**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# SİVAS TALK ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ENDÜSTRİYE HAZIR HALE GETİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sena Zeynep KUTLU**

**Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı**

**MAYIS 2013**

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

# SİVAS TALK ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ENDÜSTRİYE HAZIR HALE GETİRİLMESİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Sena Zeynep KUTLU**
**(505091108)**

**Cevher Hazırlama Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Gülay BULUT**

**MAYIS 2013**

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 505091108 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Sena Zeynep KUTLU**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"SİVAS TALK ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ENDÜSTRİYE HAZIR HALE GETİRİLMESİ"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Doç. Dr. Gülay BULUT** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Özgül ÖZCAN** .....
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi :** **24 Nisan 2013**
**Savunma Tarihi :** **21 Mayıs 2013**

***Anneme ve halama,***

## ÖNSÖZ

İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Cevher Hazırlama Mühendisliği Programı'nda yüksek lisans tez çalışmama olanak sağlayan, Maden Fakültesi Dekanı Sayın Prof. Dr. Fatma ARSLAN'a ve Cevher Hazırlama Mühendisliği Bölüm Başkanı Sayın Prof. Dr. Gündüz ATEŞOK'a, çalışmalarım boyunca tecrübesini benimle paylaşan ve her konuda sonsuz yardımlarını gördüğüm tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Gülay BULUT'a ve mineralojik çalışmalarımda yardımcı olan Sayın Prof. Dr. Ali Haydar GÜLTEKİN'e, tüm çalışmalarım boyunca destek ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Ar. Gör. Ünzile YENİAL'a; çalışma ve deneylerimi yürütmeme imkan veren bilgi ve birikimlerini her zaman paylaşan başta Sayın Adnan ALTAŞ olmak üzere tüm Eczacıbaşı Esan Teknik Hizmetler Direktörlüğü ailesine ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili aileme teşekkürlerimi sunarım.

Nisan 2013

Sena Zeynep Kutlu

Maden Mühendisi

**İÇİNDEKİLER**

**Sayfa**

**ÖNSÖZ** ..... **vii**
**İÇİNDEKİLER** ..... **ix**
**ÇİZELGE LİSTESİ** ..... **xi**
**ŞEKİL LİSTESİ** ..... **xiii**
**ÖZET** ..... **xv**
**SUMMARY** ..... **xvii**
**1. GİRİŞ** ..... **1**
**2. GENEL BİLGİLER** ..... **3**
**2.1. Talk Mineralinin Tarihçesi** ..... **3**
**2.2. Talk Mineralinin Özellikleri** ..... **4**
2.2.1. Talk mineralinin fiziksel özellikleri ..... 4
2.2.2. Talk mineralinin kimyasal ve mineralojik özellikleri ..... 4
**2.3. Talk Mineralinin Sınıflandırılması** ..... **5**
2.3.1. Sabuntaşı ..... 5
2.3.2. Steatit ..... 5
2.3.3. Profillit ..... 5
2.3.4. Asbestin ..... 5
2.3.5. Fransız tebeşiri ..... 5
2.3.6. Rensseleaerit ..... 6
2.3.7. Lava ..... 6
**2.4. Talk Yatakları ve Oluşum Şekilleri** ..... **6**
2.4.1. Steatit-kompakt talk yatakları ..... 6
2.4.2. Yumuşak levhamsı talk yatakları ..... 6
2.4.3. Tremolit talk yatakları ..... 6
2.4.4. Karışık talk cevher yatakları ..... 6
**2.5. Talk Rezervi** ..... **7**
2.5.1. Dünyada talk rezervleri ..... 7
2.5.2. Türkiye'de talk rezervleri ..... 8
**2.6. Talk Mineralinin Kullanım Alanları** ..... **9**
2.6.1. Seramik sanayi ..... 9
2.6.2. Çatı kaplaması ..... 10
2.6.3. Boya sanayi ..... 10
2.6.4. Kağıt sanayi ..... 10
2.6.5. Kozmetik sektörü ..... 11
2.6.6. Kauçuk sanayi ..... 11
2.6.7. İlaç sanayi ..... 11
2.6.8. Gıda sanayi ..... 11
2.6.9. Kablo sanayi ..... 11

**2.7. Saf Talk Mineralinin Sanayi Kullanımı İçin Ürün Standartları.....13**
**2.8. Talk Mineralinin Üretim ve Tüketim Miktarları.....15**
2.8.1. Dünyada üretim ve tüketim miktarları.....15
2.8.2. Türkiye'de üretim ve tüketim miktarları.....17
**2.9. Talk Mineralinin Üretim ve Zenginleştirme Yöntemleri.....17**
2.9.1. Talk mineralinin üretimi.....17
2.9.2. Talk mineralinin zenginleştirilmesi.....18
**3. TALK MİNERALİNİN FLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ.....21**
**3.1. Flotasyon Hakkında Genel Bilgi.....21**
**3.1.1. Flotasyonda Yüzey Kimyası.....21**
3.1.2. Elektrokimyasal potansiyel ve ara yüzeylerdeki potansiyel farkı.....22
3.1.3. Elektriksel çift tabaka.....22
3.1.4. Ara yüzeylerin termodinamiği.....25
3.1.5. Flotasyon ve temas açısı.....27
**3.2. Talk Mineralinin Flotasyonla Ayrılması İle İlgili Yapılan Çalışmalar.....28**
**4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....35**
**4.1. Malzeme ve Yöntem.....35**
**4.2. Talk Atığının Karakterizasyonu.....37**
**4.2.1. Malzemenin mineralojik yapısı.....37**
**4.2.1.1. Mikroskop incelemeleri.....37**
**4.2.1.2. X-Işını difraksiyon tekniği ile faz analizi.....42**
**4.2.2. Malzemenin kimyasal yapısı.....44**
**4.2.2.1. X-Işını floresans spektrometre tekniği ile kimyasal analizi.....44**
4.2.3. Malzemenin fiziksel yapısı.....46
**4.2.3.1. Elek analizi.....46**
4.2.3.2. Renk ölçüm analizi.....47
4.2.4. Atık talk numunesinin flotasyona hazırlanması.....47
**4.3. Kullanılan Reaktifler ve Özellikleri.....49**
4.3.1. Köpürtücüler.....49
4.3.1.1. MIBC.....49
4.3.1.2. Dowfroth 250.....50
4.3.1.3. Butil Glikol.....50
4.3.2. Bastırıcılar.....50
4.3.2.1. Sodyum silikat.....50
4.3.2.2. Lignosülfonat.....50
4.3.2.3. CMC.....51
**4.4. Flotasyon Deneylerinin Sonuçları.....51**
4.4.1. Atık talk numunesinin pH'a bağlı flotasyon davranışı.....51
4.4.2. Atık talk numunesinin sodyum silikat miktarına bağlı flotasyon davranışı53
4.4.3. Atık talk numunesinin MIBC miktarına bağlı flotasyon davranışı.....55
4.4.4. Atık talk numunesinin farklı köpürtücülere bağlı flotasyon davranışı.....57
4.4.5. Atık talk numunesinin farklı tane boyutlarına bağlı flotasyon davranışı....58
4.4.6. Atık talk numunesinin ters flotasyon davranışı.....60
4.4.7. Atık talk numunesine manyetik ayırma uygulaması.....62
4.4.8. Atık talk numunesine asit liçi uygulaması.....64
4.4.9. Atık talk numunesine boya deneyleri uygulaması.....66
**5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....69**
**KAYNAKLAR.....73**
**ÖZGEÇMİŞ.....75**

## ÇİZELGE LİSTESİ

**Sayfa**

**Çizelge 2.1 :** Dünya'daki talk rezervlerinin dağılımı,(DPT, 2001) .....7
**Çizelge 2.2 :** Türkiye'deki talk rezervlerinin dağılımı,(DPT, 2001) .....9
**Çizelge 2.3 :** Sektörlere göre talkın kullanım fonksiyonları.....12
**Çizelge 2.4 :** Boya sanayinde kullanılan talk standartları, (TSE, 5409).....13
**Çizelge 2.5 :** Talk TSE standartları .....14
**Çizelge 2.6 :** Dünya talk üretim miktarları.....16
**Çizelge 2.7 :** Türkiye'de sektörlere göre kullanım miktarları, (DPT, 2001) .....17
**Çizelge 3.1 :** Farklı pH değerlerinin flotasyona etkisi, (Mahmoud ve diğ., 2007).....29
**Çizelge 3.2 :** Bastırıcı miktarının flotasyona etkisi, (Mahmoud ve diğ., 2007).....30
**Çizelge 3.3 :** Kollektör miktarının flotasyona etkisi, (Mahmoud ve diğ., 2007) .....30
**Çizelge 3.4 :** Pülp yoğunluğunun flotasyona etkisi, (Mahmoud ve diğ., 2007).....31
**Çizelge 3.5 :** pH'ın talk flotasyonuna etkisi, (Yehia ve Wakeel, 1999) .....32
**Çizelge 3.6 :** Köpürtücü miktarının flotasyona etkisi, (Yehia ve Wakeel, 1999) .....33
**Çizelge 4.1 :** Atık talk numunesinin komple kimyasal analiz sonuçları .....45
**Çizelge 4.2 :** Atık talk numunesine uygulanan yaş elek analizi.....46
**Çizelge 4.3 :** Atık talk numunesinin renk analizi sonuçları.....47
**Çizelge 4.4 :** MIBC fiziksel ve kimyasal özellikleri .....49
**Çizelge 4.5 :** Butil Glikol fiziksel ve kimyasal özellikleri .....49
**Çizelge 4.6 :** Farklı pH değerlerinin atık talk flotasyonu üzerine etkisi.....51
**Çizelge 4.7 :** Farklı sodyum silikat miktarının atık talk flotasyonu üzerine etkisi.....54
**Çizelge 4.8 :** Farklı MIBC konsantrasyonlarının atık talk flotasyonu üzerine etkisi .56
**Çizelge 4.9 :** Farklı köpürtücülerin atık talk flotasyonu üzerine etkisi .....58
**Çizelge 4.10 :** Farklı tane boyutlarının atık talk flotasyonu üzerine etkisi.....59
**Çizelge 4.11 :** Ters flotasyon deney koşulları .....61
**Çizelge 4.12 :** Lignosülfonat ile yapılan ters flotasyon deney sonuçları.....61
**Çizelge 4.13 :** CMC ile yapılan ters flotasyon deney sonuçları .....62
**Çizelge 4.14 :** Manyetik ayırma deney sonuçları.....63
**Çizelge 4.15 :** Farklı miktarlardaki asit liçi koşulları.....64
**Çizelge 4.16 :** Farklı miktarlardaki asit liçi sonuçları .....64
**Çizelge 4.17 :** Farklı sürelerdeki asit liçi koşulları (-106 mikron) .....65
**Çizelge 4.18 :** Farklı sürelerdeki asit liçi sonuçları (-106 mikron).....65
**Çizelge 4.19 :** Farklı sürelerdeki flotasyon konsantresine uygulanan liç koşulları....65
**Çizelge 4.20 :** Farklı sürelerdeki flotasyon konsantresine uygulanan liç sonuçları....66
**Çizelge 4.21 :** Asit liçi numunelerinin renk analizi sonuçları.....66
**Çizelge 4.22 :** Flotasyon konsantresinin boya için renk analizi sonuçları.....66

## ŞEKİL LİSTESİ

**Sayfa**

**Şekil 2.1 :** Çeşitli renklerde talk cevheri .....3
**Şekil 2.2 :** Talk cevherinin kristal yapısı.....5
**Şekil 3.1 :** Elektriksel çift tabaka modeli.....24
**Şekil 3.2 :** Üç fazlı sistemlerde doğrusal temas durumu ve yüzey gerilimi.....27
**Şekil 4.1 :** Sivas-Gürevik haritası.....35
**Şekil 4.2 :** Sivas-Gürlevik atık talk numunesi.....36
**Şekil 4.3 :** Örnek A-talkın (Tk) polarize ışık (üstte) ve beyaz ışık (altta) altında ince kesit görüntüleri (X40).....37
**Şekil 4.4 :** Örnek B-talkın (Tk) polarize ışık (üstte) ve beyaz ışık (altta) altında ince kesit görüntüleri (X40). ..... 38
**Şekil 4.5 :** Örnek C-orjinal talkın (Tk) polarize ışık (üstte) ve beyaz ışık (altta) altında ince kesit görüntüleri (X40). ..... 39
**Şekil 4.6 :** Örnek D-talk numunesinin parlatılmış kesitlerinde izlenen ince taneli hematit (He) ve manyetit (M) kristalleri.....40
**Şekil 4.7 :** Örnek D-talk numunesinin parlatılmış kesitlerinde izlenen limonitler (Li) yer yer ikincil çatlaklar içinde ve talk (Tk) içinde saçılıdır .....40
**Şekil 4.8 :** Örnek D-limonitik zon içinde izlenen hematit ve manyetit kristalleri.....41
**Şekil 4.9 :** Örnek D-hematitin limonitik seviyelerde botryoidal yapıda görüntüsü. ..41
**Şekil 4.10 :** Panalytical X'Pert Pro X-Ray Diffractometry (XRD) cihazı.....43
**Şekil 4.11 :** Talk atığı orjinal numune X-Işını difraktometresi .....44
**Şekil 4.12 :** Panalytical Axios X-Işını Fluoresans Spektrometre (XRF) cihazı .....45
**Şekil 4.13 :** Yaş eleme sonucuna göre toplam elekaltı eğrisi.....46
**Şekil 4.14 :** Konica Minolta CM 3610d cihazı.....47
**Şekil 4.15 :** Seramik bilyalı değirmen.....48
**Şekil 4.16 :** 106 mikron altı tane iriliği dağılım analizi.....48
**Şekil 4.17 :** 63 mikron altı tane iriliği dağılım analizi.....48
**Şekil 4.18 :** CMC molekülünün yapısı (Khraisheh ve diğ., 2004).....51
**Şekil 4.19 :** Farklı pH değerlerinin atık talk flotasyonuna olan etkisi.....52
**Şekil 4.20 :** pH deneyleri numunelerinin X-Işını Difraktometresi (XRD).....53
**Şekil 4.21 :** Farklı sodyum silikat konsantrasyonun talk flotasyonuna olan etkisi ....54
**Şekil 4.22 :** Sodyum silikat deneyleri numunelerinin X-Işını Difraktometresi.....55
**Şekil 4.23 :** Farklı MIBC konsantrasyonunun atık talk flotasyonuna olan etkisi.....56
**Şekil 4.24 :** MIBC deneyleri numunelerinin X-Işını Difraktometresi.....57
**Şekil 4.25 :** Farklı köpürtücülerin atık talk flotasyonuna olan etkisi .....58
**Şekil 4.26 :** Farklı tane boyutlarının atık talk flotasyonuna olan etkisi.....59
**Şekil 4.27 :** Farklı tane boyutu deney numunelerinin X-Işını Difraktometresi.....60
**Şekil 4.28 :** Ters flotasyon akım şeması.....60
**Şekil 4.29 :** Lignosülfonat deney sonuçları .....61
**Şekil 4.30 :** CMC deney sonuçları.....62
**Şekil 4.31 :** Manyetik ayırma akım şeması.....63
**Şekil 4.32 :** Yüksek alan şiddetli Carpco marka manyetik ayırıcı.....63
**Şekil 4.33 :** Standart $TiO_2$ (solda) ve flotasyon konsantresi (sağda).....67

# SİVAS TALK ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE ENDÜSTRİYE HAZIR HALE GETİRİLMESİ

## ÖZET

Talk kullanım amacına göre, yumuşaklık, yağ emme, nem, özgül ağırlık, termal ve elektriksel iletkenlik ve kimyasal yapısına göre çok önemli bir mineraldir.

Dünya üzerinde çeşitli talk boyut ve özelliklerinde üretim yapılan çok sayıda ocak bulunmaktadır. Her talk ocağı kendine özgü maden ve jeoloji bilgilerini içerir. Talk kullanım alanları, renk, saflık ve diğer yapısal özelliklerine göre değişebilir. Bu nedenle beyaz, gri, pembe, mavi, mor, yeşil ve hatta siyah talk oluşabilir. Talk birçok endüstride kullanılır; hayvan yemi, otomobil, kablolar, şekerler, seramik, sakız, kozmetik-pudra, gübre, fırın teknolojisi, boya, kağıt, ilaç, alçı, plastik, matbaa mürekkebi, cam yapıştırma, refrakter, çatı kaplama malzemeleri, lastik tekerlekler bu sanayi dallarından bazılarıdır.

Yıllar boyunca, düzensiz yapılan üretimler sorunlara neden olmaktadır. Her türlü atık çeşidi çevreye zarar vermektedir ve daha da büyüyen sorunlar ile insan hayatı ve doğasını olumsuz etkileyecektir.

Talk atıkların değerlendirilmesi için birçok yöntem vardır. Bu çalışmada, Sivas-Gürlevik bölgesinin talk atıkların değerlendirilmesi ve sanayiye hazır hale getirilebilmesi için deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmada, öncelikle talk atıklarının özellikleri tespit edilmiş ve flotasyon ile talk atıklarının mümkün olduğu ölçüde zenginleştirilmesi incelenmiştir. Flotasyonda; yüzey aktif maddelerin türü ve miktarı gibi parametreler test edilmiştir. Sonuçlar analiz edilerek flotasyon sonucu çıkan talk konsantrelerinin içerik ve verimleri değerlendirilmiştir. Bu aşamadan sonra, deney sonuçlarına göre en uygun koşullar belirlenmiştir.

Ayrıca, bir başka flotasyon yöntemi olarak talk atıklarının zenginleştirilmesine yönelik ters flotasyon çalışmaları da gerçekleştirilmiştir ve elde edilen talk konsantrelerinin içerik ve verimleri değerlendirilmiştir. Bu çalışma kapsamında demir mineralinin talktan ayrılmasına yönelik yüksek alan şiddetli manyetik ayırma işlemi de uygulanmış ve elde edilen sonuçlar flotasyon neticesinde elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Son aşama olarak, talk atıklarının zenginleştirilmesine yönelik asit liçi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu deneyler sonucunda elde edilen en iyi talk konsantresi ile boya deneyleri gerçekleştirilmiş ve çıkan sonuçlar irdelenmiştir.

## EVALUATION OF THE SİVAS TALC WASTE AND PREPARING FOR INDUSTRY

## SUMMARY

Talc, according to its using purpose, softness, fat absorption, moisture content, dew point, specific gravity, thermal and electrical conductivity, and chemical structure is a very important mineral. Talc is fairly formed over millions of years.

Talc is a hydrous magnesium silicate mineral with a chemical composition of $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$. Although the composition of talc usually stays close to this generalized formula, some substitution occurs. Small amounts of Al or Ti can substitute for Si; small amounts of Fe, Mn and Al can substitute for Mg; and, very small amounts of Ca can substitute for Mg.

The talc reserves having economic importance occurs when dolomite incures a contact metamorphic or magmatic rocks. For occuring of talc are the most suitable areas igneous rocks and sedimentary rock contacts, faults and shear zones.

Quarries in the world are engaged in the production of a wide variety of sizes of talc. Each contains talc mine of its own, and geological information. Uses of talc can vary according to the color, purity and other structural features. For this reason, white, gray, pink, blue, violet, green and even black talc can occur.

Talc is used in many industries; animal feed, automobiles, cables, candies, ceramic tiles,cosmetics, fertilizers, furnace technology, paint,paper, pharmaceuticals, plaster, plastic, printing ink, glass paste, refractory,roofing materials, sanitary, such as rubber wheels and body powder. A coarse grayish-green high-talc rock is soapstone or steatite and has been used for stoves, sinks, electrical switchboards, crayons, soap, etc. It is often used for surfaces of lab counter tops and electrical switchboards because of its resistance to heat, electricity and acids. Talc finds use as a cosmetic (talcum powder), as a lubricant, and as a filler in paper manufacture. Talc is used in baby powder, an astringent powder used for preventing rashes on the area covered by a diaper. It is also often used in basketball to keep a player's hands dry. The major advantage of the use of talc in industry improvement of opacity and porosity. Talc provides to occur smoothness, yellowness by the production of paper. Talc minerals also used for all the filling and coating becaquse of having the minimum abrasive property as the other minerals.

