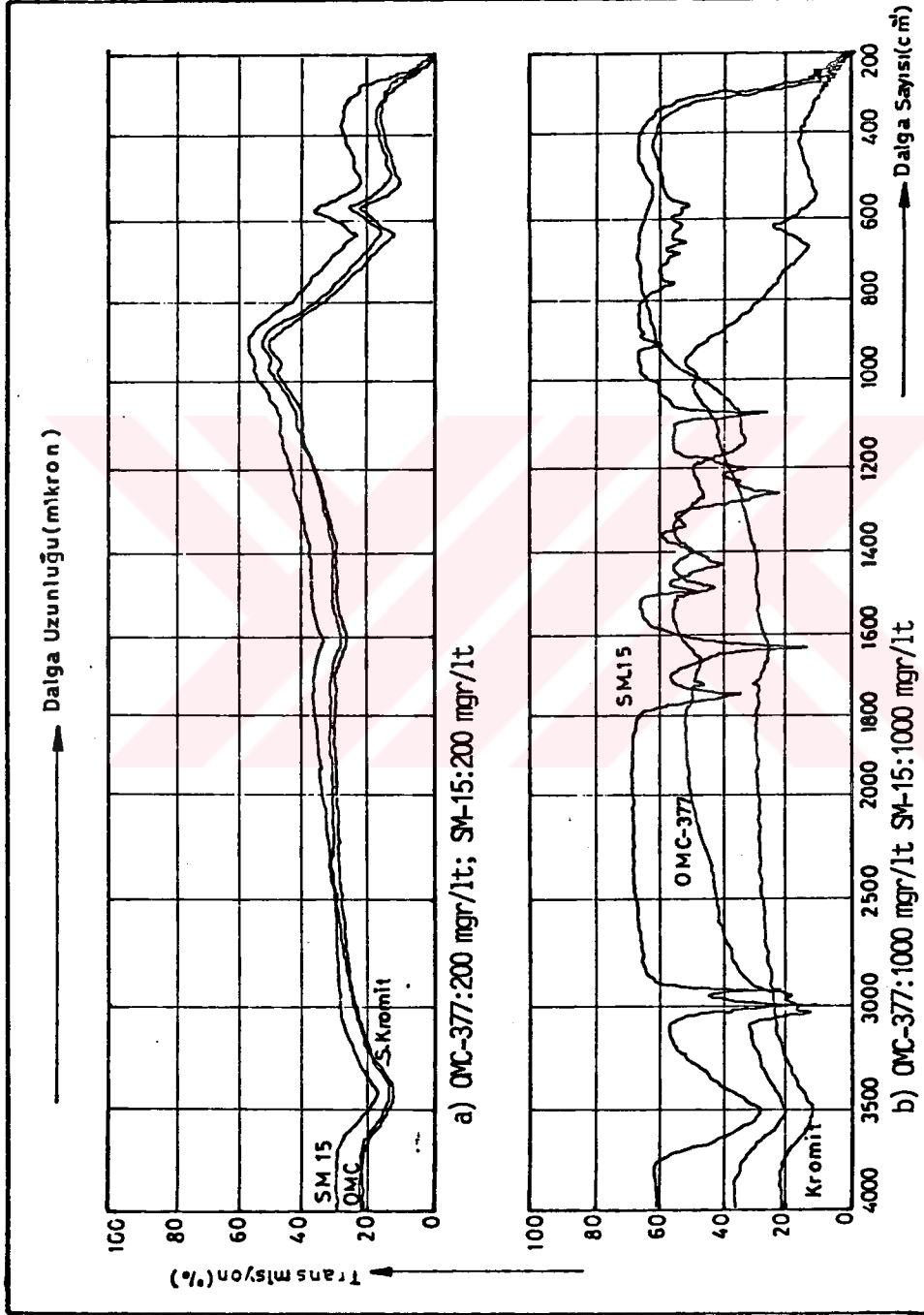
Infrared Spektrometre çalışmalarında ilk olarak reaktifle karıştırılmamış saf kromitin spektrumları kaydedilmiş, daha sonra reaktifle karıştırılmış numunelerin spektrumları tesbit edilmiştir. Sonuçlar Şekil 6-11 (a,b)'de verilmektedir.