Due to the low heat and the expansion property of talc, the use of talc by the bathroom and kitchen ceramics, and electric stoves are well known. In the ceramic industry the physical and chemical structure of talc should be homogen. Furthermore, particle size and distribution and the cooking index of talc is also important.

Talc, having fiber and leaves structure, is very important for the painting because of oil absorption. Grinded grade talc used in the paint industry should be white. Most paints are suspensions of mineral particles in a liquid. The liquid portion of the paint facilitates application but after the liquid evaporates the mineral particles remain on

the wall. Talc is used as an extender and filler in paints. The platy shape of talc particles improves the suspension of solids in the can and helps the liquid paint adhere to a wall without sagging. Due to chemical purity and particle size of the talc, it is possible to use producing pharmaceutical products and cosmetics.

The best known talc reserves are founded in Australia, Austria, Brazil, China, Finland, India, Italy, Japan, North Korea, Russia and the United States. Talc reserves in Turkey are in Aydın, Balıkesir, Bolu, Eskişehir, Ankara and Sivas located.

Over the years, the irregular production causes too many problems. Each kind of type of waste is damaging the environment and the growing problems affect human life and nature negatively. Nowadays, with the requirements of human life by establishing a balance between the sustainability of natural resources, economic, environmental and social dimensions of the present to the future planning compatible with a holistic approach aimed at a "Sustainable Development" under the targeted elimination of these problems.

There are many methods for the evaluation of talc waste. To producing talc there are many different methods like foam flotation, sedimentation, cyclones, dry and wet magnetic separation, centrifugal separation, spray drying and wet milling techniques. The two most widely used methods to enriching talc ores are pneumatic seperation and flotation.

In this study, evaluation of the Sivas-Gürlevik talc waste will be tested to get ready for the industry. In this research, primarily on the basis of laboratory evaluation of talc waste, is investigated the extent possible enrichment of talc waste by flotation. To get ready for the flotation tests Sivas-Gürlevik talc waste sample were applied the size reduction process. Materials were crushed and then milled wet in ceramic ball mill. For the required dimensions flotation samples were milled for different periods of time in ceramic ball mill.

By flotation; parameters such as type and amount of surface active substance, particle size, pH range, are tested. By analyzing the results the content and removal efficiency of talc concentrations is evaluated. After this step, according to the results optimal conditions are determined.

Furthermore, as another talc flotation method for enriching of the talc waste the reverse flotation was tested and the resulting talc concentrates content and yields are evaluated. In this study, for the separation of iron mineral from talc is the high intensity magnetic separation process applied and the results obtained were compared with the results obtained from the flotation. In the last stage, to enriching talk waste acid leaching tests are implemented. With these tests, diffrent time periods and different amount of acid are the parameters, the best talc concentrate isobtained. With the best result of talc concentrate from all obtained results is paint experiments conducted and the results are interpreted.

The first stage of the experiments is five different pH experiments. As a result, the best results in terms of MgO experiments examined the effect of pH value was 5. After that, experiments were conducted at four different deprassant concentrations. As deprassant sodium silicate ($Na_2SiO_3$) was used. The next stage was testing the amount ant tpe of frothers. The best resulst occurs using MIBC.

The next experiment step is testing the effect of particle size. The best result for this step is 63 microns.

For the removal of iron from talc waste, the high-intensity wet magnetic separation method is used. When the magnetic separation experiment results are compared to the the flotation test results, as well as the iron content does not give better results in terms of yield of talc.

In order to reduce the content of iron in talc waste, with acid leaching experiments, the results are not changed positively. The best result of these all experiments occured, when talc was enriched first with flotation, then with acid leaching.

In this study, evaluation of the Sivas-Gürlevik talc waste will be tested to get ready for the industry and the results show that, using this talc in paint or ceramic industry would be affect negatively because of the degree of whiteness. This talc waste can be used in dfferent industries, where the whiteness index can be low.

# 1. GİRİŞ

Talk milyonlarca yılda oluşmuş bir kayaçtır. Su itici, hareketsiz, plakalı olmakla birlikte dünya üzerindeki en yumuşak mineraldir.

Dünya üzerinde çok çeşitli boyutlarda talk üretimi yapan ocaklar bulunmaktadır. Her talk madeni kendine has özellikler ve jeolojik bilgileri içerir. Talkın kullanım alanları, rengine, saflığına ve diğer yapısal özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Bu sebeple beyaz, gri, pembe, mavi, menekşe, yeşil ve hatta siyah renkte olabilirler.

Talk; kullanım amacına göre, yumuşaklığı, yağ absorbsiyonu, nem oranı, erime noktası, özgül ağırlığı, ısı ve elektrik iletkenliği ve kimyasal yapısı önemlidir.

Talk birçok sektörde özellikle her gün kullandığımız ürünlerde kullanılmaktadır; hayvan yemi, otomobiller, kablolar, şekerlemeler, seramik karolar, cikletler, kozmetik ürünleri, gübreler, fırın teknolojileri, zeytinyağı üretimi, boya, kağıt, ilaç, plaster, plastik, matbaa mürekkebi, cam macunu, refrakter, çatı kaplama malzemesi, saniter, lastik tekerlek ve vücut pudrası gibi. Endüstride talk kullanımının en büyük avantajı opaklık ve poroziteyi iyileştirmesi ile birlikte pürüzsüzlük sağlaması, kağıt üretiminde ise kağıdın sarılığını ortadan kaldırmasıdır. Talk aynı zamanda kullanılan bütün dolgu ve kaplama minerallerinin de en az aşındırıcı özelliğe sahip olanıdır. Talk kullanımlarındaki gelişmelere bakılarak, özellikle polipropilen (PP) oto parçaları başta olmak üzere, plastiklerde kullanılan dolgu maddelerinin, büyümenin ana motoru olması beklenmektedir (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992).

Talk konusunda bilinen en iyi rezervler Avustralya, Avusturya, Brezilya, Çin, Finlandiya, Hindistan, İtalya, Japonya, Kuzey Kore, Rusya Federasyonu ve ABD'de bulunmaktadır.

Türkiye'de talk yatakları Aydın, Balıkesir, Bolu, Eskişehir, Sakarya ve Sivas illerinde bulunmaktadır. Sivas ili, Hafik ilçesi, Ağcamescit köyü civarında, Sivas'a 50 km mesafede bulunan ocaklar Gürlevik Dağı eteklerinde yaklaşık 1800-1900 m kotlarında bulunmaktadır ve bu ocaklardan uzun zamandır üretim yapılmaktadır.

Yıllar boyunca yapılan düzensiz üretim, irili ufaklı birçok ocak ve birikmiş büyük pasalar sebebiyle sorunlar yaşanmaktadırlar. Her türlü atık çeşidinin çevreye ne

kadar zarar verdiği ve bu zararların giderek büyüyen sorunlar olarak insan yaşamını ve doğayı olumsuz şekilde etkilediği görülmektedir.

Günümüzde insan yaşamının gereksinimleri ile doğal kaynakların sürdürülebilirliği arasında denge kurularak; ekonomik, çevresel ve toplumsal boyutlarıyla bugünden geleceğe uyumlu bir planlama yapılmasını amaçlayan bütünsel bir yaklaşım olan "Sürdürülebilir Kalkınma" kapsamında bu sorunların ortadan kaldırılması hedeflenmelidir. Bu kapsamda bölgede oldukça sorun yaratan talk atıklarının değerlendirilmesi gündeme gelmiştir.

Talk atıklarının değerlendirilmesi için birçok yöntem vardır. Aktarma tamburu, boyutlandırma, triyaj ve flotasyon gibi bilinen zenginleştirme yöntemleri sıkça kullanılmaktadır.

Bu çalışma ile, Sivas talk atıklarının değerlendirilmesi ve endüstriye hazır hale getirilmesi denenmiş olacaktır. Bu deneysel çalışmada, atık talkın çeşitli köpürtücüler, bastırıcılar ve toplayıcı ile flotasyon deneyleri yapılarak flotasyondaki davranışları belirlenmeye çalışılmıştır. Laboratuvar çapta yapılan flotasyon deneylerinde köpürtücü olarak MIBC, Dowfroth 250, Butil Glikol; bastırıcı olarak sodyum silikat ($Na_2SiO_3$), lignosülfonat ve CMC (karboksi metil selüloz) kullanılmış; ayrıca pH değişimlerinin ve tane boyutu farklarının etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda demir içeriğini düşürmek amacıyla yüksek alan şiddetli manyetik ayırma ve çeşitli asit liçi deneyleri de yapılmıştır.

# 2. GENEL BİLGİLER

## 2.1. Talk Mineralinin Tarihçesi

Talk milyonlarca yılda oluşmuş bir kayaç çeşididir. Talk hidrate bir magnezyum silikat olup, teorik formülü $MgO_3Si_4O_{10}(OH)_2$'dir. Su itici, hareketsiz, plakalı olmakla birlikte dünya üzerinde bulunan en yumuşak mineraldir. 15.000 yıl önce yapılan mağara resimlerinin boyalarında talkın da kullanıldığı bilinmektedir. Çinliler ise Tang Hanedanlığı (M.S.618-907) zamanında çanakları sırlamak için talk mineralini kullanmışlardır.

Talkın kozmetikte kullanımı da çok eski tarihe dayanmaktadır. Eski Mısır'da ve Hindistan'da yaşayan insanların ciltlerini yumuşatmak amacıyla talk minerali kullandıkları bilinmektedir. Çinliler pirinç unu, kaolin ve talktan hazırladıkları pudraları yüzlerine sürmek için kullandıkları gibi; talk mineralini yontu işleri için de kullanmışlardır.

Dünya üzerinde çok çeşitli boyutlarda talk üretimi yapan ocaklar bulunmaktadır. Her talk madeni kendine has özellikler ve jeolojik bilgileri içerir. Bu sebeple beyaz, gri, pembe, mavi, menekşe, yeşil ve hatta siyah renkte olabilirler. Şekil 2.1'de farklı talk mineralleri gösterilmektedir.



**Şekil 2.1 :** Çeşitli renklerde talk cevheri.

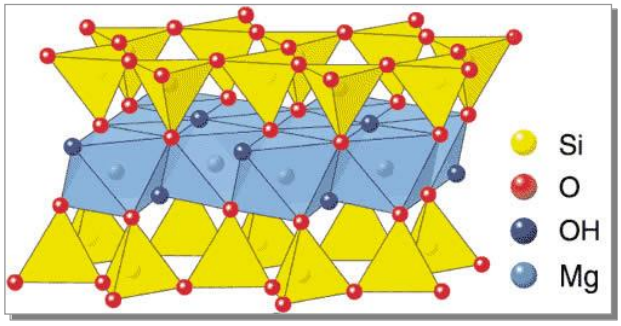
## 2.2. Talk Mineralinin Özellikleri

### 2.2.1. Talk mineralinin fiziksel özellikleri

Talk sulu bir magnezyum silikat olup, teorik formülü $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$'dir. Monoklinik sistemde kristalleşen, beyaz, yeşilimsi şeffaf renklerde, kaygan, yağlı, masif görünümlü ve yumuşak ve tabakalı bir yapıya sahiptir. Kuvars, piroksen, olivin ve ampibol gibi diğer kristallerin sahte şeklini alır. Mohs sertliği 1-1,5 arasında değişirken, talkın yoğunluğu 2,58 – 2,83g/cm³ arasında değişmektedir (www.mineralienatlas.de). Talkın ısı ve elektrik iletkenliği zayıf olmasına karşın ateşe karşı dayanıklıdır. Yüksek sıcaklıklara ısıtıldığında sertleşir, katılaşır. Asitlerden etkilenmez. Talk ultrabazik kayaçların hidrotermal etmenlerle ayrışmasıyla ya da silisli dolomitlerin düşük sıcaklıktaki metamorfizmasıyla oluşur. Bu oluşumlar iki ana grupta toplanmaktadır. Birincisi masif talktır. Bu talk çekiçle vurulduğunda kıymık şeklinde parçalanma gösterir. Bu gruptaki saf talk, steatit olarak adlandırılır. İkinci grup talk ise şistlerdir. İnce tabakalıdırlar ve belirli bir oranda talk içeririler (Önal ve diğ., 1999).

### 2.2.2. Talk mineralinin kimyasal ve mineralojik özellikleri

Talk hidrate bir magnezyum silikat olup, teorik formülü $MgO_3Si_4O_{10}(OH)_2$'dir. İdeal içeriği %63.5 $SiO_2$, %31.7 MgO ve %4.8 $H_2O$ olarak verilmektedir (Bozkurt, 1969). Talk doğada genellikle teorik formüldeki bileşenlerini içermeyebilir. Az miktarda olsa da Mg ve Si atomları, demir (Fe), alüminyum (Al), nikel (Ni) ve diğer benzer katyonlar ile yer değiştirebilirler. Talk ince kesitte renksizdir. Kayaçlarda özşekilli kristallerine hiçbir zaman rastlanmaz. (001) yüzeyine göre çok iyi dilinime sahiptir. Dilinim levhaları kolay eğilebilir ancak elastik değildir. Metamorfizma koşullarının yükselmesi ile talk, manyezit, kummingtonit veya olivine dönüşebilir. Atmosferik koşullar altında oldukça duraylıdır. Ancak bozunmanın ileri evrelerinde manyezit ve kalsedona dönüşebilir (MacKenzie ve Guilford, 1980). Şekil 2.2'de talk mineralinin kristal şekli verilmektedir.




**Şekil 2.2 :** Talk cevherinin kristal yapısı.

## 2.3. Talk Mineralinin Sınıflandırılması

Talkın ticari olanları genellikle teorik saflıktan oldukça farklılık gösterir. Bu tür ürünler, saf talk minerali olduğu gibi talk ve talkın parajenezinde bulunan dolomit, kalsit, kuvars, diyopsit, serpantin, magnetit, pirit, tremolit – aktinolit ve mika gibi minerallerin değişik oranlarda karışımı halinde olabilirler. Ticari talkın çeşitleri şu şekilde sıralanabilir (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992):

### 2.3.1. Sabuntaşı

En az % 50 talk minerali içerir, mineral talk içeren masif formun adlandırılmasıdır. Elektriğe ve asitlere karşı dirençli, ısıya karşı dayanıklıdır.

### 2.3.2. Steatit

Yüksek saflıktaki talklara steatit denir. Steatit %1,5'den az CaO ve $Fe_2O_3$ ve %4'den az $Al_2O_3$ ihtiva ediyorsa elektrik izolatörleri yapımında kullanılır.

### 2.3.3. Profillit

Fiziksel özellikleriyle talka çok benzeyen; fakat kimyasal formülünde 'Mg' yerine 'Al' içeren bir sulu aluminyum silikattır.

### 2.3.4. Asbestin

Saf talk minerali kristal özelliklerinde nadiren lifsi görünümdedir. Asbestin ise daha ziyade levha, ince tabaka veya mikaya benzer şekillerdedir.

### 2.3.5. Fransız Tebeşiri

Yumuşaktır. Talkın masif bir çeşidi olup, boya ve kurşunkalem yapımında kullanılır.

### 2.3.6. Rensseleaerit

Bileşimi talka çok benzer ise de yağlı ve yumuşak özelliği olmayan bir mineraldir.

### 2.3.7. Lava

Lava terimi ticarette sık sık blok talkları veya blok talklarından yapılan en son ürünleri ifade etmekte kullanılır.

## 2.4. Talk Yatakları ve Oluşum Şekilleri

Ekonomik öneme sahip olan talk yatakları dolomit kayaçların bölgesel veya kontak metamorfizmaya uğramasıyla ya da magmatik kayaçların serpantinleşmesi ile oluşabilir. Talk oluşumu için en uygun alanlar magmatik kayaçlar ile sedimanter kayaç kontakları, fay ve makaslama zonlarıdır (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001). Metamorfik şistler içinde yer alan talk-şistler de önemli olabilir.

Talk yatakları başlıca 4 ana gruba ayrılır:

### 2.4.1. Steatit-kompakt talk yatakları

Masif, kriptokristalin, oyulabilir, kesilebilir veya istenilen şekil verilebilir. Steatit, 1800°F' ta 6 saat ısıtılırsa kenetlenmiş klinoenstatit kristaline dönüşür ve LAVA olarak isimlendirilir. Bu ürün elektrik izolatör özelliğine sahiptir.

### 2.4.2. Yumuşak levhamsı talk yatakları

Yumuşak levhamsı talk, sedimanter magnezyum karbonat kayaçlarının bir metamorfizma ürünüdür. Bu en önemli talk tipidir. Diğer talk materyallerinden daha fazla kullanım özelliklerine sahiptir.

### 2.4.3. Tremolit talk yatakları

Bazen sert talk olarak isimlendirilir. Değişen yüzde oranlarında tremolit, antofillit, kalsit, dolomit, serpantin ve hakiki yumuşak talktan oluşan masif veya laminalı kayaç halindedir. % 6-10 arasında değişen CaO içeriği ile karakteristiktir**.**

### 2.4.4. Karışık talk cevher yatakları

Levhamsı talk, dolomit, kalsit, serpantin ve diğer birçok eser mineralden oluşan ve yumuşak talk olarak isimlendirilen gevrek, beyaz şisti kayacı içine alır. Talk-klorit

karışımından oluşan düşük kalitede yataklar yaygındır (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001).

## 2.5. Talk Rezervi

### 2.5.1. Dünya'da talk rezervleri

Talk konusunda bilinen en iyi rezervler Avustralya, Avusturya, Brezilya, Çin, Finlandiya, Hindistan, İtalya, Japonya, Kuzey Kore, Rusya Federasyonu ve ABD'de bulunmaktadır. Amerika'daki üç talk sahası ile Çin'deki bir saha dünyanın en büyük talk rezervlerine sahip olan ve aynı zamanda en fazla üretim yapılan yataklarıdır. Talk minerali yatakları ise İtalya, Hindistan, Çin, Avustralya ve ABD'de bulunmaktadır. Yaklaşık olarak dünya toplam talk üretimi 7.5 milyon ton civarındadır. Dünyanın önemli talk üretici ülkeleri ABD (%12), Çin (%31), Finlandiya (%5), Brezilya (%8), Hindistan (%8), Fransa ise (%4) olmak üzere dünya talk üretimi toplamının %73' ü bu ülkeler tarafından karşılanmaktadır (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001). Dünyadaki talk rezervlerinin dağılımı Çizelge 2.1'de verilmektedir.

**Çizelge 2.1 :** Dünya'daki talk rezervlerinin dağılımı (DPT, 2001).

| **Ülke Rezerv** | **Rezerv ( Ton x $10^6$)** |
|---|---|
| Brezilya | 14 |
| Çin | 200 |
| Fransa | 29 |
| Finlandiya | 15 |
| Hindistan | 58 |
| İtalya | 8 |
| Japonya | 132 |
| Güney Kore | 14 |
| A.B.D. | 136 |
| Toplam | 606 |
| Avrupa Toplam | 80 |
| Diğer Avrupa Ülkeleri | 1 |
| Dünya Toplamı | 700 |

### 2.5.2. Türkiye'de talk rezervleri

Türkiye' deki talk yatakları, metamorfizma sonucu yada hidrotermal ayrışma ile bazik ve ultrabazik kayaçlarda oluşmuştur. Ülkemizde her kalitede talkın varlığı bilinmekte ancak saf olmayan talklar çeşitli yöntemlerle temizlenerek yüksek saflık elde edilmeye çalışılmaktadır (Erkan, 1994).

Ülkemizde sadece Bursa (Orhaneli) talk yatağında kapalı işletme yöntemleri ile damar boyunca açılan galeride üretim yapılmakta, çıkarılan hammadde kaba bir ayırmaya tabii tutularak stoklanmakta ve pazarlanmaktadır. Geleneksel patlatma metodları da kullanılarak yapılan kazı işlemleri ile çıkarılan hammadde, kalifiye işçiler tarafından kaba bir ayırma işlemine tabi tutularak stoklanıp parça cevher olarak satılır. Ya da ileri talk ürünler (mikronize veya ultra mikronize) eldesi yoluna gidilir.

Ülkemizde bilinen talk yatakları Aydın, Balıkesir, Bolu, Eskişehir, Sakarya ve Sivas illerinde bulunmaktadır. 106.546 tonu görünür olmakla beraber toplam rezerv 1.158.356 ton'dur. Bunun yaklaşık 480 bin tonu iyi kalite rezerv olarak verilmektedir (Önem, 1997). Ancak bu kaynaklarda rastlanmayan Türkiye'nin en büyük talk rezervi Balıkesir-İvrindi-Korucu-Güvenli Köyü yakınında Madran dağında yer alan metamorfik kökenli talk yatağıdır. Görünür + muhtemel rezervi 7 milyon tona ulaşan bu sahadaki cevher kabaca %50 talk, %40 manyezit, %10 hematit + manyetit karışımıdır. Bu yatağa cevher üzerinde MTA Enstitüsünde yapılan zenginleştirme çalışmalarında manyetik ayırıcı + flotasyon işlemleri sonucunda %66 verimle, %88 talk içeren ve sanayi talkı olarak kullanılabilecek konsantreler ($Fe_2O_3$=%0,7) elde edilmiştir. Kütahya ve Afyon'da da bazı yatakların işletildiği bilinmektedir. Türkiye' de bilinen talk yatakları ve rezerv durumları Çizelge 2.2.'de verilmiştir (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001).

**Çizelge 2.2 :** Türkiye'deki talk rezervlerinin dağılımı (DPT, 2001).

| **Bölgeler** | **Görünür Rezerv** | **Muhtemel Rezerv** | **Mümkün Rezerv** | **Toplam Rezerv** |
|---|---|---|---|---|
| Aydın/Bozdoğan | 50.000 | 200.000 | 250.000 | 500.000 |
| Eskişehir/Mihalıççık | - | - | 400.000 | 400.000 |
| Sivas/Zara, Örencik | 44.296 | 150.310 | - | 194.606 |
| Balıkesir/Kepsut, Örenli | - | - | 20.250 | 20.250 |
| Balıkesir/Erdek, Kızaklıköyü | 5.000 | 15.000 | - | 20.000 |
| Eskişehir/Biçer | - | 10.000 | - | 10.000 |
| Sakarya/Sapanca, Nailiye | 6.200 | - | - | 6.200 |
| Balıkesir/Erdek, Yanüçiftliği | 800 | 5000 | - | 5.800 |
| Balıkesir/Erdek Rahmimerası | - | 1.000 | - | 1.000 |
| Bolu/Mudurnu,Dereköy, Gözlübaşı | 250 | 250 | - | 500 |
| Toplam | 106.546 | 381.560 | 670.250 | 1.158.356 |

## 2.6. Talk Mineralinin Kullanım Alanları

Talkın kullanım alanları, rengine, saflığına ve diğer yapısal özelliklerine göre farklılıklar gösterir. Talk; seramikte, boya yapımında, çatı kaplamasında, haşarat ilacı üretiminde, kauçuk ve kağıt sanayinde, kozmetik ve farmakolojide, asfalt dolgu maddesi yapımında, hayvan yemi ve gübre üretiminde kullanılır. Kullanım amacına göre, yumuşaklığı, yağ absorbsiyonu, nem oranı, erime noktası, özgül ağırlığı, ısı ve elektrik iletkenliği ve kimyasal analizi önemlidir.

### 2.6.1. Seramik sanayi

Talkın ısı ile genleşme özelliğinin çok az olması nedeniyle banyo ve mutfak seramiklerinde ve elektrik sobalarının plakalarında kullanılmasını sağlamıştır. Seramik sanayiinde kullanılacak talkta fiziksel ve kimyasal yapı bakımından homojenlik istenir. Ayrıca, tane boyutu ve dağılımı ile pişirme indeksi de önemlidir. Bileşiminde manganez ve demir istenmeyen impuritelerdir. CaO %0.5, demir oksit %1.5 ve $Al_2O_3$ %4' ten fazla olmamalıdır. Elektroseramik ve sırlamada kullanılan

talk saf magnezyum silikattır. Ayrıca kloritsiz kompakt talk (steatit) kullanılabilir. Minimum %30 MgO ve %60 $SiO_2$, CaO maksimum %1, $Al_2O_3$ %4, $Fe_2O_3$ %1.5, Alkali (özellikle tremolit içeren talk çok uygun) %0.4; tane boyutu %95'i -325 mesh (0,045 mm) özelliklerinde olan talk tercih edilir (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992).

### 2.6.2. Çatı kaplaması

Bu iş için genellikle kalitesiz talklar kullanılır. Bu yüzden hammaddede beyazlık ve saflık aranmamaktadır. Aranan özellikler tane boyutu ve dağılımı ile yağ emme özelliğidir. Talk, çatı yapımında erimiş asfaltı stabil duruma getirdiği için yangın ve hava koşullarına karşı yüksek bir koruma sağlar. Talk ayrıca, yapım ve yerleştirme sırasında çakılların birbirlerine yapışmasını önler. Düşük dereceli, tane boyutu –80 mesh (0,185 mm) olan talk tercih edilir (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992).

### 2.6.3. Boya sanayi

Lif ve yaprak özelliğine sahip talklar, yağ absorblama özelliğinden dolayı boya ve benzeri yağ yapımında kullanılmaktadır. Boya sanayinde kullanılan talk öğütüldüğünde son derece beyaz ve tenörü yüksek olmalıdır (%98,5). Ayrıca 325 mesh'lik (0,045 mm) elekten geçebilmelidir. Talk lifi boya tabakacıklarının birbirine ve yüzeye kenetlenmesini sağlar. Ağır boya materyallerinin çökmesini önleyip, boyanın daha homojen olmasını sağlar. Ayrıca viskoziteyi kontrol eder, film boyalarının akmasını önler, askıda kalma karakteristiğini iyileştirir ve geniş yüzey alanı sayesinde parlaklık sağlar. Mg ve Ca silikat min. %88 CaO, suda çözünebilen madde %1, nem %1, kızdırma kaybı %7, tane boyutu -325 mesh (0.045 mm); iyi yağ emilimi, maksimum parlaklık ve kıvam gereklidir (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001).

### 2.6.4. Kağıt sanayi

Talk, yumuşaklığı, tane boyu, mürekkep emme özelliği ve suda erime özelliği nedeni ile kağıt sanayinde rahatça kullanılabilmektedir. Ancak kullanılacak talkın $CaCO_3$ oranı %2-5'ten fazla olmamalı ve başka mineral içermemelidir (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001). Ayrıca talk kağıdın mürekkep tutuculuğunu, saydam olmama özelliğini ve parlaklığını, kağıda minimum düzeyde zarar verecek şekilde arttırır. Parlaklık, kontrollü en büyük tane boyutu (50 μm maks.), ortalama tane boyutu 8-12 μm aranmaktadır.

### 2.6.5. Kozmetik sektörü

Talkın istenilen tane boyutunun elde edilmesi mümkün olduğundan kimyasal saflığı ve kayganlığından dolayı kozmetik ürünleri ve ilaç üretiminde kullanılmaktadır. Bu sanayide kullanılan talkta aranan özellikler, içerdiği lifsi ve sert minerallerin azlığı, arsenik ve demir miktarlarının düşük olmasıdır. Yağlama ve süzülme özelliği ve güzel koku tutma özelliği (talk pudrası, terleme önleyiciler, sabunlar, kremler ve losyonlar) sayesinde kozmetik sektöründe kullanılmaktadır. Suda eriyebilen maddeler maks. %0.1, asitte eriyebilen maddeler %6, kızdırma kaybı 1000 $^{0}$C'de %6, kuvars %0.1-1.0, tremolit %0.1, As 3 ppm, Pb 20 ppm, ağır metaller 40 ppm, nötr pH, lifsiz maddeler, kumtaşı, bakteriler; koku, kayganlık veya yağlılık, güzel koku muhafazası, ve tüketici özelliklerine göre beyazlık; tane boyutu -200 mesh (0,074 mm) ve ortalama tane boyutu 7 μm olan talk kullanılır (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992).

### 2.6.6. Kauçuk sanayi

Talk, birçok sentetik lastik, plastik ve kauçuk üretiminde doldurucu olarak kullanılmasıyla maddeye sıkı bir doku kazandırır.

### 2.6.7. İlaç sanayi

Talk haşere öldürücü ilaç yapımında da kullanılmaktadır. İlaca toksit etki, istenen yoğunluk ve az aşındırıcılık özelliklerini kazandırır (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001).

### 2.6.8. Gıda sanayi

Gıda sektöründe genelde ciklet üretiminde ve ciklet mayasında talk kullanımı söz konusudur. Katkı malzemesi olarak talkı kullanabilmek için Tarım ve Köyişleri Bakanlığı'ndan Gıda Kodeksine Uygunluk Sertifikası almak gerekmektedir. Gıda sektöründe Türkiye'de talk tüketimi 800 ton/yıl dolaylarındadır.

### 2.6.9. Kablo sanayi

Kablo sektöründe kullanılan talk, kablo içi damarların kılıflara yapışmasını önlemek amacıyla, PVC kablo üreten firmalarca maliyet düşürücü bir dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca talkın yanmayı önleyici bir madde olmasının da kullanım sebeplerinden olduğu bilinmektedir. PVC türü kablo üreticilerinin üretim tesisleri ve kapasitelerine göre talk kullanımının ayda 250 kg'dan 10 tona kadar ulaşan bir

çeşitlilik gösterdiği görülmektedir. Kablo sektöründe Türkiye'de 230 ton/yıl dolaylarında bir talk tüketimi söz konusudur. Sektöre göre talkın kullanım fonksiyonları Çizelge 2.3'te verilmektedir.

**Çizelge 2.3 :** Sektörlere göre talkın kullanım fonksiyonları.

| **Talk özelliği** | **Talkın foksiyonu** | **Kullanılan sektör** |
|---|---|---|
| Plakalı | Yumuşaklık, Aşındırmama | Kozmetik, Kağıt, Çatı Kaplama Malzemesi |
| Plakalı | Basılabilirlik | Kaplanmış Kağıt |
| Plakalı | Yapışmazlık | Lastik Tekerlekler, Fırın, Yiyecek, Hayvan Yemi, Polietilen Antiblokaj, Gübre, Kağıt (yapışkan kontrolü), Çatı Kaplama Malzemesi |
| Plakalı | Bariyer Etki | Boya, Yapıştırıcı Çimento, Plastik Film, Hayvan Yemi, Gübre, Plastik Hortum |
| Plakalı ve Hidrofobluk | Bariyer Etki | Kaplanmış Kağıt, Çatı Kaplama Malzemesi |
| Organofilik | Kimyasal Talep | Kaplanmış Kağıt |
| Organofilik | Tutunma | Kozmetik, Kağıt (yapışkan Kontrolü), Zeytinyağı |
| Organofilik ve Hidrofobik | Yumuşaklık, His | Kaplanmış Kağıt |
| Hidrofobik | Basılabilirlik, Gözeneklilik | Kaplanmış Kağıt |
| Hidrofobik | Anticaking | Hayvan Yemi, Yemek, Gübre |
| Magnezyum içeriği | Fluks | Seramik Karo, Saniter, Sır, Süs Eşyası |
| Klorit İçeriği | Düşük Termal Genleşme | Refrakter |
| Magnezyum & Silikon içeriği | Elektroizolasyon | Steatit ve Corderit |
| Moleküler Yapısı | Çekirdekleştirmek | Yarı Kristal Polimerler |
| Non-polar | Elektroizolasyon | Kablo |
| Hareketsizlik | Bariyer Etki | Kauçuk |
| Hareketsizlik | Taşıyıcı | Premiksler, Pestisit, İlaç, Kozmetik |

## 2.7. Saf Talk Mineralinin Sanayi Kullanımı İçin Ürün Standartları

Talkın kullanım alanlarına göre çeşitli standartları vardır. Lif ve yaprak özelliğine sahip talklar yağ absorblama yeteneğinden dolayı boya ve bezir yağı yapımında kullanılmaktadır. Bu sanayide kullanılan talk öğütüldüğünde son derece beyaz ve tenörü yüksek olmalı (%98.5), 325 mesh'lik elekten geçebilmelidir. Anti aşındırıcı boyalar için mikronize ve düşük karbonat içeren talklar tercih edilir.

Boya sanayinde kullanılacak talk mineraline ait ürün standartları Çizelge 2.4'te, genel olarak diğer sanayi kollarında kullanılacak olan talk mineralinde istenen ürün standartları ise Türk Standartları Enstitüsü'ne göre Çizelge 2.5'te verilmiştir.

**Çizelge 2.4 :** Boya Sanayinde Kullanılan Talk Standartları, (TS.5409).

| Özellik | İçeriği |
|---|---|
| $SiO_2$ (en az) | % 55 – 51 |
| MgO (en az) | % 27 – 24 |
| CaO (en çok) | %3 – 2 |
| Nem ve diğer uçucular (max) | % 0,5 |
| Kızdırma kaybı (max) | % 8 |
| $Al_2O_3$+$Fe_2O_3$ (max) | % 6 – 1,5 |
| Suda çözünen madde (max) | % 0,3 |
| Suda süspansiyon pH | % 10 – 7 |
| Yoğunluk ($g/cm^3$) | 2,9 – 2,7 |
| Yağ absorblama değeri (g/100g) | 60 – 40 |

**Çizelge 2.5 :** Talk TSE standartları.

| | **TSE 10521 Talkın Kağıt Sanayiinde Kullanımı** | | **TSE 10043 Talkın Seramik Sanayiinde Kullanımı** | | **TSE 2973 Talkın Kozmetik Sanayiinde Kullanımı** | **TSE 5446 Talkın Öğütülmüş Sanayiinde Kullanımı** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Genel Görünüş | Talk Beyaz olmalı | | | | Beyaz ve yabancı madde içermemelidir. | Beyaz, Gri, Kirli sarı ve Yeşil |
| Beyazlık-Renk | 457 nm dalga boyundaki ışığın yansıtma miktarı baz alınır.<br>1. Sınıf : % 90<br>2. Sınıf : % 80 | | Magnezyum oksitin 504 nm ışığı yansıtması baz alınarak<br>1. Sınıf : % 80<br>2. Sınıf : % 70 | | | |
| Tane Dağılımı | 1. Sınıf 2µ'den küçük En az % 65, 2-45 µ arası en çok % 35,<br><br>2. Sınıf 45 µ'dan küçük en az % 98, 45 µ'dan büyük en çok % 2 | | % 98'i 45 µ'dan küçük olmalı | | 150 µ'dan büyük % 0,1<br>90 µ'dan büyük % 2,0 | 63 µ % 0,1<br>45 µ % 1,0<br>< 20 µ % 95<br>< 10 µ % 70<br>< 5 µ % 40<br>< 2 µ % 15 |
| Rutubet | % 1'den fazla olmamalıdır. | | % 2'den fazla olmamalıdır. | | | % 1 |
| Aşınma Değeri | En fazla 6 olmalıdır. | | | | | |
| | 1. Sınıf | 2.Sınıf | 1. Sınıf | 2.Sınıf | | |
| $SiO_2$ (en az) | % 60 | % 55 | % 60 | % 55 | | % 52 |
| MgO (en az) | % 31 | % 28 | % 30 | % 27 | % 30 | % 25 |
| $Fe_2O_3$ (En çok) | % 0,5 | % 1,5 | % 0,5 | % 1,5 | % 0,75 | $Fe_2O_3$+$Al_2O_3$ : % 4 |
| $Al_2O_3$ (En çok) | % 2 | % 3 | % 2 | % 4 | | |
| CaO (En çok) | % 0,5 | % 1 | % 1,0 | % 1,5 | | % 4 |
| Alkali Oksitler | % 0,06 | % 0,06 | % 0,5 | % 0,5 | | |
| MnO (en çok) | % 0,2 | % 0,2 | | | | |
| Kızdırma Kaybı | % 7,0 | % 7,0 | % 6 | % 8 | % 7 En çok | % 7 |
| Kireç (en çok) | | | % 1 | Aranmaz | % 1,5 | |
| Özgül Ağırlık | | | | | 2,6-2,8 | 2,70-2,80 |
| Pb | | | | | 20 ppm | |
| $As_2O_3$ | | | | | % 2 | |
| pH | | | | | 9,5 | 6,50-9,50 |

## 2.8. Talk Mineralinin Üretim ve Tüketim Miktarları

### 2.8.1. Dünya'da talk mineralinin üretim ve tüketim miktarları

Dünya'da en fazla talk tüketimi Avrupa, Amerika ve Japonya' da yapılmaktadır. 1995 yılında Avrupa'daki toplam talk tüketimi 1.088.280 ton olarak gerçekleşmiştir. Yapılan yaklaşımlara göre dünya toplam talk üretimi 7.5 milyon ton civarında olduğu söylenmektedir. Dünyadaki önemli talk üretici ülkeleri ABD (%12), Çin (%31), Finlandiya (%5), Brezilya (%8), Hindistan (%8), Fransa ise (%4) olmak üzere dünya talk üretimi toplamının %73'ü bu ülkeler tarafından karşılanmaktadır. Avrupa ülkeleri dünya talk üretimi toplamının %25'ini karşılamaktadırlar.

Avrupa talk tüketiminin %50'si kağıt sanayinde olup, yaklaşık 650.000 tondur. Seramik sanayinde talk tüketimi 25.000 tondur. Bu ise toplam tüketimin %6'sını oluşturmaktadır. Ayrıca bu miktarın 15.000 ton/yıl kadarı ise elektroporselen ve sır yapımı için tüketilmektedir.

Hayvan yemi üretimi için Avrupa' nın talk tüketimi 56.000 ton/yıl kadardır. Bu miktar toplam talk tüketiminin %5'ini oluşturmaktadır. Bu tüketimin %40'ı Benelüx'e, %30'u Batı Almanya' ya, %12'si Fransa' ya, %8'i İspanya'ya aittir.

Lastik ve plastik ürünleri için Avrupa' nın talk tüketimi 65-70 ton/yıl olup toplam tüketimin %7'sine eşittir. Önemli tüketiciler ise %25 ile İtalya, %18 ile Almanya, %16 ile Fransa, %13 ile İngiltere, %5 ile Benelüx' tür.

Kozmetik sanayinde Avrupa' nın talk tüketimi 25-30.000 ton/yıl' dır. Bu tüketimin %55'i İngiltere'ye aittir. İlaç sanayi için Avrupa'nın talk tüketimi 3-5.000 ton/yıl kadardır. Toplam tüketimin %3' ünü kozmetik ve ilaç sanayi oluşturmaktadır.

Gübre üretiminde Avrupa'nın talk tüketimi 35-40.000 ton/yıl kadardır. Toplam tüketimin %3'ünü oluşturur. Bu alanda önemli tüketiciler: %38 ile İsveç, %28 ile İngiltere, %25 ile Hollanda' dır.

ABD' nin 1989 yılı talk tüketimi 1 milyon ton civarındadır. ABD' de talk en çok seramik sanayinde tüketilmektedir. İkinci sırayı boya sanayi almaktadır. 1989 yılı talk tüketiminin %34'ü seramik, %14'ü boya, %13'ü kağıt, %11'i çatı kaplama, %10'u lastik ve plastik, %5'i kozmetik sanayindedir (Önal ve diğ., 1999). Çizelge 2.6'da Dünya talk üretim miktarları verilmektedir.