Şekil 6-11 (a)'dan da izleneceği gibi oldukça az miktarda bulunan numune sebebiyle karakteristik piklerin elde edilmesi mümkün olmamıştır. Kalitatif olarak adsorbsiyon durumunu saptamak amacıyla, kullanılan reaktif konsantrasyonu artırılarak karakteristik piklerin daha belirgin bir şekilde görülmesi sağlanmıştır. Şekil 6-11 (b)'de artırılmış OMC-377 ve SM-15 konsantrasyonunda elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Şekil 6-11 (b)'deki eğriler incelendiğinde, OMC-377 reaktifinin kullanıldığı deneyde 1650 - 1850 cm⁻¹ C = O
1400 - 1590 cm⁻¹ C - O
1430 - 1441 cm⁻¹ C - OH karakteristik bantları gözlemiştir.

SM-15 reaktifinin kullanıldığı deneyin spektrumlarında ise, $1250-1300\text{ cm}^{-1}$ $P = 0$ karakteristik bantı saptanmıştır.

Sonuç olarak; her iki reaktif de pH:10-11 aralığında, kromit yüzeyi üzerinde kimyasal olarak adsorblandığı kanısına varılmıştır.



Şekil 6-11 Değişik Konsantrasyonlardaki OMC-377 ve SM-15 ile pH:11'de Kıvamlandırılan Saf Kromitin İnfrarod Spektrumları

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

1. Etibank Üçköprü Krom İşletmesi Karagedik Krom Zenginleştirme Tesisinde uzun yıllardan beri biriktirilen tesis artıklarının 800 bin ton civarında olduğu ve yapılan sistematik numune alma işlemleri sonucunda ortalama Cr_2O_3 içeriğinin % 11-12 olduğu tesbit edilmiştir.

2. Deneyisel çalışmalara esas % 15.15 Cr_2O_3 içerikli 2. stok numunesi üzerinde yapılan mineralojik incelemeler sonucunda, ortalama tane boyutu $35-50\mu$ olan ince boyutlu Kromit, gang mineralleri olarak da Serpantin grubu mineralleri (Krizotil, antigorit), Olivin, Manyezit, Piroksen, Tremolit, Talk ve Opal saptanmıştır.

3. Temsili numune üzerinde yapılan boyut analizleri sonucunda, kromun % 77.5'nin, % 21.23 Cr_2O_3 içeriği ile 0.1 mm altında, % 55.7'sinin ise % 24.25 Cr_2O_3 içeriği ile 0.038 mm altında olduğu saptanmıştır.

4. -0.1 mm boyut grubu numune ile yapılan Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma ve Sarsıntılı Masa deneyleri sonucunda, sırasıyla % 39 ve % 52 Cr_2O_3 içerikli konsantreler % 23 ile % 30 krom kazanma verimi, % 30-40 oranındaki, % 7-15 Cr_2O_3 içerikli artıklar ise, % 10 ve % 36 krom kaybı ile, elde edilmiştir.

5. 0.1 mm altında değişik toplayıcılarla yapılan flotasyon ön-deneylerinde en iyi sonuçlar, F-3635 + SM-15, F-443 + Unitol - 1090 ve OMC-377 + SM-15 karışımları ile pH:11'de elde edilmiştir. Gerek reaktif tüketimi, gerekse selektivite açısından üç reaktif karışımı içerisinde en uygununun OMC-377 + SM-15 karışımı olduğu saptanmıştır.

6. Saf kromit numunesi üzerinde yapılan yüzey elektrik yükü ölçüm deneyleri sonucunda, kromitin sıfır yük noktasının pH: 4.8 olduğu saptanmıştır. 10^{-4} , 10^{-3} M konsantrasyonlarındaki Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3}

ve Cr^{+3} çözeltilerinde yapılan kromit yüzey elektrik yükü ölçümleri sonucunda ise, sıfır yük noktası sırasıyla 5.4 - 4.3, 4.8, 10 - 9 ve 7.4 - 8.2 olarak, tesbit edilmiştir.

7. Flotasyon deneylerinde kullanılan OMC-377 ve SM-15 toplayıcılarının, kromit yüzey elektrik yükü üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla, değişik konsantrasyonlardaki OMC-377, SM-15 ve her ikisinin değişik oranlardaki karışımı ile yapılan deneyler sonucunda, bütün pH değerlerinde kromit yüzey işaretinin negatif olduğu saptanmıştır. OMC-377 ve SM-15 toplayıcılarının kromit yüzeyindeki adsorpsiyonunu incelemek amacıyla infrared spektrometre ile yapılan çalışmalar sonucunda, OMC-377 ve SM-15 reaktiflerinin kromit yüzeyinde kimyasal olarak adsorplandığı anlaşılmıştır.