**Çizelge 2.6 :** Dünya talk üretim miktarları.

| Ülke | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 |
|---|---|---|---|---|---|
| Arjantin | 1.665 | 1.643 | 1.700 | 7.620 | 7.600 |
| Avustralya | 173.446 | 173.741 | 174.000 | 173.000 | 170.000 |
| Avusturya | 137.776 | 138.195 | 137.596 | 138.000 | 138.000 |
| Butan | 3.800 | 3.900 | 3.900 | 3.900 | 4.000 |
| Brezilya | | | | | |
| Ham | 397.000 | 348.000 | 369.000 | 400.975 | 401.000 |
| Nihai Ürün | 6.300 | 5.617 | 5.593 | 5.600 | 6.000 |
| Şili | 4.177 | 3.537 | 4.374 | 2.993 | 3.000 |
| Çin | 3.500.000 | 2.500.000 | 3.000.000 | 3.000.000 | 3.000.000 |
| Mısır | 40.000 | 40.000 | 40.000 | 40.000 | 40.000 |
| Fransa | 350.000 | 350.000 | 350.000 | 350.000 | 350.000 |
| Almanya | 7.000 | 7.000 | 7.000 | 7.000 | 6.000 |
| Guetamala | -- | 568 | 1.585 | 2.863 | 2.900 |
| Macaristan | 500 | 500 | 500 | 500 | 500 |
| Hindistan | 546.000 | 550.000 | 552.000 | 550.000 | 545.000 |
| İran | 60.282 | 68.007 | 65.833 | 187.465 | 190.000 |
| İtalya | 140.000 | 140.000 | 140.000 | 140.000 | 140.000 |
| Japonya | 18.478 | 22.142 | 24.328 | 18.253 | 21.000 |
| Güney Kore | 47.712 | 37.863 | 47.911 | 79.313 | 79.500 |
| Makedonya | 557 | 550 | 550 | 600 | 600 |
| Meksika | 77.650 | 111.621 | 114.870 | 101.896 | 100.000 |
| Fas | 27.246 | 39.612 | 1.959 | 2.000 | 2.000 |
| Nepal | 3.923 | 2.621 | 6.905 | 3.435 | 3.600 |
| Norveç | 27.000 | 28.000 | 28.000 | 28.000 | 29.000 |
| Peru | 11.165 | 10.685 | 10.791 | 9.548 | 10.000 |
| Portekiz | 8.200 | 8.200 | 8.200 | 8.000 | 8.000 |
| Romanya | 7.270 | 7.292 | 10.082 | 10.000 | 10.000 |
| Rusya | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 | 100.000 |
| Slovakya | 2.600 | 2.290 | 1.000 | 1.500 | 1.500 |
| Güney Afrika | 3.030 | 2.511 | 6.719 | 8.115 | 8.469 |
| Tayland | 6.838 | 1.702 | 8.501 | 12.592 | 9.500 |
| Türkiye | 883 | 98 | 60 | 60 | 100 |
| Birleşik Krallık | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 | 5.000 |
| Amerika Birleşik Devletleri | 863.000 | 828.000 | 840.000 | 833.000 | 856.000 |
| Toplam | 6.578.498 | 5.538.895 | 6.067.957 | 6.231.228 | 6.248.269 |

Dünyanın en büyük talk üreticisi Çin ve ABD'dir. Japonya ise dünyanın en büyük pirofilit üreticisidir. Dünya talk ve pirofilit üretiminin %48'i Japonya ve Çin'den sağlanmaktadır. Dünyanın en önemli talk ihraç eden ülkesi Çin'dir. İhracatını Çek Cumhuriyeti, Almanya ve Macaristan'a yapmaktadır. Önemli talk ihraç eden diğer ülkeler ABD, Avusturya, Fransa ve Avustralya'dır. ABD ürettiği talkın %25'ini, Avustralya %63'ünü, Avusturya %93'ünü, Fransa %42'sini ihraç etmektedir. Talk ithal

eden ülkelerin başında Japonya gelmektedir. Almanya, İngiltere, Meksika, Kanada, İsveç talk ithal eden diğer ülkelerdir. ABD, Fransa, İtalya, Benelüx hem ihracatçı hem de ithalatçı ülke konumundadırlar. Kendi ülkelerinde bulunmayan kalitedeki talkları ithal etmektedirler.

### 2.8.2. Türkiye'de talk mineralinin üretim ve tüketim miktarları

Ülkemizde yapılan araştırmalara göre talk üretimi talep doğrultusunda yapıldığından tüketim üretimle eşdeğerdir. Türkiye'de en çok talk tüketimi %25 oranla lastik sanayindedir. Ülkemizin yıllık tüketimi ortalama 25-30.000 ton kadardır. Ülkemizde son yıllarda, talkın tüketim alanı artmıştır. Özellikle seramik ve kozmetik sanayinde giderek artan bir talep söz konusudur. Çizelge 2.7'de ülkemizdeki talk kullanım alanları ve miktarları verilmektedir (DPT 8. Kalkınma Planı ÖİK Raporları, 2001).

**Çizelge 2.7 :** Türkiye'de sektörlere göre kullanım miktarları (DPT, 2001).

| **Sanayiler** | **Miktar (Ton/Yıl)** |
|---|---|
| Lastik | 4.000-6.000 |
| Seramik | 3.000-5.000 |
| Tarım İlaçları | 1.800-4.000 |
| Boya | 2.000-3.500 |
| Pudra | 1.000-1.200 |
| Diğerleri (Döküm, Plastik) | 2.000-4.000 |

## 2.9. Talk Mineralinin Üretim ve Zenginleştirme Yöntemleri

### 2.9.1. Talk mineralinin üretimi

Dünya' da ve yurdumuzda talk üretimi hem açık hem de kapalı işletmeler şeklinde yürütülmekte ancak kaliteli talk yataklarında damar boyunca galeri açılarak talk üretimi yapıldığı da bilinmektedir. Geleneksel patlatma metodları da kullanılarak yapılan kazı işlemleri ile çıkarılan hammadde, kalifiye isçiler tarafından kaba bir ayırıma tabi tutularak stoklanıp parça cevher olarak satılır ya da ileri talk ürünler (mikronize veya ultra mikronize) eldesi yoluna gidilir.

### 2.9.2 Talk mineralinin zenginleştirilmesi

Dünyada parça cevherin işlenerek ileri talk ürünleri elde edilmesinde; köpük flotasyonu, sedimantasyon, hidrosiklon, hava ve yaş manyetik ayırma, santrifüj ayırması, sprey kurutma ve yaş öğütme teknikleri uygulanmaktadır. Talk zenginleştirmesinde en yaygın olarak kullanılan iki yöntem flotasyon ve havalı ayırmadır. Sarkaçlı veya çekiçli değirmende öğütülen ve havalı ayırıcı ile kapalı devre çalışan metod, daha düşük yatırım ve operasyon anlamına gelmektedir. Bu durumda %5-10 verim açısından flotasyondan daha düşüktür ve ürün kalitesi de flotasyona göre daha kötüdür. Kuru öğütme ve havalı ayırma en geleneksel yöntemdir ve daha az kaliteli ürün üretilir, en iyi ürünler flotasyonla üretilir. Eğer talk minerali büyük oranda kalsit, dolomit gibi karbonat minerallerini içeriyor ise, kaliteli ürün üretmek için asit liçi gibi kimyasal metodlar uygulanarak iyi sonuçlar alınabilmektedir (Sarquis ve Gonzalez, 1998). Talk konsantresi üretilirken demirin de istenmeyen safsızlık olması sebebiyle, demirin yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılarla ayrılabilmesi mümkün olmaktadır. Yalazı-Balıkesir talk cevheri üzerinde yapılan bir çalışmada (Yıldırım, 2002), önce manyetik ayırma ile demir uzaklaştırılmış, daha sonra flotasyon ile talk yüzdürülüp manyezit atıkta bırakılmıştır. Talkta aranılan özellik çok beyazlık olduğundan hiçbir şekilde rengi bozulmamalıdır. Temizlenmiş ürünün genel endüstri standartlarında istenen özellikleri şunlardır; 44 mikron altında ürünün, kızdırma kaybı %7'den düşük, HCL çözünürlüğü %6'yı aşmamalı ve beyazlık değeri %75'ten fazla olmalıdır (Harben, 1992). Özel isteklere karşı bazı kırıcı ve öğütücüler kullanıldığı bilinmektedir. Örneğin kağıt dolgusu ve kaplama sanayi 5 mikrondan daha ince tane boyutu istendiğinde mikronize öğütme usulü kullanılmalıdır.

Kozmetik sanayinde kullanıma uygun tenörlu talklar, öğütmeden sonra kumaştan elenerek boyutlanmaktadır. Talklar genellikle kuru öğütme metodu ile ayıklanır. Fakat kuru ve yaş metod da beraber uygulanabilir.

Talk mineralinin kırılması sonucu iki tür yapı ortaya çıkar. Birinci tür yapı, yüz denilen hidrofobik (suyu sevmeyen) özellikli ve kolay kırılan bir tabakadır. İkinci tür ise, köşe denilen hidrofilik (suyu seven) özellikli iyonik bağlardan oluşan yapıdır. Şekil 2.2'de talk mineralinin kristal yapısı verilmiştir. Bu yapısı nedeniye talk zenginleştirilmesi için en uygun yöntemlerden biri flotasyondur (Chander ve diğ., 1975).

Şlamın sürekli akışı endüstriyel boyutta uygulanacak flotasyon için en karakteristik özelliklerden biridir. Şlamın flotasyon hücresinde kalma süresi de çok önemli özelliktir. Tüm modern flotasyon hücrelerinde iyi karıştırma gerektiği deneyler neticesinde kabul görmüştür (Buckley ve diğ., 1997). Talkın flotasyon ile zenginleştirilmesi çok yaygın olarak kullanıldığından ayrıca bu çalışmada bir sonraki bölümde daha detaylı anlatılmaktadır.

# 3. TALK MİNERALİNİN FLOTASYON İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

## 3.1. Flotasyon Hakkında Genel Bilgi

Flotasyon, çok ince tane büyüklüğünde ayrılması mümkün olan minerallere uygulanan bir zenginleştirme yöntemidir. Bu yöntemde mineralleri uygun reaktiflerle muamele ettikten sonra bazı mineral yüzeylerinin havaya karşı, bazılarının suya karşı seçimli yakınlaşmalarından faydalanılarak, birbirinden ayırma esas alınır. Mineral yüzeylerinin yapısı kadar, kullanılan kimyasal maddelerle yüzeyler arasında meydana gelen reaksiyonlar da minerallerin havaya veya suya karşı ilgi duymasında önemli roller oynar (Atak, 1990).

### 3.1.1. Flotasyonda yüzey kimyası

Bir katı maddenin diğer katılardan ayrılmasını sağlayan flotasyon yönteminde, diğer yöntemlerden farklı olarak, üç faz mevcuttur. Bunlar, yüzdürülen katı fazı, çeşitli elektrolitleri bulunduran sıvı fazı, hava kabarcığını meydana getiren gaz veya hava fazıdır. Her flotasyon sisteminde bu üç faz temas halindedir.

*Gaz fazı* mineral parçacıklarının köpüğe yapışarak yüzmelerini sağladığından flotasyonda önemlidir. Gaz fazı olarak genellikle hava kullanılır. Bazen oksidasyon etkisini önlemek amacıyla, su buharı, azot gibi kimyasal reaksiyon yapmayan bir gaz veye diğer flotasyon özelliklerinden yararlanarak kükürt dioksit, hidrojen sülfür gibi gazlar kullanılabilir.

*Sıvı fazı*, genellikle seyreltik bir su çözeltisidir. Hem ucuz hem de flotasyona elverişli oluşu dolayısıyla flotasyonda sıvı fazı olarak hemen hemen sadece su kullanılır. Sulu çözeltide hidrojen ve hidroksil iyonları yanında pek çok diğer hidrate iyonlar bulunur. İyonların suya bağlı olarak bulunuşu, suya büyük bir eritici güç verir.

*Katı fazın* flotasyona etkisi, katının bünye yapısından çok, yüzey özelliklerinden ileri gelir. Yüzey özellikleri de az veya çok, bünye yapılarına bağlıdır (Atak, 1990).

### 3.1.2. Elektrokimyasal potansiyel ve ara yüzeylerdeki potansiyel farkı

Bir madde sisteminde elektrik yüklü kısımlar (iyon veya elektron) büyük bir yer işgal ediyorsa, bu sistem, elektrokimyasal sistem olarak kabul edilir. Böyle bir sistemin kimyasal yapısını incelemek için, yüklü kısımların meydana getireceği elektriksel etkiler yönünden dikkate alınması gerekir.

Pek çok flotasyon reaktifi organik veya inorganik elektrolitler olduğundan, bir flotasyon pülpü elektrokimyasal bir sistem meydana getirir. Aynı zamanda, pülp içindeki katıdan eriyerek çözeltiye geçen kısımlar da iyonik yapıdadır. Bir katının flotasyona karşı davranışını ortaya koymak için, bir kollektör ilave edilmeksizin sıvı katı ara yüzeyinin kimyasal özelliklerinin anlaşılması faydalıdır. Su fazının bileşimi, katının çözünürlüğü ve çözeltiye geçen kısımların kimyasal yapısı ile tespit edilebilir.

Su içine konulmuş bir katının yüzeyinden, elektrik yüklü kısımlar (iyonlar) ara yüzey boyunce denge durumuna erişinceye kadar sıvı faza geçerler. İyonların çözeltiye geçmesi, çözeltinin doymuş duruma geçisine kadar devam eder. Katı ve çözelti fazı arasındaki ara yüzey, sadece elektrik yüklü kısımların katı ve çözelti fazına geçmesine müsaade eden yarı geçirgen bir zar gibi düşünülebilir. İyonların katıdan sıvıya veya sıvıdan katıya geçişi, katı yüzeyinin belirli bir işaret ve değerde elektrik yükü kazanmasına sebep olur. Yüzey elektrik yükünü tayin eden ve değiştiren iyonlara *potansiyel tayin eden iyonlar* denir (Atak, 1990).

### 3.1.3. Elektriksel çift tabaka

Katı madde kırılıp suya konulduğu zaman, su içinde başka iyonlar bulunmasa bile, katı maddeden suya geçen iyonlar ve suyu meydana getiren $H^+$ ve $OH^-$ iyonları sebebi ile katı madde yüzeyi pozitif veya negatif işaretli bir elektrik şarjı kazanır ve bunu çevreleyen su, çeşitli iyonları içeren bir çözelti halini alır. Bu durumda, Coulomb kanununa göre, mineral yüzeyi ile zıt işaretli iyonlar mineral yüzeyi tarafından çekilir. Böylece çözelti içindeki iyonların bazılarının konsantrasyonu katı yüzeyi civarında artar, bazılarınınki azalır. Ara yüzeylerde bazı iyonların konsantrasyonunun artmasına *adsorpsiyon* denir. Mineral yüzeyinde adsorbe olan iyonların konsantrasyonu, yüzeyden uzaklaştıkça azalır ve neticede çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir. Zıt işaretli iyonların yüzeye toplanması ile, mineral yüzeyi potansiyeli yüzeyden uzaklaştıkça azalır. Katı-çözelti arasındaki ara yüzeyinde elektrokinetik durum, Helmholtz, Gouy ve Stern tarafından incelenmiştir.

Su veya katı bir çözelti içine konulan katı madde yüzeyinin elektriksel bir yük kazanması, potansiyeli tayin eden iyonlar dolayısıyla meydana gelmektedir. Yüzeyle zıt işaretli iyonlar, yüzey yakınında toplanarak yüzey elektrik yükünü dengelemeye çalışacaklardır. Yüzey yakınında, yani katı-sıvı ara yüzeyinde toplanan bu iyonlara, dengeleyici iyonlar adı verilir. Dengeleyici iyonların, yüzey civarında artan konsantrasyonları, yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir. Kimyasal dengeye gelindiğinde, katı yüzeyindeki elektrik yükü dağılmış iyonların meydana getirdiği elektrik yükü ile dengelenmiş olacaktır. Yani mineral yüzeyi potansiyeli sıfıra inecektir. Bu durum, bir kondansatörün zıt elektrik yüklü levhalarına benzetilerek, *elektriksel çift tabaka* adını almıştır (Atak, 1990).

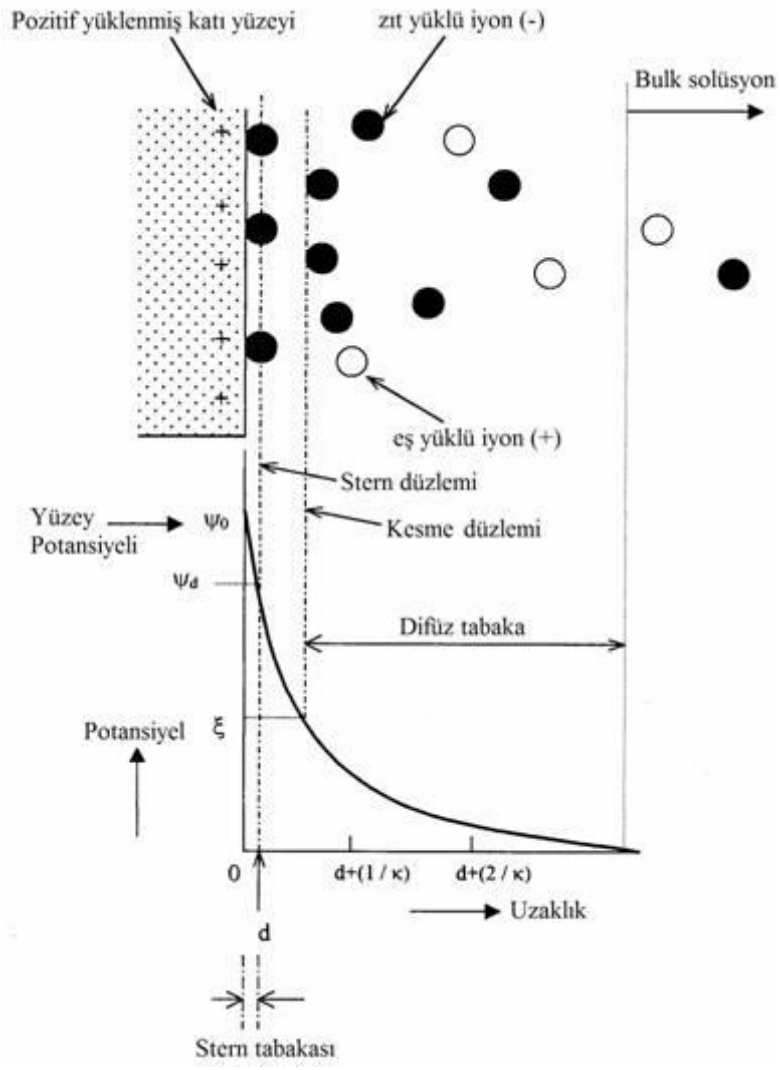
Helmholtz elektriksel çift tabaka kalınlığını bir molekül kalınlığı veya ona yakın bir büyüklük olarak kabul etmiştir. Bu görüş, Gouy-Chapman tarafından değiştirilerek, elektriksel çift tabaka kalınlığının çözelti içinde katı yüzeyinden belirli bir uzaklığa kadar uzandığı ileri sürülmüştür. Dağılmış iyonlar tabakası adı verilen bu kısımda iyonlar hareket halindedir. Fakat katı yüzeyindeki elektrik yükünü dengeleyecek biçimde, zıt işaretli iyonlar, dağılmış iyonlar tabakasında bulunurlar. Böylece elektriksel çift tabaka etrafında bulunan dağılmış iyonlar tabakası Debye-Hückel'in bir iyonu çevreleyen zıt işaretli iyon atmosferi modeline uyar ve Debye-Hückel'in iyonik atmosfer kalınlığı formülü kullanılarak hesaplanabilir. Debye-Hückel fonksiyonuna göre, elektriksel çift tabaka kalınlığı aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$d = ((k\ T\ D)\ (1/\sum z_i^2\ e^2 c^o_i))^{1/2}\ \text{cm} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Denklemde k, Boltzman sabiti; T, mutlak sıcaklık; D, suyun dielektrik sabiti ($25^o$ sıcaklıkta 80'dir). $z_i$ ve $c_i$, i iyonunun konsantrasyonu ve değerliği; e, elektrik yük demektir. Sabit değerler yerlerine konulursa, $d = 3/(z\ (c_0)^{1/2})$ $A^o$ olur. Formülden, elektriksel çift tabaka kalınlığının, elektrolit konsantrasyonunun kare kökü ve değerliği ile ters orantılı olduğu görülür.

Katı-sıvı ara yüzeyinde meydana gelen ve yüzey elektrik yükünü dengeleyen elektriksel çift tabaka, ne Helmholtz modelinde olduğu gibi, yüzeye zıt işaretli iyonların toplanması ile meydana gelen bir molekül kalınlığında açıklığı bulunan bir kondansatörün plakaları gibidir, ne de yüzey elektrik yükü, Gouy-Chapman modelindeki gibi, dağılmış iyonlar tabakasında bulunan zıt işaretli iyonlar tarafından kompanse edilir.

Helmholtz ve Gouy-Chapman modellerini birleştiren elektriksel çift tabaka modeli Stern tarafından 1924'te açıklanmıştır. Stern modeline göre, katı yüzeyine hemen hemen bir molekül kalınlığı mesafede Stern düzlemi adı verilen hayali bir düzlem düşünülür. Burada bulunan zıt işaretli iyonlar, yüzey potansiyelini lineer olarak azaltırlar. Bunun dışında, dağılmış iyonları bulunduran tabaka bulunur. Burada potansiyel azalışı lineer değildir, daha uzun mesafede azalarak sıfıra düşer, yani iyon konsantrasyonu yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir. Şekil 3.1'de elektriksel çift tabaka modeli görülmektedir. Şekil 3.1'de a düzlemi katı yüzeyi, b yüzeyi ise Stern düzlemini göstermektedir. $\Psi_0$, katı yüzeyi potansiyeli ve $\xi$, katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyelini temsil etmektedir. Katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyeline, $\xi$, *elektrokinetik potansiyel (zeta potansiyeli)* denir (Atak, 1990).




**Şekil 3.1 :** Elektriksel çift tabaka modeli.

### 3.1.4. Ara yüzeylerin termodinamiği

Ara yüzey, sıvı ve katı fazında atomik ve moleküler bir yapı gösterir. Ara yüzeylerdeki elektrokimyasal değişimler bu yapıdan faydalanarak, kantitatif olarak belirlenebilir. Ara yüzeylerin daha iyi anlaşılabilmesi için, termodinamik özelliklerin değişiminin de incelenmesi gerekir.

Yoğun bir fazın yüzey alanı arttığı zaman, atomları bir arada tutan bazı fiziksel veya kimyasal bağlar kopar. Hiç bir atom veya molekül komşu atomlardan kendi kendine ayrılamayacağı için, yüzey alanının artışı esnasında sistem bir iş yapar. Atomların faz sınırlarının genişlemesine karşı gösterdikleri direnç, yeni meydana gelen yüzeyin mümkün mertebe küçülmesine sebep olur. Atom veya moleküller arasında hareket kabiliyeti arttıkça, yani katıdan sıvıya geçildikçe, maddenin yüzeyini küçültmesi daha kolay olur (Atak, 1990).

İki faz arasındaki ara yüzeyin birim miktarda artışı ile yapılan tersinir işe *yüzey gerilimi (ϒ)* denir. Bu, birim alana düşen enerji miktarıdır. Alanın artışı dA ise, buna bağlı olan enerji miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$dW = \Upsilon\, dA \qquad \textbf{(3.2)}$$

Sabit basınç ve sıcaklıkta, iki fazlı ve kapalı bir sistemde, yüzey enerjisi sistemin artan serbest enerjisine eşittir.

$$W = \Upsilon \Delta A = \Delta F \text{ (P.T sabit)} \qquad \textbf{(3.3)}$$

$$\Upsilon = (\delta F/\delta A)_{P.T.n} \qquad \textbf{(3.4)}$$

Sıcaklığı (T), basıncı (P) ve kompozisyonu (n) değişmeyen bir sistemde, yüzey alanı birim miktarda arttığı zaman, yüzey gerilimi artan serbest enerjiye eşittir. Yüzey gerilimi, denge halinde iki faza sahip bulunan bir sistemin termodinamik bir özelliğidir. Saf sıvının yüzey gerilimi, sıvı ile onun buharı arasındaki yüzey gerilimidir. Saf katının yüzey gerilimi ise, katı ile onun sıvı şekli arasındaki gerilimidir. Bu sebeple saf cisimler için, sadece sıcaklık yüzey gerilimi tarifinde rol oynar.

$$\Upsilon = (\delta F/\delta A)_T \qquad \textbf{(3.5)}$$

Sıvının yüzeyi belirli bir gerilim tatbik edilmiş bir lastik tabaka gibi düşünülebilir. Lastik tabakada germe kuvveti bir istikamette diğerinden farklı olabilir. Fakat sıvı

yüzeyindeki gerilim istikamete bağlı değildir. Sıvıların yüzey gerilimi, birim uzunluğa isabet eden kuvvet şeklinde düşünülebilir.

Sıvıların yüzey gerilimi, yüzeyin genişlemesine zıt yönde, birim uzunluğa etki eden kuvvete eşittir. Başka bir değişle, mevcut yüzeyi değiştirmek için birim alana düşen iş, eski yüzeyi bozmadan, yeni bir yüzey meydana getiren işe eşittir. Bu eşitlik katı yüzeylerinde mevcut değildir. Çünkü katı, basınç ve çekme gerilimlerine dayanabilir ki bunlar, ne başlangıç noktası, ne de büyüklüğü bakımından yüzey gerilimine eşittir.

Sıvılar için yüzey gerilimi, yüzey kuvvetleri olarak da ifade edilebilir. Sıvıların yüzey gerilimini ölçmede kullanılan pek çok usullerde, yüzey gerilimi, bunu dengeleyen ölçülebilir bir kuvvet yardımı ile hesaplanır. Buna örnek olarak, kılcal boruda sıvının yükselmesinden faydalanılarak, yüzey geriliminin ölçülmesi gösterilebilir. Şekil 3.4'deki şekilde gösterildiği gibi, r yarıçaplı ince bir kılcal boru, etrafı buhar fazı ile kaplı geniş bir sıvı kütlesi içine daldırılırsa, sıvı kılcak boru içinde h seviyesine kadar yükselir.

Sıvı ve gaz yoğunlukları $\rho_s$ ve $\rho_g$ ise kılcal borudaki kuvvet dengesi aşağıdaki formüldeki gibidir.

$$2\pi r\Upsilon = \pi r^2(\rho_s - \rho_g)\, g.h \qquad \textbf{(3.6)}$$

$$\Upsilon = \tfrac{1}{2}\,(\rho_s - \rho_g)\, r.g.h \qquad \textbf{(3.7)}$$

Hidrostatik prensiplere göre, kılcal boruda iki seviye arasındaki basınç farkı ($\Delta p$) de aşağıdaki formülle bulunur.

$$\Delta p = (\rho_s - \rho_g)\, g.h \qquad \textbf{(3.8)}$$

Bu iki formül birleştirildiği zaman $\Delta p = 2\Upsilon/r$ formülü elde edilir.

Sıvıların yüzey gerilimi, 1 din/cm ile 1000 din/cm arasında değişir. Suyun yüzey gerilimi 72,8 din/cm'dir. Genel olarak birbirleri içinde eriyen organik maddelerin yüzey gerilimleri, bunların yüzde miktarları ile orantılı değildir. Aynı şekilde, su ve organik maddeden oluşan çözeltilerin yüzey gerilimleri, karışımda bulunan bu maddelerin yüzde miktarları ile alakalı olmayan sonuçlar verir. Bu durum, yüzey filminin çözelti kompozisyonundan farklı bir yapıda olduğunu gösterir.

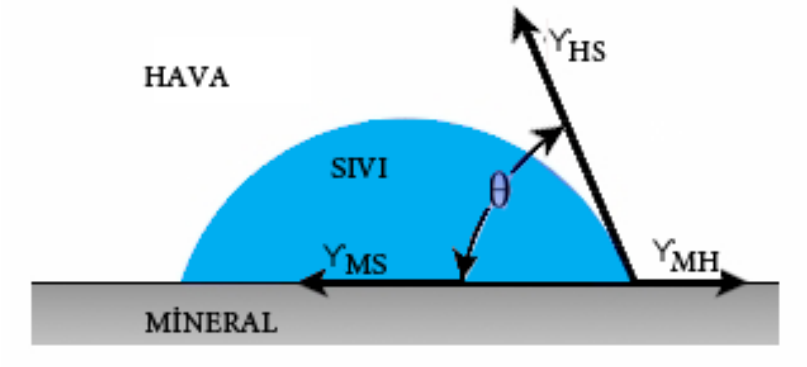
Herhangi bir maddenin, yüzeye yaklaştıkça konsantrasyonu azalıyorsa, yüzeyde negatif adsorpsiyon yoğunluğu elde edilir. Örneğin, inorganik tuzların sulu çözeltilerinde böyle bir durum vardır.

Çünkü inorganik iyonlar, hidrate olduklarından, hava fazına nazaran su fazını tercih ederler ve ara yüzeyde konsantrasyonlarını azaltırlar.

Maddenin yüzeyde konsantrasyonu artıyorsa, adsorpsiyon yoğunluğu pozitif değer taşır. Madde yüzeyde adsorbe olur. Bu cins maddelere *yüzey-aktif maddeler* denir. Organik maddeler ve organik iyonlar bu özelliği taşırlar. Organik iyondaki hidrokarbon ucu havayı tercih ettiğinden, hava-su ara yüzeyinde konsantrasyon artımı olur ve suya ilave edilen organik madde miktarı çok az miktarda bile olsa, çözeltinin yüzey gerilimi organik maddenin yüzey gerilimine yakın bir sınıra kadar düşer (Atak, 1990).

### 3.1.5. Flotasyon ve temas açısı

Sıvı-katı-hava gibi üç ara yüzeyin dengede olduğu durumdaki termodinamik durum *Young Eşitliği* ile izah edilir. İki faz, bir yüzey boyunca birbirlerine değerler. Üç faz ise bir doğru boyunca değme durumundadırlar. Şekil 3.2, üç fazlı sistemlerde doğrusal temas durumunu ve yüzey gerilimini göstermektedir.




**Şekil 3.2 :** Üç fazlı sistemlerde doğrusal temas durumu ve yüzey gerilimi.

$\Upsilon_{HS}$ : Hava su ara yüzey gerilimi

$\Upsilon_{MS}$ : Su-mineral ara yüzey gerilimi

$\Upsilon_{MH}$ : Mineral-hava ara yüzey gerilimi

Üç faz dengede olduğu zaman yüzey gerilimleri toplamı sıfıra eşit olmalıdır.

$$\Upsilon_{HS} + \Upsilon_{MS} + \Upsilon_{MH} = 0 \qquad \textbf{(3.9)}$$

Üç faz genellikle katı, sıvı ve gazdır. Ancak flotasyon sistemlerinde katı, su ve hava fazları olarak doğrudan söylemek mümkündür. Şekil 3.5'teki yüzey gerilimleri dengesi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\Upsilon_{HS}.\cos\theta = \Upsilon_{MH} - \Upsilon_{MS} \quad \textbf{(3.10)}$$

Katı yüzeyi ile hava-su ara yüzeyi arasındaki açıya *temas açısı* denir. Temas açısı, mineral-su hava ara yüzeyi ile hava-su ara yüzeyi arasında ölçülebilen bir değerdir. θ açısı, yüzey gerilimleri cinsinden hesaplanırsa aşağıdaki gösterilen *Young Eşitliği* elde edilir.

$$\cos\theta = (\Upsilon_{MH} - \Upsilon_{MS}) / \Upsilon_{HS} \quad \textbf{(3.11)}$$

Young eşitliğinden yararlanılarak, $\Upsilon_{MH} > \Upsilon_{MS}$ ise temas açısının $90^{o}$'den küçük olacağı; $\Upsilon_{MH} < \Upsilon_{MS}$ ise $90^{o}$'den büyük olacağı söylenebilir. Temas durumunun dengede olabilmesi için

$$\Upsilon_{MH} - \Upsilon_{MS} \leq \Upsilon_{HS} \quad \textbf{(3.12)}$$

olmalıdır. Bu denklem yüzebilme durumunu gösterir. Ancak bu koşulda bir θ değeri bulunabilir. Young denklemi, üç faz dengede olduğu zaman uygulanabilir. Üç faz dengede olmadığı zaman, üç faz temas halinde değildir. Bu sebeple belirli bir temas açısı bulunamaz. Böylece, su-hava ara yüzeyindeki gerilim ($\Upsilon_{HS}$), mineral-hava ve su-mineral ara yüzey gerilimleri farkından ($\Upsilon_{MH} - \Upsilon_{MS}$) küçük olduğu zaman, su mineral yüzeyini tamamen ıslatır ve hava fazı mineral fazından ayrılır. Aşağıdaki denklem bastırılma durumuna tekabül etmektedir (Atak, 1990).

$$\Upsilon_{MH} - \Upsilon_{MS} > \Upsilon_{HS} \quad \textbf{(3.13)}$$

### 3.2. Talk Mineralinin Flotasyonu İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Flotasyon talk zenginleştirilmesinde, talkın doğal yüzebilirlik özelliği göstermesi sebebiyle en çok tercih edilen yöntemdir. Genellikle sadece bir köpürtücü kullanılarak ayırma işlemi yapılabilmektedir. Bazı durumlarda ise talkın flotasyon yöntemiyle yan taş olarak uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu durumda flotasyonda bastırılması gündeme gelmektedir. Aşağıda talkın flotasyon ile yüzdürülmesi ve bastırılmasına ait bazı çalışmalar verilmektedir: Mahmoud ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada (2007), flotasyon ve akabinde liç ile talk kalitesi endüstri kullanımı için arttırılmaya çalışılmıştır. Bu çalışmada Mısır'dan alınan dört farklı talk cevheri ile çalışılmıştır. Bu çalışmada Mısır'dan alınan dört farklı talk cevheri ile çalışılmıştır. Flotasyon deneylerinde kollektör olarak oleik asit kullanılmış ve miktarı 0.6 kg/ton'dan 1.4 kg/ton'a kadar değiştirilmiştir.

Gang minerali olarak tespit edilen karbonatları bastırmak için sodyum hekzametafosfat (SHMP) kullanılmış ve miktarı 0.4 kg/ton'dan 1.2 kg/ton'a kadar değiştirilerek çalışılmıştır.

Tüm deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Toplam kıvam süresi 10 dakika olarak sabit tutulmuştur. Bastırıcı olarak kullanılan sodyum hekzametafosfat (SHMP) tüm deneyler boyunca ilk kıvamlandırma aşamasında eklenmiş ve 2 dakika kıvam süresi tayin edilmiştir. Sonraki kıvam aşamasında kollektör olarak kullanılan oleik asit eklenmiş ve 2 dk kıvam süresi tayin edilmiştir.

Son olarak da köpürtücü eklenmiş ve 1 dakika kıvam süresi verilmiştir. Son konsantre 60°C'de 30 dakika boyunca seyreltilmiş hidklorik asit ile liç işlemine tabi tutulmuştur. Bu işlemden sonra, ilk olarak sıcak su ve akabinde saf su ile yıkanmıştır. Farklı pH değerlerinin flotasyona etkisi Çizelge 3.1'de verilmiştir.

**Çizelge 3.1 :** Farklı pH değerlerinin flotasyona etkisi (Mahmoud ve diğ., 2007).

| pH | Ürünler | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| 4 | Yüzen | 34,00 | 60,3 | 57,02 | 55,9 | 6,22 | 40,2 |
| | Batan | 25,28 | 39,7 | 50,81 | 44,10 | 10,43 | 59,8 |
| 7 | Yüzen | 33,39 | 71,8 | 56,15 | 66,7 | 6,53 | 51,2 |
| | Batan | 23,61 | 28,2 | 50,41 | 33,3 | 11,21 | 48,8 |
| 9 | Yüzen | 33,03 | 74,0 | 55,90 | 69,2 | 6,85 | 56,0 |
| | Batan | 23,55 | 26,0 | 50,45 | 30,8 | 10,94 | 44,0 |
| 11 | Yüzen | 32,92 | 93,0 | 55,71 | 87,0 | 7,14 | 43,6 |
| | Batan | 13,44 | 7,0 | 45,32 | 13,0 | 13,98 | 26,4 |
| 12 | Yüzen | 31,81 | 82,7 | 54,30 | 78,0 | 8,10 | 76,8 |
| | Batan | 23,24 | 17,3 | 53,40 | 22,0 | 8,55 | 23,2 |

Deney sonuçları göstermektedir ki; pH:9 ve altında talk yüzeyi hidrofilik bir davranış göstermektedir. pH değerinin artmasıyla beraber talk minerallerinin yüzeyi hidrofobik özellik göstermekte ve verim düşük pH değerlerine göre artmaktadır. En iyi sonuç pH:11 seviyesinde alınmaktadır. Farklı konsantrasyonlarda bastırıcı olarak kullanılan sodyum hekzametafosfat (SHMP) ile pH:11'de yapılan deneylerin flotasyona etkisi Çizelge 3.2'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2 :** Bastırıcı miktarının flotasyona etkisi (Mahmoud ve diğ., 2007).

| SHMP Miktarı (kg/ton) | Ürünler | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| **0,4** | Yüzen | 34,13 | 81,3 | 57,23 | 75,3 | 5,88 | 51,1 |
| | Batan | 19,44 | 18,7 | 46,36 | 24,7 | 13,94 | 48,9 |
| **0,6** | Yüzen | 33,67 | 87,3 | 56,57 | 81,0 | 6,35 | 60,0 |
| | Batan | 16,91 | 12,7 | 45,59 | 19,0 | 14,57 | 40,00 |
| **0,8** | Yüzen | 32,92 | 93,0 | 55,71 | 87,0 | 7,14 | 73,6 |
| | Batan | 13,44 | 7,0 | 45,32 | 13,0 | 13,98 | 26,4 |
| **1,0** | Yüzen | 31,89 | 93,9 | 54,97 | 89,4 | 7,21 | 77,4 |
| | Batan | 15,31 | 6,1 | 41,36 | 10,6 | 15,46 | 22,6 |
| **1,2** | Yüzen | 31,29 | 79,5 | 54,46 | 76,5 | 8,07 | 74,8 |
| | Batan | 25,5 | 20,5 | 52,96 | 23,5 | 8,61 | 25,2 |

Deney sonuçları göstermektedir ki; 0.4 kg/ton değerinden 1.0 kg/ton değerine kadar çıkarken verim sürekli olarak artmıştır. Ancak 1.0 kg/ton değeri geçildiğinde verim düşmektedir. En iyi sonuç SHMP konsantrasyonu 1.0 kg/ton iken alınmıştır.

Mahmoud, Galal ve Mohamed'in yaptığı çalışmada (2007), bir sonraki adım olarak kollektör olarak kullanılan oleik asitin farklı konsantrasyonlardaki deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Bu deney serisi pH:11'de bastırıcı olarak kullanılan sodyum hekzametafosfat (SHMP) konsantrasyonu 1.0 kg/ton değerine sabitlenerek gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.3'te bu deney serisinin sonuçları verilmektedir.

**Çizelge 3.3 :** Kollektör miktarının flotasyona etkisi, (Mahmoud ve diğ., 2007).

| Oleik Asit Miktarı (kg/ton) | Ürünler | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| **0,6** | Yüzen | 34,22 | 82,5 | 57,46 | 76,6 | 5,90 | 51,9 |
| | Batan | 18,74 | 17,5 | 45,42 | 23,4 | 14,14 | 48,1 |
| **0,8** | Yüzen | 32,83 | 88,4 | 55,78 | 83,00 | 6,78 | 66,6 |
| | Batan | 17,80 | 11,6 | 47,16 | 17,0 | 14,06 | 33,4 |
| **1,0** | Yüzen | 31,89 | 93,9 | 54,97 | 89,4 | 7,21 | 77,4 |
| | Batan | 15,31 | 6,1 | 41,36 | 10,6 | 15,46 | 22,6 |
| **1,2** | Yüzen | 31,76 | 98,2 | 54,94 | 93,8 | 7,24 | 81,6 |
| | Batan | 7,29 | 1,8 | 41,35 | 6,2 | 19,87 | 18,4 |
| **1,4** | Yüzen | 30,69 | 86,00 | 54,15 | 83,9 | 7,97 | 81,5 |
| | Batan | 24,98 | 14,00 | 49,13 | 16,1 | 8,05 | 18,5 |

Deney sonuçları göstermektedir ki; 0.6 kg/ton değerinden 1.2 kg/ton değerine kadar çıkarken verim sürekli olarak artmaktadır. Ancak 1.2 kg/ton değeri geçildiğinde verim düşmektedir. En iyi sonuç oleik asit konsantrasyonu 1.2 kg/ton iken alınmıştır.

Yine bu çalışmanın son aşamasında, pülp yoğunluğu konsantrasyonunu değiştirerek deneyler gerçekleştirmişlerdir. Bu deney serisi de pH:11'de, bastırıcı olarak kullanılan sodyum hekzametafosfat (SHMP) konsantrasyonu 1.0 kg/ton ve kollektör olarak kullanılan oleik asit konsantrasyonu ise 1.2 kg/ton değerine sabitlenerek gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.4'te bu deney serisinin sonuçları verilmiştir.