8. En uygun koşullarda yapılan Klasik Flotasyon deneyleri sonucunda, girenin % 20.5'i oranında, % 41.58 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 42 krom kazanma verimi ile kazanılmakta, % 41 oranındaki artık ise, % 13.11 Cr_2O_3 içeriği ve % 27.5 krom kaybı ile elde edilmektedir. % 38.5 oranındaki % 16.09 Cr_2O_3 içerikli malzeme ise, araürün olarak elde edilmektedir.

9. En uygun koşullarda yapılan Kolon Flotasyonu deneyleri sonucunda, % 16.7 oranında, % 48.73 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 40.5 krom verimi ile kazanılmakta, % 51.6 oranındaki, % 8.09 Cr_2O_3 içerikli artık ise, % 20.8 krom kaybı ile elde edilmektedir. % 31.7 oranındaki, % 24.50 Cr_2O_3 içerikli malzeme araürün olarak elde edilmektedir.

10. Kolon Flotasyonu ile benzerlik gösteren en uygun koşullarda yapılan Jet Flotasyonu deneyi sonucunda, % 8 oranında, % 43.16 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 17.3 krom kazanma verimi ile kazanılmakta, % 34.6 oranında, % 9.18 Cr_2O_3 içerikli artık ise, % 15.8 krom kaybı ile uzaklaştırılmaktadır. % 57.4 oranındaki, % 23.32 Cr_2O_3 içerikli malzeme ise, araürün olarak elde edilmektedir.

11. Her üç yöntemle daha önce saptanan optimum koşullarda yapılan pilot ölçekli flotasyon deneyleri sonucunda, Klasik Flotasyon pilot deneyinde, % 32.8 oranında, % 41.56 Cr_2O_3 içerikli konsantre,

% 61.6 krom kazanma verimi ile, Kolon Flotasyonu pilot deneyinde, % 18.5 oranında, % 46.18 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 40 krom kazanma verimi ile, Jet Flotasyon pilot deneyi sonucunda ise, % 29.6 oranında, % 43.09 Cr_2O_3 içerikli konsantre, % 64.2 krom kazanma verimi ile elde edilmektedir. Klasik Flotasyon pilot deneyi sonucunda % 12.62 Cr_2O_3 içerikli artık, % 38.4 krom kaybı ile atılırken, Kolon Flotasyonu deneyinde atılan artığın Cr_2O_3 içeriği % 15.75, krom kaybı % 60, Jet Flotasyonu deneyinde, Cr_2O_3 içeriği % 10.10, krom kaybı % 38.4 olmaktadır.

12. Küçük boyutlu kromit cevherlerinin Klasik, Kolon ve Jet Flotasyonu yöntemleri kullanılarak gerek laboratuvar, gerekse pilot ölçekli flotasyonu ve yöntemlerin karşılaştırılması ilk kez bu tez kapsamında araştırılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, Jet Flotasyonu yönteminin, Klasik ve Kolon Flotasyon yöntemine oranla, gerek flotasyon kapasitesi, gerekse verim açısından üstün olduğu saptanmıştır. Kolon Flotasyon yönteminde ise, diğer iki yöntemle oranla daha yüksek Cr_2O_3 içerikli konsantre elde edilebildiği, ancak krom kazanma veriminin düşük olduğu saptanmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] MORNING, J.L., Chromium, Mineral Commodity Profiles MCM-1., Bureau of Mines, pp. 14-77, May 1977.
- [2] Krom İhtisas Komisyonu Raporu.
- [3] ÖZPEKER, İ., Mağmatik Maden Yatakları Ders Notları. İ.T.Ü. Maden Fakültesi, 1976.
- [4] Dünya'da ve Türkiye'de Metal ve Mineral Kaynaklarının Potansiyeli, Ticareti, Beklenen Gelişmeleri-4 "Krom" MTA Yayını No: 160, Ankara, 1976.
- [5] ÖNAL, G., GÜNEY, A., Chromerzbergbau in der Türkei, Aufbereitung-Technik. 31 Nr.1, pp. 24-28, 1990.
- [6] PAPP, J.F., Chromium Mineral Years Book, pp. 241-255, 1985.
- [7] İstanbul Maden İhracatçıları Birliği Çalışma Yılı Raporu, 1988.
- [8] ARIÖĞLU, E. ve Arkadaşları., Türkiye'de Krom Madenciliği., Dünya Gazetesi, 1986.
- [9] ALPÖZ, T., Dünya Pazarlarında Etibank'ın Ferrokrom Durumu ve Pazarı, Etibank Bülteni Sayı: 104-105 pp. 33-36, 1987.
- [10] ÖNAL, G. ve Arkadaşları., Kromit Oluşumu, Zenginleştirilmesi ve Kullanım alanları, İ.T.Ü. Maden Fakültesi, pp. 26-50, 1986.
- [11] SOBIERAJ, S., LASKOWSKI, J., Flotation of Chromite, Trans. Inst. Min. Metall., Vol. 82, pp. 207-213, 1973.
- [12] GÖKSALTIK, S., Die Selektive Flotation der Kefdağ-Chromerze Bergbauwissenschaften. 3, pp. 97-107, 1956.
- [13] MORAWIETZ, H.J., Ein Beitrag Zur Lossüg des Problems der Chromite-Flotation., Z.Erzbergb Metallhüttenw, pp. 309-321, 388-393, 1959.
- [14] SAGHEER, M., Flotation Characteristics of Chromite and Serpentine Trans. Am. Inst., Min. Engrs., pp. 60-67, 1966.
- [15] ABIDO, A.M., Fluoride Activation in the Flotation of Chromite. J., Appl. Chem., pp. 19-22, 1971.
- [16] PALMER, B.R., FUERSTENAU, M.C., APLAN, F.F., Chromite Flotation, Society of Mining Engineers, AİME, Vol. 258, pp. 261-263, September, 1975.