**Çizelge 3.4 :** Pülp yoğunluğunun flotasyona etkisi, (Mahmoud ve diğ., 2007).

| Pülp Yoğunluğu (gr/L) | Ürünler | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| **100** | Yüzen | 34,30 | 80,3 | 57,60 | 74,5 | 5,59 | 47,7 |
| | Batan | 19,63 | 19,7 | 45,93 | 25,5 | 14,29 | 52,3 |
| **150** | Yüzen | 33,07 | 92,1 | 56,24 | 86,6 | 6,49 | 65,9 |
| | Batan | 14,09 | 7,8 | 43,43 | 13,4 | 16,73 | 34,1 |
| **200** | Yüzen | 31,76 | 98,2 | 54,94 | 93,8 | 7,24 | 81,6 |
| | Batan | 7,29 | 1,8 | 41,35 | 6,2 | 19,87 | 18,4 |
| **250** | Yüzen | 31,65 | 89,5 | 54,75 | 85,5 | 7,83 | 80,7 |
| | Batan | 20,36 | 10,5 | 50,56 | 14,5 | 10,22 | 19,3 |
| **300** | Yüzen | 30,88 | 81,4 | 54,23 | 78,0 | 8,04 | 77,3 |
| | Batan | 26,26 | 18,6 | 53,62 | 22,0 | 8,79 | 22,7 |

Deney sonuçları göstermektedir ki; 100 g/L değerinden 200 g/L değerine kadar çıkarken verim sürekli olarak artmıştır. Ancak 200 g/L değeri geçildiğinde verim düşmektedir. En iyi sonuç pülp yoğunluğu 200 g/L iken alınmıştır.

En son aşama olarak bu çalışmada talkın kalitesini arttırmak için flotasyondan çıkan nihai konsantreye liç uygulaması yapılmıştır. Bu liç uygulaması %10 konsantrasyona sahip seyreltik hidroklorik asit ile katı-sıvı oranı (1:2) değerinde 60°C sıcaklıkta 30 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Bu işlemden sonra numune, ilk olarak sıcak su ve akabinde saf su ile yıkanmıştır. Prosesin tamamlanmasından sonra çıkan ürün kurutulmuş, tartılmış ve kimyasal analize verilmiştir. Sonuçlara göre MgO verimi ilk giriş numunesine yakın olmakla beraber, $SiO_2$ verimi % 58.95'ya inmektedir.

Talk flotasyonu ile yapılan bir başka çalışma ise Yehia ve Wakeel'in 1999 yılında gerçekleştirdikleri çalışmadır. Yehia ve Wakeel'in yaptığı flotasyon ile talkın zenginleştirme çalışmalarında (1999); malzeme olarak Mısır'dan alınan talk – karbonat

içerikli cevher kullanılmıştır, gang mineralleri olarak dolomit ve manyezit tespit edilmiştir. Esas olarak deneylerde, polipropilen glikol (aerofrother 65) köpürtücüsünün ve pH'nın etkisi araştırılmıştır. 2 gr talk numunesi, 50 ml'lik çözelti ile 5 dakika karıştırılarak pH ayarı yapılmış ve mikroflotasyon hücresinde 1 dakika flotasyon zamanı verilerek flotasyon özelliklerine bakılmıştır. pH ayarı için sodyum hidroksit ve nitrik asit reaktifleri kullanılmıştır.

Talk mineralinin pH'ya bağlı olarak yapılan temas açısı, zeta potansiyel ve flotasyon deneylerinde birbiri ile ilişkilerinin olmadığı tespit edilmiştir. Verim ve zeta potansiyel arasında bir farklılık bulunsa da, ıslanabilirlik açısından bir değişiklik gözlenmemiştir. Bu sonuçlara bakarak talkın isotrop olmayan (anisotrop) bir mineral olduğu söylenebilmektedir. Anisotrop yüzeyler iki tip bağ içerirler. Bunlardan ilki hidrofobik yüzeyler arasında olan Van der Waals bağları, diğeri ise hidrofilik köşeler arasında iyonik veya kovalent bağlardır. Deney sonuçlarına bakıldığı zaman en yüksek verimle flotasyon doğal pH'da (yaklaşık 7–8) yapılmıştır. Asidik ya da bazik pH'lara geçildiği zaman verimde düşüşler gözlenmiştir. Fakat bu düşüşler asidik pH'da çok az derecede olurken, bazik pH'da aşırı bir düşüş yaşanmıştır. Çizelge 3.5'te talk flotasyonunun pH'ya bağlı olarak değişimi verilmiştir. Köpürtücü olarak polipropilen glikol az bir miktarda (0,1 kg/ton) kullanılmıştır. Polipropilen glikol ile yapılan flotasyon deneyleri sonucunda talk mineralinin verimi %15'den %93'lere kadar çıkmıştır. Çizelge 3.6'da köpürtücünün talk flotasyonuna etkisi gösterilmiştir.

Deney sonuçlarını kısaca açıklamak gerekirse; en iyi flotasyon verimi doğal pH'da gözlenmiş ve asidik veya bazik ortamların her ikisinde de düşüş olmuştur. Köpürtücü kullanımında ise doğal pH'daki verimden daha yüksek bir oran ortaya çıkmıştır. Ayrıca köpürtücü miktarının artışı verimi de küçük oranlarla arttırmıştır (Yehia ve Wakeel, 1999).

**Çizelge 3.5 :** pH'nın talk flotasyonuna etkisi, (Yehia ve Wakeel, 1999).

| pH | Konsantre | | | Atık | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Talk | | Karbonat | Talk | Karbonat | |
| | Tenör (%) | Verim (%) | Tenör (%) | Tenör (%) | Tenör(%) | Verim(%) |
| 3 | 70 | 86 | 30 | 16 | 84 | 66 |
| 5 | 66 | 88 | 34 | 16 | 84 | 64 |
| 7 | 60 | 90 | 40 | 15 | 85 | 45 |
| 10 | 45 | 62 | 55 | 18 | 82 | 67 |
| 12 | 65 | 5 | 35 | 45 | 55 | 96 |

**Çizelge 3.6 :** Köpürtücü miktarının flotasyona etkisi, (Yehia ve Wakeel, 1999).

| Polipropilen Glikol Miktarı, (kg/t) | Konsantre | | | Atık | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Talk | | Karbonat | Talk | Karbonat | |
| | Tenör (%) | Verim (%) | Tenör (%) | Tenör (%) | Tenör (%) | Verim (%) |
| 0.00 | 80 | 15 | 20 | 42 | 58 | 92 |
| 0.05 | 62 | 90 | 38 | 19 | 81 | 52 |
| 0.10 | 60 | 90 | 40 | 15 | 85 | 45 |
| 0.50 | 55 | 92 | 45 | 16 | 84 | 40 |
| 0.20 | 52 | 93 | 48 | 14 | 86 | 32 |

Khraisheh ile arkadaşlarının yaptığı başka bir çalışmada (2004) ise bir bastırıcı olan CMC ile talk flotasyonu deneyleri yapılmıştır. Numune olarak da Güney Afrika'ya ait talk cevheri kullanılmıştır. Polisakkarit bir bastırıcı olan CMC talk yüzeyini hidrofilik hale getirir. Bu sayede talk mineralinin flotasyon özelliği; kullanılan bastırıcıların molekül ağırlığı, kimyasal bileşimleri ve molekül yapılarına bağlı olarak azalmaktadır. Yapılan deneylerin sonuçları şu şekilde verilmektedir:

- Talk flotasyonunda kullanılan Karboksi Methil Selülöz (CMC) bastırıcısının adsorpsiyon özellikleri, molekül ağırlığına ve konsantrasyona bağlı olarak değişmektedir.
- CMC bastırıcısının molekül ağırlığı arttırıldığı zaman, talk flotasyonu adsorpsiyonu da artmaktadır.
- CMC'nin bastırıcı özelliği yüksek iyon konsantrasyonda daha etkin olmaktadır (Khraisheh ve diğ., 2004).

2005 yılında Liu ve arkadaşları da çeşitli bastırıcıların talk flotasyonuna etkilerini incelemişlerdir. Kullandıkları bastırıcılar ise CMC, CMS (Karboksi Metil Nişasta) ve dextrindir. Bu bastırıcıların polisaakarit çözeltileri öncelikle soğuk suda, ardında kaynayan saf suda disperse edilerek her gün taze olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmada da benzer olarak pH, tane boyutu ve sıcaklık parametrelerinin değişimi incelenmiş, ardından kalsinasyon ve liç uygulamaları gerçekleştirilerek etkileri incelenmiştir. pH deneylerinin sonucunda CMC, CMS ve dextrinin talk üzerine adsorbe olmalarının pH'tan bağımsız olduğu görülmüştür. Yine bu deneyler sonucunda; CMC ve CMS'nin dextrine göre talk üzerine daha iyi adsorbe olduğu da bulunmuştur. CMC ve CMS karşılaştırmasında ise CMC reaktifi daha iyi sonuç vermiştir.

Tane boyutu ile yaptıkları çalışmalarında ise Liu ve arkadaşları, dextrinin denenen tüm tane boyutlarında CMC ve CMS'ye göre daha düşük kapasitede talk üzerine adsorbe olduğunu görmüşlerdir. Bir başka sonuç olarak tane boyutu ne kadar küçülürse, adsorpsiyon kapasitesinin de o kadar düştüğünü gözlemlemişlerdir (Liu ve diğ., 2005).

Hallimond tüpü ile yapılan başka bir çalışma ise 2007 yılında Ma ve Pawlik tarafından gerçekleştirilmiştir. Lignosülfonatın bastırıcı olarak kullanıldığı talk flotasyonu deneylerinde pH'ya bağlı olarak ölçümler yapılmıştır (Ma ve Pawlik, 2007). Yapılan deneylerin sonuçlarına şu şekilde verilmektedir:

- pH değerini arttırmak için kirecin kullanıldığı flotasyon deneylerinde, lignosülfonat talkı yüksek oranda bastırmıştır. Kirecin pH ayarlaması için asıl kullanım amacı, kalsiyum iyonlarını talk partiküllerine tutturarak mineral yüzeyini lignosülfonat için etkin hale getirmektir.
- Kullanılan lignosülfonat miktarı flotasyonda talkı bastırmak için doğrudan etkili olmaktadır.
- Lignosülfonatın bastırıcı etkinliği, yüzey yükü arttıkça azalmaktadır (Ma ve Pawlik, 2007).

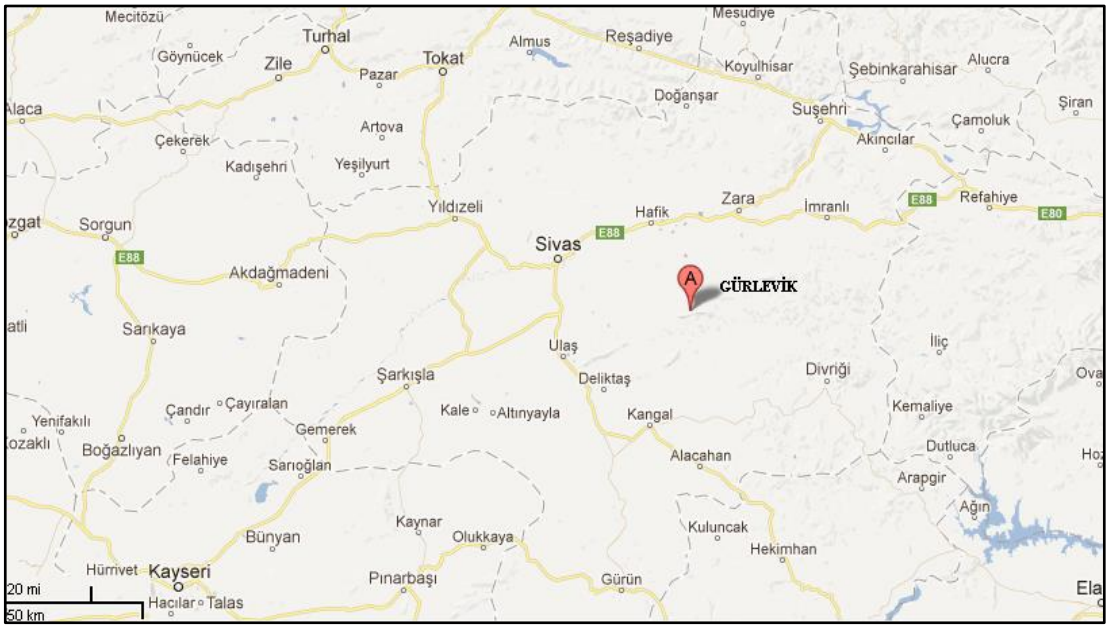
Saf talk numunesi üzerinde yapılan bir flotasyon çalışmasında (Eroğlu, 2012), mineralin bazik pH değerlerine gidildikçe flotasyon yeteneğinin azaldığı gözlenmiştir. Yine aynı çalışmada MIBC ve Dowfroth 250 köpürtücüleri karşılaştırıldığında, MIBC ile daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

# 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, Sivas-Gürlevik Talk ocağının atıklarının özelliklerinin belirlenerek zenginleştirilmesi ve endüstriye hazır hale getirilmesi amaçlanmıştır. Bu bölümde, talk atıklarının mineralojik, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenerek, bu kapsamda yapılan mikroskop, XRD, elek analizleri ile renk ölçüm analizleri, flotasyon çalışmaları ile XRF analizlerine yer verilecek ve elde edilen sonuçlar irdelenecektir.

## 4.1. Malzeme ve Yöntem

Bu çalışmada kullanılan talk atıkları, Sivas-Gürlevik yöresinde sahası olan Eczacıbaşı ESAN Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş.'ye aittir. Sivas'a 50 km mesafede bulunan ocaklar Gürlevik Dağı eteklerinde yaklaşık 1800-1900m kotlarında bulunmaktadır. Ocak 62494-77924 ve şantiye ise 63313-78008 koordinatlarında bulunmaktadır. Şekil 4.1'de Sivas-Gürlevik yöresinin haritası bulunmaktadır.




**Şekil 4.1 :** Sivas-Gürlevik haritası.

Sahada üretim yaz mevsiminde 6 ay süresince yapılabilmektedir. 50 km'lik yolun yaklaşık yarısı asfalt, yarısı da stablizedir. Yaz mevsiminde ulaşım sorunu yoktur. Bölgedeki su kaynakları zengin olduğu için, şantiyede kullanma ve talk yıkamada su sorunu yaşanmamaktadır. Sahada elektrik yoktur. Enerji jeneratör ile sağlanmaktadır. Saha yaklaşık D-B uzanımlı büyük doğrultu atımlı bir fay olan Tecer fayının önünde gelişmiş Paleosen yaşlı bir olistostrom üzerinde yeralmaktadır. Serpantin, gabro, piroksenit gibi ofiyolit çakıl ve bloklarından oluşan olistostromal konglomeranın içinde Tecer kireçtaşına ait büyük bloklar da yeralmaktadır. Cevherleşme muhtemelen Tecer fayından kaynaklanan bir sıcak su sisteminin olistostromun gözenekli çakıltaşı birimini alterasyona uğratması ve ornatılan magnezyumlu suların gözenek ya da çatlaklarda dolaşırken talk oluşumuna yol açması ile açıklanabilir.

Talk bir kırık geometrisi izlememekte, parçalar halinde iyice bozuşmuş konglomeraların arasında düzensiz bir şekilde yer almaktadır. Çakıllı zonların genellikle %2 kadar talk içerdiği gözlenmektedir. Talk genelde beyaz, ender olarak yeşil renktedir. Talkı barındıran olistostramal konglomera yoğun bir alterasyon geçirmiş, çakıltaşları elle ufalanabilir hale gelmiştir. Bu kısımların sökümü kolay yapılabilmektedir. Ancak tane boyunun küçüldüğü kısımlarda yaz aylarındaki kuraklıkla birlikte sertleşme olduğundan, sökümü daha zor hale gelmektedir. Konglomera içindeki talk oranı %2 civarındadır. Eczacıbaşı ESAN Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş.'ye ait olan saha 20 yıldan daha uzun bir süredir çalışmakta, son yıllarda yaklaşık 2.000 ton/yıl civarında üretime sahne olmaktadır. Ocaktan çıkarılan cevher sadece el ile ayıklamaya tabi tutulmaktadır. Çalışılan atık numunesi, bu elle ayıklama sonucu elde edilen atıklardır. Deneylerde kullanılan atık talk numunesi ait resim Şekil 4.2'de verilmiştir.



**Şekil 4.2 :** Sivas-Gürlevik atık talk numunesi.

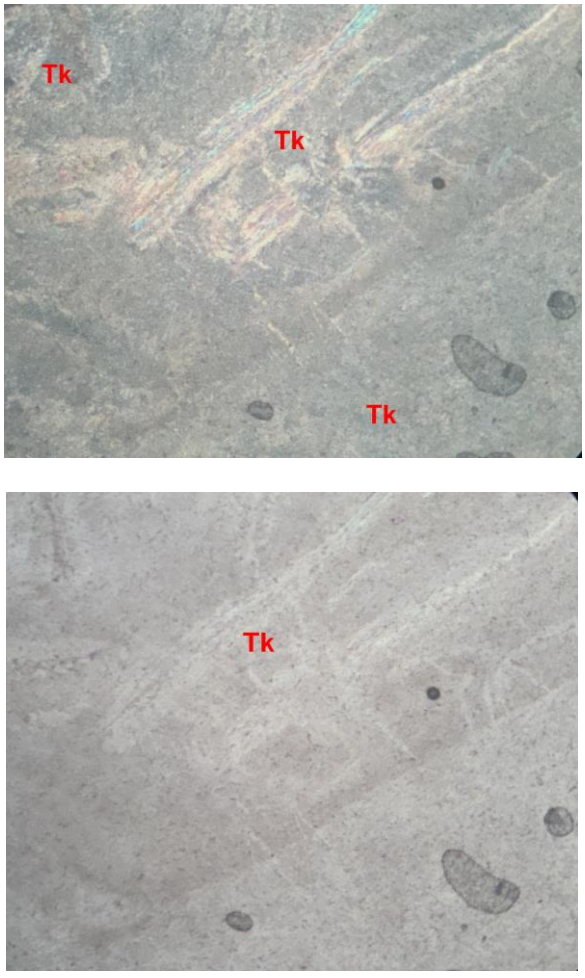
### 4.2. Talk Atığının Karakterizasyonu

Sivas talk atığının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek amacıyla bir takım incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerin sonuçları aşağıda sırasıyla verilmektedir.

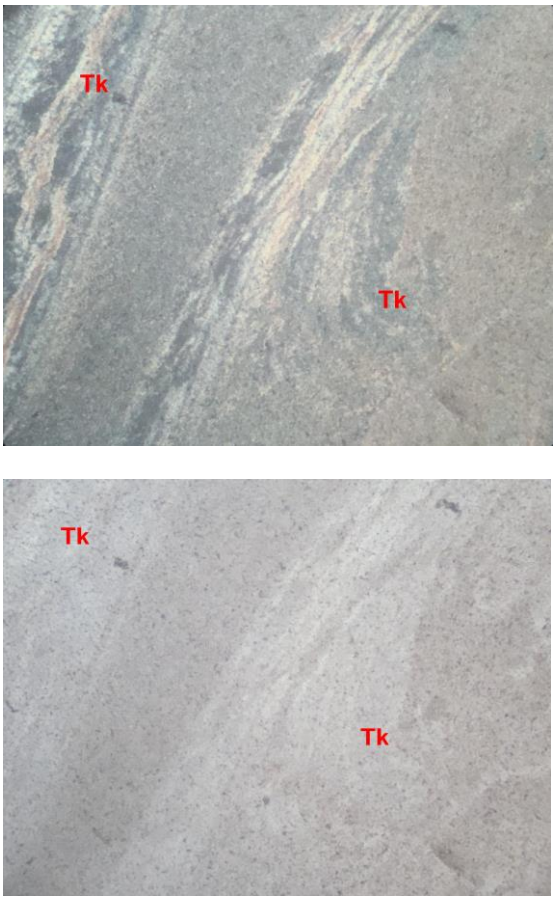
#### 4.2.1. Malzemenin mineralojik yapısı

##### 4.2.1.1. Mikroskop incelemeleri

Talk atığının mineralojik yapısının anlaşılabilmesi için ilk etapta mikroskop incelemeleri gerçekleştirilmiştir. Atık numunesinden alınan 3 adet ince kesit A, B ve C olarak kodlanmış olup polarizen mikroskop altında incelenmiştir. A ile B kodlu örnekler yıkanmış kesiti, C kodlu örnek ise yıkanmamış kesiti temsil etmektedir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmektedir.



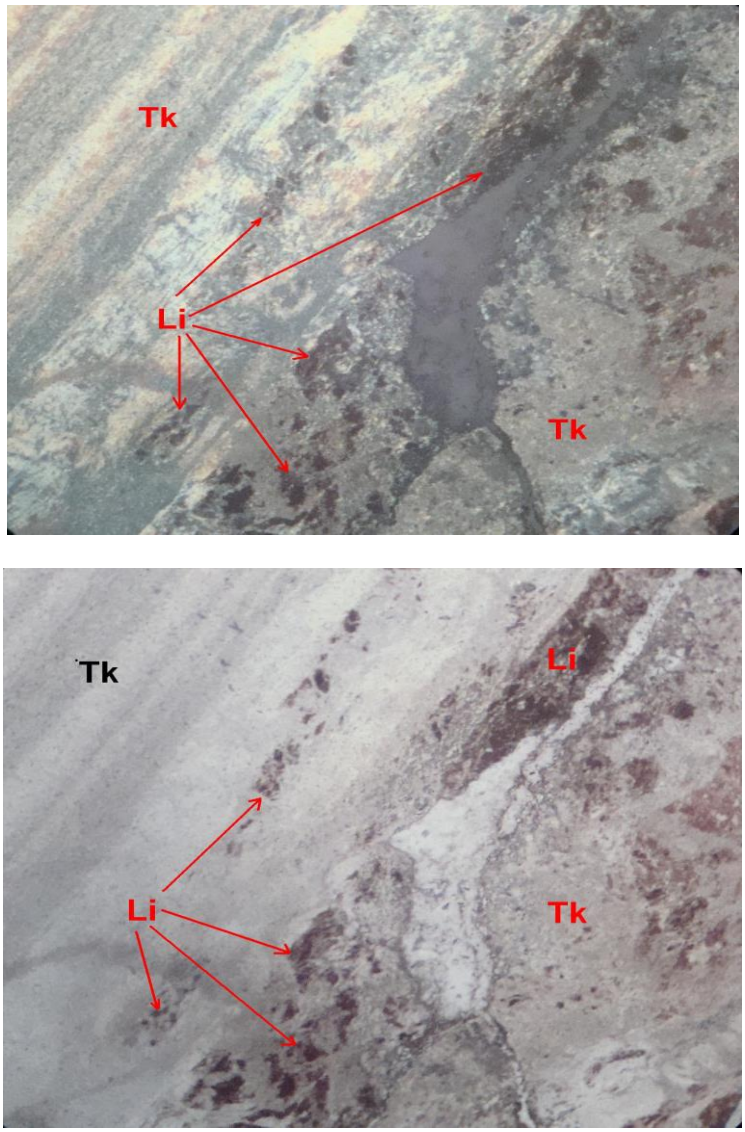

**Şekil 4.3 :** Örnek A-talkın (Tk) polarize ışık (üstte) ve beyaz ışık (altta) altında ince kesit görüntüleri (X 40).




**Şekil 4.4 :** Örnek B-talkın (Tk) polarize ışık (üstte) ve beyaz ışık (altta) altında ince kesit görüntüleri (X 40).

A ve B olarak kodlanmış örnekler birbirine benzemektedir. Dokusal ve mineralojik olarak belirgin bir farklılık göstermemektedir. Numuneler esas olarak (%99) oranında talktan oluşmaktadır. Talk oldukça ince tanelenmiştir ve polarize ışık altında sarımsı, yeşilimsi, mavimsi kırmızımsı renkler göstermektedir. Özşekilsiz kristaller halindedir. Limonitler yıkama ile uzaklaşmıştır. Bununla birlikte bazı alanlarda ince taneli saçılı opaklara rastlanılmaktadır. Opak içeriği %0.5'in altındadır.

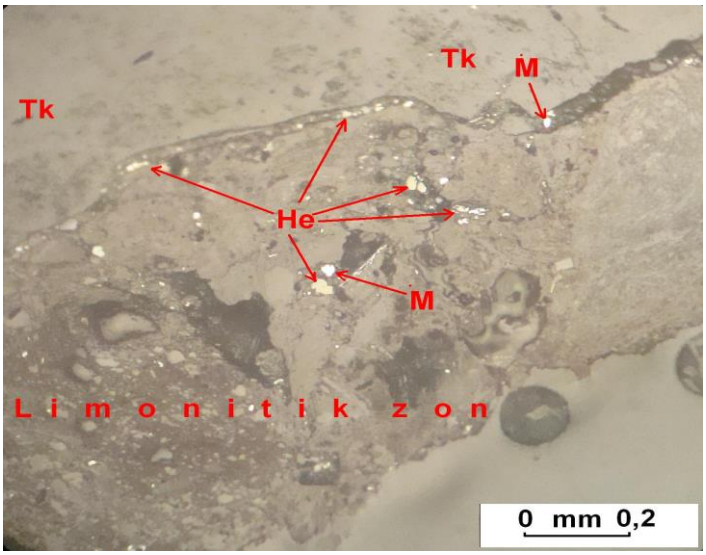
C kodlu örnek diğerlerinden daha yüksek opak mineral oluşumları ile ayırt edilmektedir. Opak mineraller esas olarak limonittir. Ancak limonitlerin bol oranda gözlendiği alanlarda hematit ve manyetit gibi demir minerallerine de rastlanılmaktadır. Örnekteki talk içeriği %96-97 kadardır. Opak mineral içeriği ise %3-4 oranlarında değişmektedir. Bu minerallere yer yer kuvars taneleri eşlik etmektedir. Kuvars miktarı %0.5'in altında bir değerdedir. Talklar özşekilsiz, çok az oranda ikizli ve masif yapıdadır. Limonitler talk içinde ikincil kılcal çatlaklara yerleşmiş veya talk içinde saçılmış olarak gözlenmektedir.



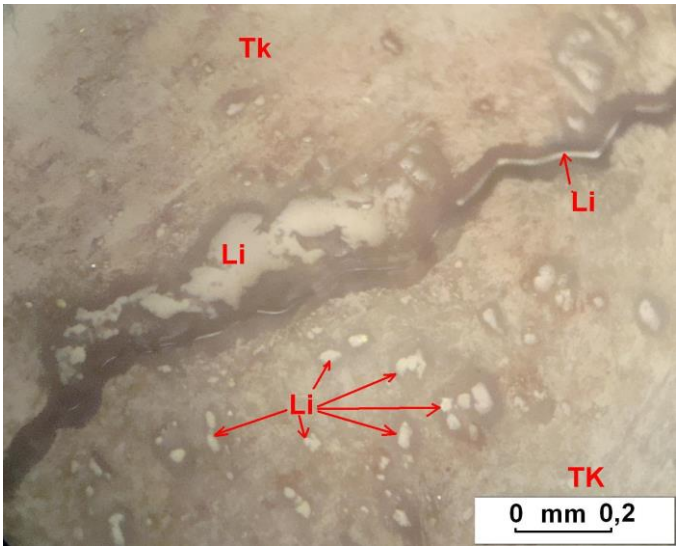

**Şekil 4.5 :** Örnek C-orjinal talkın (Tk) polarize ışık (üstte) ve beyaz ışık (altta) altında ince kesit görüntüleri (X 40).

A ve B kodlu örnekte de gözlendiği gibi bu tür oluşumlar yıkama ile kolaylıkla uzaklaştırılabilir. Örnekte belirgin bir ayrışma gözlenmemektedir. Bu nedenle kil oluşumu ihmal edilir miktardadır. C kodlu örneğin talkları optik özellikleri yönüyle A ve B kodlu örneklerden bir farklılık göstermemektedir.

Talk atık numunesinden hazırlanmış D kodlu parlak kesit örneği, esas olarak cevherin içerdiği metalik minerallerin tespit amacı ile incelenmiştir. Makroskopik olarak limonitik seviyeler ayırt edilebilir özelliktedir. Bu tür mineraller çoğunlukla ayrışma ürünü olarak gelişmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmektedir.

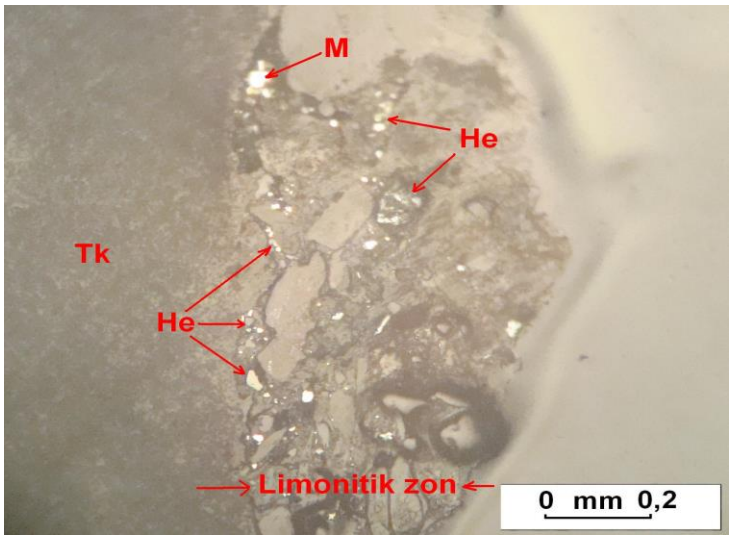



**Şekil 4.6 :** Örnek D-talk numunesinin parlatılmış kesitlerinde ince taneli hematit (He) ve manyetit (M) kristalleri.

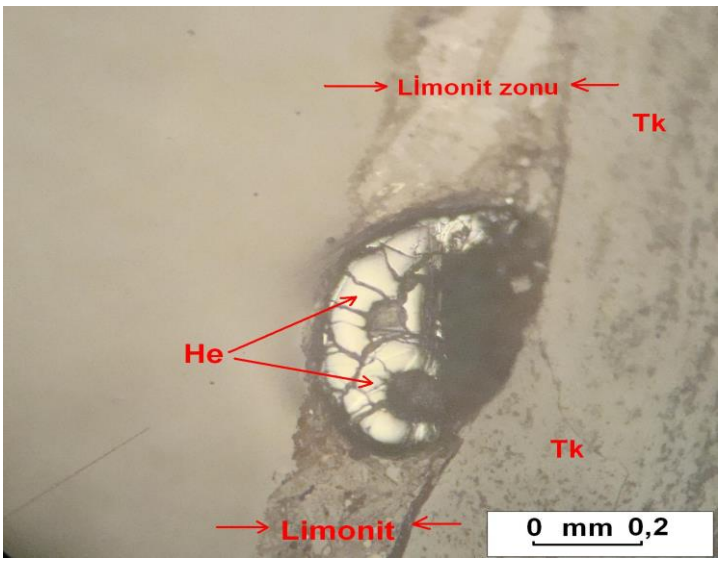



**Şekil 4.7 :** Örnek D-talk numunesinin parlatılmış kesitlerinde izlenen limonitler (Li) yer yer ikincil çatlaklar içinde ve talk (Tk) içinde saçılıdır.

Mikroskop incelemeleri sonucunda görüldüğü üzere, talk atık numunesinin içersinde bulunan metalik mineraller esas olarak demir oksitlerdir. Bolluk sırasına göre limonit, hematit ve manyetitten oluşmaktadır. Sonuçlar Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da verilmektedir.




**Şekil 4.8 :** Örnek D-limonitik zon içinde hematit (He) ve manyetit (M) kristalleri.




**Şekil 4.9 :** Örnek D-hematitin limonitik seviyelerde botryoidal yapıda görüntüsü.

Limonit; gri, bazen açık mavimsi boyalı renkler halinde gözlenmektedir. Ayrışma ürünü olarak gelişmiştir. Talk minerallerinin kenarlarında veya ikincil çatlaklarda ince taneli olarak kristallenmiştir. Özşekilsizdir, anizotropi ve çift yansıma zorlukla gözlenmektedir. İç yansıma gözlenmemiştir. Çoğunlukla bir zon halinde topluluk oluşturmaktadır. Bu zon içinde hematit ve manyetit gibi diğer demir mineralleri ile bir arada bulunmaktadır. Limonitçe bol zonların kalınlığı çoğunlukla 1.0 mm'nin altındadır. Ancak nadiren bu değerin üstüne de çıkmaktadır. Tabuler, tek tane halinde bulunmakla birlikte hematitle iç içe, veya onun kenarlarında ayrışma ürünü olarak da gelişmiştir.

Hematit; grimsi beyaz, grimsi sarı renkleri ile tanınır. Son derecede ince tanelenmiştir ve daima limonitik seviye içinde manyetitle birlikte bulunur. Nadiren talk içinde limonitlerle birlikte saçılmış halde de izlenmektedir. Özşekilsiz, çoğunlukla tabular yapıdadır. Nadiren ışınsal ve botryoidal türde oluşumlarıda gözlenmiştir. Tane boyutu 0.01-0.05 mm arasında değişir. Nadiren 0.1 mm'nin üzerine çıkmaktadır. Birkaç tanede 0.3 mm boyutuna da rastlanılmıştır.

Manyetit; hematitle yan yana ya da tek tane halindedir. Hematit gibi ince tanelenmiştir. Tane boyutu 0.01-0.03 mm aralığındadır. Açık gri, kahverengimsi boyalı beyaz renklerde, çoğunlukla tek tane halindedir. Büyük çoğunlukla özşekilsiz olmakla birlikte, nadiren özşekilli kristaller halinde de bulunmaktadır. Varlığı limonitik seviyeler ile sınırlıdır. Nadiren hematitle kontaktadır. İncelenen örnekteki içeriği hematitten azdır ve esas olarak birkaç tane ile sınırlıdır.

Sonuç olarak; örnekler esas olarak ince tanelenmiş talktan oluşmaktadır. Bolluk sırasına göre bu minerali limonit takip etmektedir. Bunlara daha düşük oranda hematit ve manyetit eşlik etmektedir. Demir oksit ve hidroksit mineralleri daha çok talkın kenarlarında topluluklar halinde bulunmaktadır. Daha az oranda ikincil çatlakları ve talk düzlemlerinin arasındaki boşlukları doldurmuşlardır. Hematit ve manyetitler çoğunlukla 50 mikronun altında bir tane boyutuna sahiptir.

#### 4.2.1.2. X-Işını difraksiyon (XRD) tekniği ile faz analizi

X-ışını difraksiyon (XRD) tekniği, herhangi bir numunede var olan kristalin tozların belirlenmesinde kullanılan en etkin tekniklerden biridir. Verilen herhangi bir madde bir X-ışığı kaynağı tarafından radyasyona maruz bırakıldığı zaman karakteristik bir difraksiyon paterni üretir. Herhangi bir paternden seri halinde elde edilen çizgilerin açısal değerleri (2θ) ve bu çizgilerin izahi şiddet değerleri ile tanımlanır. Çizgilerin açısal değerleri kullanılan X-ışını kaynağının dalga boyuna (λ) bağlıdır. Alternatif olarak latis düzlemleri arasındaki mesafeyi (d) mesafesi olarak düşünmek mümkündür (Uçar, 2008). θ, d ve λ arasındaki ilişki Bragg eşitliği olarak bilinir ve aşağıda bu eşitlik denklem halinde sunulmuştur:

Bu denklemde:

$$n\lambda = 2d \sin \theta \qquad \textbf{(4.1)}$$

θ = gelen dalga boyu ile normal arasındaki açı

λ = X ışınlarının dalga boyu

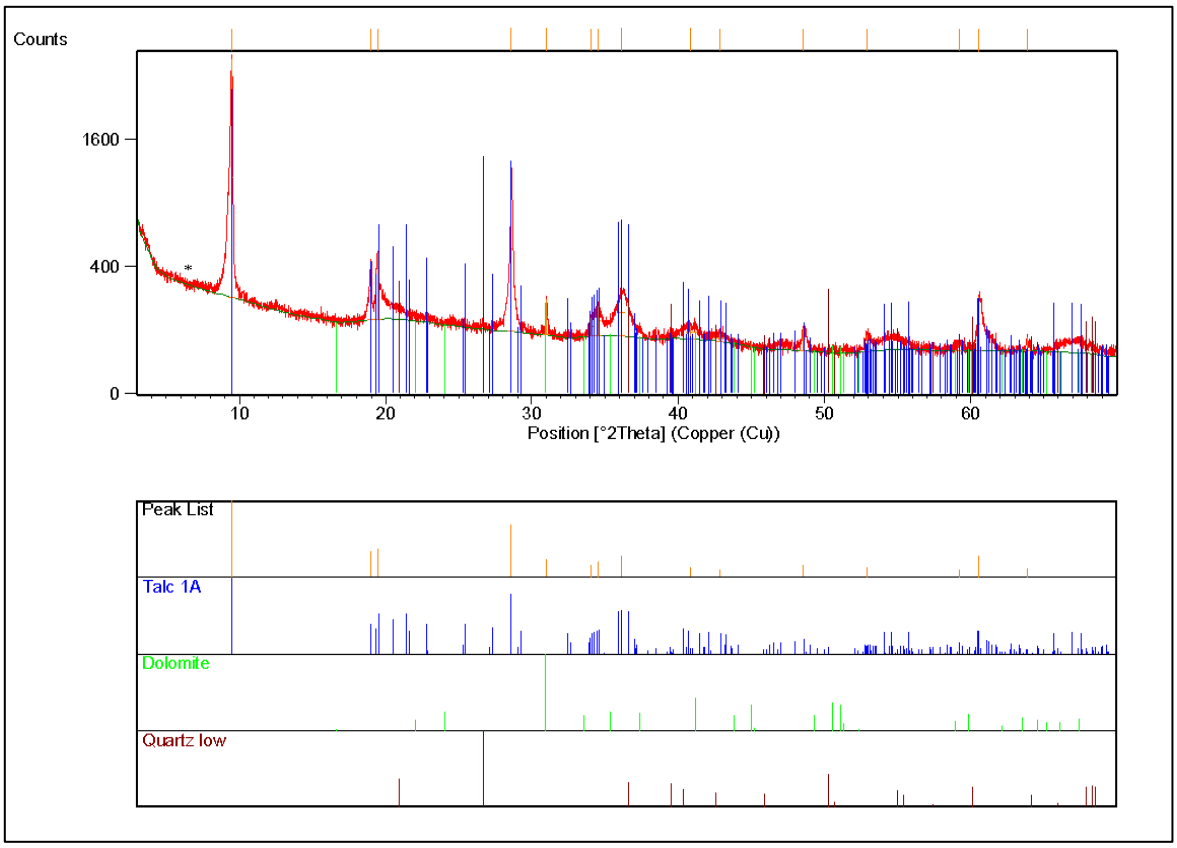
d = Kristal düzlemleri arasındaki mesafe

Bu çalışmada numunelerin faz analizleri Şekil 4.9' da gösterilen Eczacıbaşı ESAN Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A.Ş. Teknik Hizmetler Direktörlüğü Laboratuvarlarında bulunan X'Celerator dedektörlü Panalytical X'Pert Pro X-Ray Diffractometry™ cihazı kullanılarak, 5 ile 70° açı arasında 0.008 adım hızı ile çekimleri tamamlanmıştır. Cihazın resmi Şekil 4.10'da verilmiştir.




**Şekil 4.10 :** Panalytical X'Pert Pro X-Ray Diffractometry cihazı.

Talk atığı numunesine herhangi bir ön işlem veya zenginleştirme işlemi uygulanmadan çekilen X-Işını difraktometresi Şekil 4.11'de verilmiştir.




**Şekil 4.11 :** Talk atığı orjinal numune X-Işını Difraktometresi (XRD).

Şekil 4.11'de verilen X-Işını Difraktometresi'ne göre orjinal atık talk numunesinde ağırlıklı olarak talk ve safsızlık olarak ise dolomit ve kuvars görülmektedir. Ayrıca yapılan XRD paterninde 2 Theta'nın 10 dereceden düşük olduğu bölümde safsızlık olarak kil grubu minerallerin olduğu gözlemlenmiştir.

### 4.2.2. Malzemenin kimyasal yapısı

Talk atığının kimyasal yapısının anlaşılabilmesi için kantitatif kimyasal analiz gerçekleştirilmiştir.