- [17] FUERSTENAU, M.C., RICE, D.A., Trans. SME/AIME, Vol. 241 pp. 453, 1968.
- [18] ATAK, S., Adsorption von Oleat an Chromit und Olivin, Aufbereitungstechnik., 12/87, pp. 727-733, Desember, 1987.
- [19] SMITH, R.W., ALLARD, S.G., Effects of Pretreatment and Aging on Chromite Flotation, International Journal of Mineral Processing, pp. 163-177, 1983.
- [20] FUERSTENAU, D.W., Fine Particle Flotation, Fine Particles Processing, Chapter. 35, pp. 669-690, 1980.
- [21] KULKARNI, R.D., SOMASUNDARAN, P., Effects of Reagentizing Temperature and Ionic Strength and Their Interactions in Hematit Flotation. American Institute of Chemical Engineers Journals, Vol. 17, pp. 1486, 1971.
- [22] SEETON, F.A., Ultraflotation Gets First Commercial Try, Chemical and Engineering News, Vol, 39, pp. 52, October, 1961.
- [23] NORASIMHAN, K.S., et all., Column Flotation Improves Graphite Recovery, Engineering and Mining Journal, Vol. 84, May, 1972.
- [24] BOUTIN, P., WHEELER, D.A., Column Flotation Development Using an 18 inch Pilot Unit, Canadian Mining Journal, Vol. 94 March, 1967.
- [25] SASTRY, K.V.S., Mathematical Modeling and Computer Simulation of Column Flotation, 88, pp. 57-68, 1989.
- [26] ALIZADEH, A., SIMONIS, W., Flotation von Feinst-und Ultra-Feinst kohlepartikeln, Aufbereitung Technik, Nr.6, pp. 363-366 1985.
- [27] ZAMBRANA, C.Z., et all., Recovery of Minus Ten Microns Cassiterite by Liquid-Liquid Extraction, International Journal of Mineral Processing, Vol. 1, pp. 335, 1974.
- [28] KHAVSKI, N.N., et all., Clarification of Water and Aqueous Solutions by the Floto-Flocculation Methods, Proceeding, XI. International Min. Processing Congress, pp. 1345, Cagliari 1975.
- [29] MIKA, T.S., FUERSTENAU, D.W., Microscopic Model of the Flotation Process, Proceedings, VIII. International Mining Congress Leningrad Vol. II, pp. 246, November, 1969.
- [30] FLINT, L.R., HOWARTH, W.J., The Collision Efficiency of Small Particles with Spherical Air Bubbles, Chemical Engineering, Vol. 51, pp. 158, 1973.
- [31] GLEMBOTSKY, V.A., et all., Selective Separation of Fine Mineral Slimes Using the Method of Electric Separation, XI. International Mineral Processing Congress pp. 561 Cagliari, 1975.

- [32] WIE, J.M., FUERSTENAU, D.W., Flotation and Electrokinetic Properties of Copper (II) Sulfide Precipitate in the Absence of a Collector, to be Published.
- [33] ÖNAL, G. ve Arkadaşları., Krom Zenginleştirme Artıklarının Yüksek Alan Şiddetli Manyetik Ayırma ile Değerlendirilmesi, 6. Türkiye Bilimsel ve Teknik Kongresi, pp. 22, 1979.
- [34] SOBIERAJ, S., HABER, J., LASKOWSKI, J., Mechanism of Surface Oxidation of Chromium Spinel and its Influence on their Surface Properties, Roczn. Chem., Vol. 46, pp. 1987-97, 1972.
- [35] ATAĞ, S., Kromitin Flotasyonla Zenginleştirilmesi, Doğa Bilim Dergisi, Müh/Çev., Cilt. 6, sayı, 2, pp. 1-6, 1982.
- [36] DOĞAN, Z., Olivinin Kromitten Flotasyonla Ayrışması, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 4. Kongresi, pp. 581-593, 1975.
- [37] FOOT, D.G., MCKAY, J.D., HUIATT, J.L., Column Flotation of Chromite and Fluorite Ores, Canadian Metallurgical Quarterly, Vol. 25, No.1, pp. 15-21, 1986.
- [38] ESPINOSA, R., et al., Column Flotation of very Fine Particles, Minerals Engineering, Vol.1, pp. 3-18, 1988.
- [39] ESPINOSA R., et al., Technical Note: Flotation Column Carrying, Particle Size and Density Effects, Minerals Engineering, Vol.1, No.1, pp. 77-79, 1988.
- [40] HYDE, G.R., STOJSIC, A., Electro chemical and Column Flotation Technologies Can Mean Higher Recovery at Lower Operating Costs, Mining Engineering, pp. 481-484, July, 1987.
- [41] CLINGAN, B.V., Mc GREGOR, D.R., Column Flotation Experience at Magma Copper Company, Mineral and Metallurgical Processing, pp. 121-125, August, 1987.
- [42] ZABURUNOV, S.A., Cominco's Sullivan Concentrator Copes With Changing Grades and Changing Times, Engineering and Mining Journal pp. 24-28, November, 1988.
- [43] Rank - Brother Zetameter, Elkitabı.
- [44] ATALAY, Ü., Surface Properties of Chromite and Concentration of Chromite Gravity Tailings, ph.D. Thesis, O.D.T.Ü., 1986.
- [45] DEJU, A.R., BHAPPU, R., Design of an Apparatus for Determining Isoelectric Point of Charge, Bureau of Mines and Mineral Resources C. 79, 1965.
- [46] PARKS, A.G., The Isoelectric Points of Solid Oxide, Solid Hydroxides and Aqueous Hydroxo-Complex Systems, Chem. Review, Vol. 65, pp. 177-198, 1985.

- [47] LATIMER, V.M., Oxidation Potentials, Practice Hall. Inc., New York, 1952.
- [48] BUTLER, J.N., Ionic Equilibrium, Addison Wesley Pub. Co., pp. 287.
- [49] PALMER, B., Adsorption of Surfactants on Chromite and Chrysocolla, Ph. D. Thesis, University of Utah, pp. 137, 1972.
- [50] LASKOWSKI, J., SOBIERAJ, S., Zero Points of Charge of Spinel Minerals, Dept. Min. Processing and Coal Preparation, Gliwice, Poland.
- [51] ATAK, S., Flotasyon, Ders Kitabı, İ.T.Ü. Yayınları, 1974.
- [52] LEJA, J., POLING, G.W., On the Interpretation of Contact Angle, on the Fifty Mineral Processing Congress, pp. 325-332, 1960.



ÖZGEÇMİŞ

1958 yılında Osmaneli'de doğan Ali GÜNEY, ilköğrenimini Osmaneli'de, orta ve lise öğrenimini Pendik'te tamamlamış, 1976 yılında İ.T.Ü Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 1981 yılında Maden Mühendisi, 1984 yılında Maden Yüksek Mühendisi olan Ali GÜNEY, aynı yıl İ.T.Ü Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Anabilim Dalına Araştırma Görevlisi olarak atanmış, 1985 yılında İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Cevher Hazırlama Programında doktora öğrenimine başlamıştır.