#### 4.2.2.1. X-Işını floresans spektrometre (XRF) tekniği ile kimyasal analiz

Bu çalışmada numunelerin tüm kimyasal analizleri Şekil 4.12'de gösterilen Eczacıbaşı ESAN Endüstriyel Hammaddeler San. Tic. A.Ş. Teknik Hizmetler Direktörlüğü

Laboratuvarlarında bulunan Panalytical Axios X-Işını Fluoresans Spektrometre cihazı kullanılarak tamamlanmıştır.



**Şekil 4.12 :** Panalytical Axios X-Işını Fluoresans Spektrometre cihazı (XRF).

Uygulanan kimyasal analiz metodu TÜRKAK tarafından ISO 17025 standardına göre akredite edilmiştir. Numunenin XRF cihazında yapılan kimyasal analizi Çizelge 4.1'de verilmektedir.

**Çizelge 4.1 :** Talk atık numunesinin komple kimyasal analiz sonuçları.

| Analiz | (%) |
|---|---|
| $SiO_2$ | 61.40 |
| $Al_2O_3$ | 0.31 |
| $Fe_2O_3$ | 0.83 |
| CaO | 0.56 |
| MgO | 31.20 |
| $Na_2O$ | 0.03 |
| $K_2O$ | 0.03 |
| $TiO_2$ | 0.30 |
| KK | 5.60 |
| Toplam | 100.00 |

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi, komple kimyasal analiz sonucuna göre atık talk numunesi %61.40 $SiO_2$ ve %31.20 MgO içermektedir. $Fe_2O_3$ içeriği ise %0.83'tür.

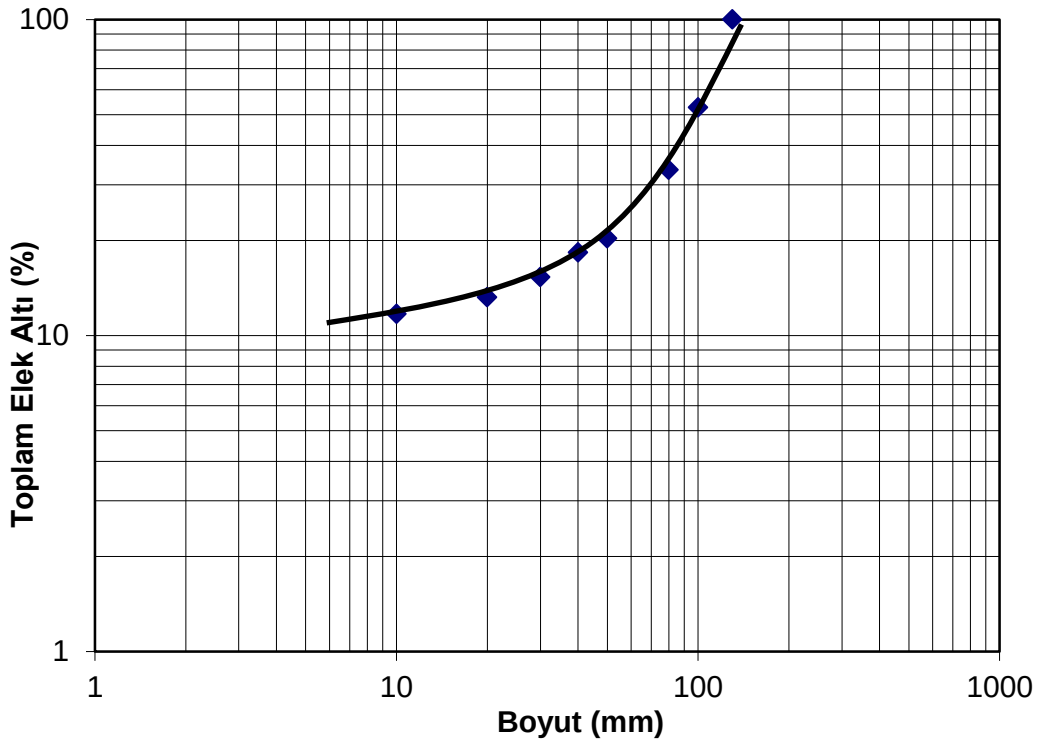
### 4.2.3. Malzemenin fiziksel yapısı

#### 4.2.3.1. Elek analizi

Sivas-Gürlevik Bölgesi'ne ait atık talk numunesine yaş elek analizi uygulanmıştır. Elek analizi; boyut dağılımını görebilmek için toplam 2 kg numuneden yapılmıştır. Çizelge 4.2'de yaş elek analizi sonuçları ve Şekil 4.13'de ise de bu analizin sonucunda çıkan toplam elek altı eğrisi gösterilmiştir.

**Çizelge 4.2 :** Atık talk numunesine uygulanan yaş elek analizi.

| Boyut | Miktar % | Kümülatif Elek Altı% |
|---|---|---|
| -13 +10 cm | 58.8 | 100.0 |
| -10 +8 cm | 19.3 | 52.7 |
| -8 +5 cm | 13.1 | 33.4 |
| -5 +4 cm | 2.0 | 20.3 |
| -4 +3 cm | 3.0 | 18.3 |
| -3 +2 cm | 2.1 | 15.3 |
| -2 +1 cm | 1.5 | 13.2 |
| -1 cm | 0.2 | 11.7 |
| | 100.0 | |




**Şekil 4.13 :** Yaş eleme sonucuna göre toplam elekaltı eğrisi.

#### 4.2.3.2. Renk ölçüm analizi

Talk atığının fiziksel yapısı açısından en önemli özelliklerinden biri olan renk özelliği için Eczacıbaşı ESAN Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş.'ye ait Konica Minolta CM 3610d cihazı ile tüm renk ölçüm analizleri gerçekleştirilmiştir. Cihazın resmi Şekil 4.14'te verilmiştir.



**Şekil 4.14 :** Konica Minolta CM 3610d cihazı.

Atık talk numunesinin renk ölçüm değerleri ise aşağıdaki Çizelge 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3 :** Atık talk numunesinin renk analizi sonuçları.

| | L*(D65) | a*(D65) | b*(D65) | WI(CIE) |
|---|---|---|---|---|
| ORJİNAL NUMUNE | 81.66 | 6.33 | 6.07 | 29.02 |

L ekseni, L=100 için beyaz ve L=0 için siyah arasındaki renkleri, a ekseni -a için yeşil ile +a kırmızı arasındaki renkleri ve b ekseni ise -b için mavi ile +b için sarı arasındaki renkleri göstermektedir. WI değeri ise Whiteness Index olarak tanımlanan ve beyazlık için önemli olan değerdir. Boya sektörü gibi beyazlık değerinin önemli olduğu bir sektörde WI değerinin özellikle %80 değerinde ve üzerinde olması beklenir (www.seramikarastirma.com.tr).

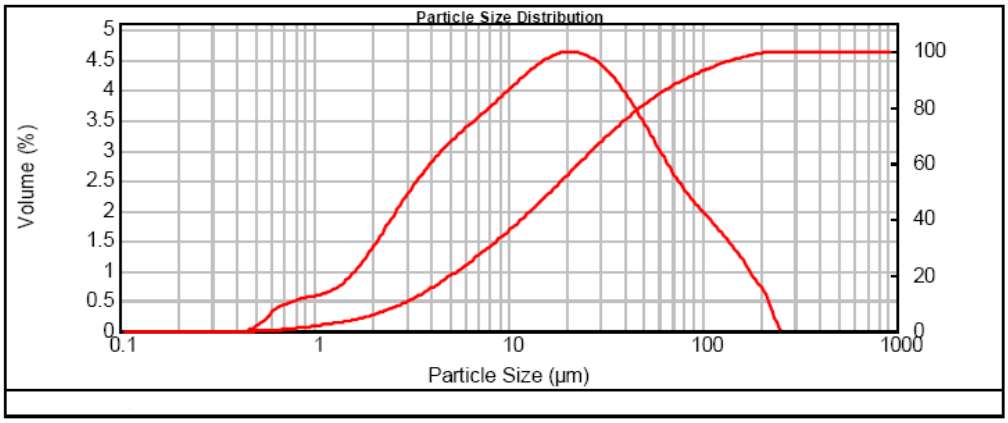
### 4.2.4. Atık talk numunesinin flotasyona hazırlanması

Sivas-Gürlevik Bölgesi'nden gelen atık talk numunesini, flotasyon deneylerine hazır hale getirmek için boyut küçültme işlemleri uygulanmıştır. Malzeme çeneli kırıcı da boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur. Daha sonra malzeme seramik bilyalı değirmende yaş olarak öğütülmüştür. Seramik bilyalı değirmende farklı sürelerde öğütülen numuneler flotasyon için istenilen boyutlara getirilmiştir. Eczacıbaşı ESAN Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş.'ye ait MMS marka seramik bilyalı değirmen resmi Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.16 ve 4.17'de ise Mastersizer cihazında

yapılan tane iriliği dağılım analizleri verilmiştir. 106 mikron altı olan boyut analizinde numunenin %94'ü 106 mikron altında iken, 63 mikron altı yapılan analizde ise numunenin %90'ı 63 mikron altındadır. Bu boyutlarda flotasyon yapılmıştır.

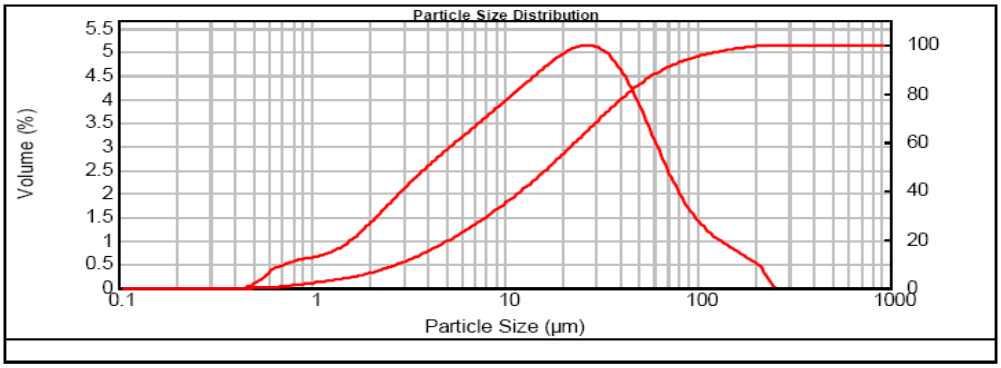


**Şekil 4.15 :** Seramik bilyalı değirmen.




| Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.010 | 0.00 | 7.500 | 28.56 | 40.000 | 75.66 | 90.000 | 91.69 | 210.000 | 99.64 | 800.000 | 100.00 |
| 0.050 | 0.00 | 10.000 | 35.72 | 45.000 | 78.61 | 100.000 | 93.11 | 250.000 | 100.00 | 900.000 | 100.00 |
| 0.100 | 0.00 | 15.000 | 46.99 | 50.000 | 81.08 | 105.000 | 93.73 | 300.000 | 100.00 | 950.000 | 100.00 |
| 0.500 | 0.02 | 20.000 | 55.60 | 52.000 | 81.95 | 125.000 | 95.75 | 350.000 | 100.00 | 1000.000 | 100.00 |
| 1.000 | 1.81 | 25.000 | 62.35 | 60.000 | 84.93 | 150.000 | 97.51 | 420.000 | 100.00 | | |
| 2.000 | 5.71 | 30.000 | 67.73 | 63.000 | 85.87 | 170.000 | 98.49 | 600.000 | 100.00 | | |
| 2.700 | 9.04 | 32.000 | 69.59 | 74.000 | 88.71 | 180.000 | 98.86 | 700.000 | 100.00 | | |
| 5.000 | 19.59 | 38.000 | 74.31 | 80.000 | 89.95 | 200.000 | 99.42 | 750.000 | 100.00 | | |

**Şekil 4.16 :** 106 mikron altı tane iriliği dağılım analizi.




| Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % | Size (µm) | Vol Under % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.010 | 0.00 | 7.500 | 27.59 | 40.000 | 77.61 | 90.000 | 94.27 | 210.000 | 99.73 | 800.000 | 100.00 |
| 0.050 | 0.00 | 10.000 | 34.60 | 45.000 | 81.04 | 100.000 | 95.34 | 250.000 | 100.00 | 900.000 | 100.00 |
| 0.100 | 0.00 | 15.000 | 45.89 | 50.000 | 83.85 | 105.000 | 95.78 | 300.000 | 100.00 | 950.000 | 100.00 |
| 0.500 | 0.02 | 20.000 | 54.85 | 52.000 | 84.83 | 125.000 | 97.14 | 350.000 | 100.00 | 1000.000 | 100.00 |
| 1.000 | 2.00 | 25.000 | 62.23 | 60.000 | 88.03 | 150.000 | 98.27 | 420.000 | 100.00 | | |
| 2.000 | 6.11 | 30.000 | 68.36 | 63.000 | 89.00 | 170.000 | 98.91 | 600.000 | 100.00 | | |
| 2.700 | 9.29 | 32.000 | 70.50 | 74.000 | 91.74 | 180.000 | 99.17 | 700.000 | 100.00 | | |
| 5.000 | 19.07 | 38.000 | 76.04 | 80.000 | 92.84 | 200.000 | 99.56 | 750.000 | 100.00 | | |

**Şekil 4.17 :** 63 mikron altı tane iriliği dağılım analizi.

## 4.3. Kullanılan Reaktifler ve Özellikleri

### 4.3.1. Köpürtücüler

Hava kabarcıklarının oluşumu ve mineralin bu kabarcıklara yapışması flotasyonun ana proseslerinden biridir. Köpük oluşumu fiziko-kimyasal bir prosestir ve faz sınır değerlerindeki yüzey gerilim düzenlemesini esas alır. Eğer kabarcıklar çok dayanıksız olursa, suyla temas ettiği anda patlar. Hava kabarcığının en önemli görevi, kendisine yapışan mineral tanesini yüzeye kadar taşımaktır ve bu yüzden de dayanıklı olmalıdır (Troizki, 1956).

Hava kabarcığına yapışan ilk başta yapışan mineral tanesi, kabarcık sayesinde yükselerek ve tüm flotasyon hücresini geçerek köpüğün en üst seviyeye ulaşmalıdır. Ancak böyle olduğu takdirde doğru flotasyon yapılmış olur (Laskowski ve Woodburn, 1998).

Talk flotasyonu için köpürtücü olarak MIBC, Dowfroth 250 ve Butil Glikol kullanılmış olup, 3 farklı konsantrasyonda (60 g/ton, 120 g/ton ve 180 g/ton) talkın flotasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir.

#### 4.3.1.1. MIBC

MIBC (methyl isobutly carbinol), molekül formülü $C_6H_{14}O$, kimyasal bileşimi $(CH_3)_2CHCH_2CHOHCH_3$ olan, renksiz, berrak ve çevreye herhangi bir kirletme etkisi olmayan köpürtücü reaktiftir. MIBC, alifatik alkoller sınıfına girmektedir (Bulatovic, 2005). Molekül ağırlığı 102.2 g/mol'dür. MIBC köpürtücüsüne ait bazı özellikler Çizelge 4.4'te verilmiştir (www.monumentchemical.com). Talk numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde MIBC reaktifi 60, 120 ve 180 g/ton konsantrasyonlarda kullanılmıştır ve çeşitli pH değerlerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır.

**Çizelge 4.4 :** MIBC fiziksel ve kimyasal özellikleri.

| | |
|---|---|
| Molekül Formül | $C_6H_{14}O$ |
| Molekül Ağırlık | 102.2 g/mol |
| Yoğunluk | 0.81 g/cm³ |
| Kaynama Noktası | 131.7 ºC |
| Donma Noktası | -90ºC |
| Yüzey Gerilimi (20ºC) | 23 mN/m |

#### 4.3.1.2. Dowfroth 250

Kimyasal bileşimi $CH_3 – (O – C_3H_6)_n – OH$, molekül ağırlığı 250 g/mol olan bir köpürtücü cinsidir (Çilek, 2006). Talk numunesi ile yapılan flotasyon deneylerinde Dowfroth 250 reaktifi 60 g/ton konsantrasyonunda kullanılmıştır ve pH:5 değerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır.

#### 4.3.1.3. Butil Glikol

Butil Glikol molekül formülü $C_6H_{14}O_2$ ve kimyasal bileşimi ise $CH_3(CH_2)_3O(CH_2)_2OH$ olan bir reaktiftir. Butil Glikol reaktifi 60 g/ton konsantrasyonunda kullanılarak ve pH:5 değerinde flotasyon deneyleri yapılmıştır. Butil Glikol reaktifine ait bazı özellikler Çizelge 4.5'te verilmiştir (www.basf.de).

**Çizelge 4.5 :** Butil Glikol fiziksel ve kimyasal özellikleri.

| | |
|---|---|
| Molekül Formül | $C_6H_{14}O_2$ |
| Molekül Ağırlık | 118.18 g/mol |
| Yoğunluk | 0.90 g/cm³ |
| Kaynama Noktası | 170 ºC |
| Donma Noktası | -70.4 ºC |
| Yüzey Gerilimi (20ºC) | 27.8 mN/m |
| Viskozite (20ºC) | 3.3 mPascal |

### 4.3.2. Bastırıcılar

#### 4.3.2.1. Sodyum silikat

Sodyum silikat, endüstride "Cam Suyu" adıyla da bilinmektedir. Genellikle şeffaf olan bu ürün, flotasyon deneylerinde optimum sonuç almak için sıvı olarak kullanılır (www.sodyumsilikat.com). Sodyum silikat özellikle sülfit içermeyen minerallerin flotasyonunda karbonat minerallerini bastırmak amacıyla kullanılır. Bu çalışma kapsamında da talkla beraber bulunan kuvars mineralini bastırmak için kullanılmıştır. Sodyum silikat pH'a duyarlıdır ve genellikle dar bir pH aralığında etkilidir (Rao, 2004).

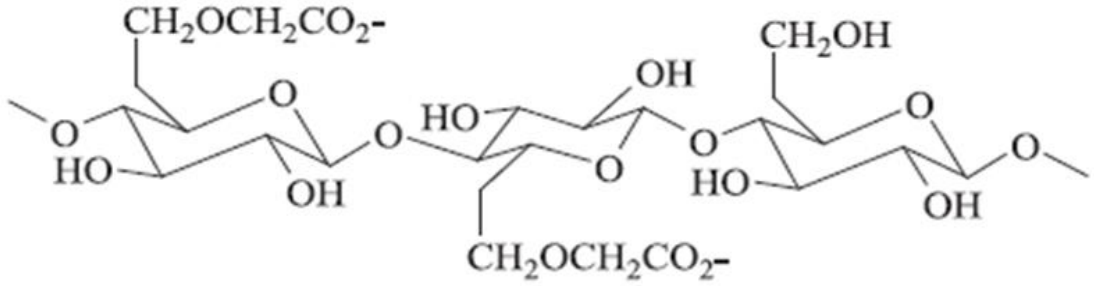
#### 4.3.2.2. Lignosülfonat

Lignosülfonatlar, ağaçların selüloz kısımlarından üretilen güçlü anyonik polielektrolitlerdir. Bu çalışma kapsamında ise ters flotasyon esnasında talkı bastırmak için kullanılmıştır.

Lignosülfonatların yapısı tam anlamıyla belirlenmese de yağlı, kokulu, sülfatlı, karboksilli ve su içeren bir yapıya sahip olduğu bilinir. Kalsiyum, sodyum, potasyum ve amonyum tuzları lignosülfonatları oluştururlar (Ma ve Pawlik, 2007). Kalsiyum lignosülfonatlar amorf yapılıdır ve yeşil – kahverengi taneler içerir.

#### 4.3.2.3. CMC

CMC (karboksi metil selüloz); selüloz, monokloroasetik asit ve sodyum hidroksit'den üretilen anyonik özellikli bir polisakkarittir (Mackenzie, 1980). Şekil 4.18'de CMC molekülünün yapısı şematik olarak gösterilmiştir. En önemli özelliği yer değiştirme derecesidir. CMC'nin yer değiştirme özelliği hem çözünürlüğünü hem de çözelti karakteristiklerini etkiler. Bu çalışma kapsamında ise ters flotasyon esnasında talkı bastırmak için kullanılmıştır.




**Şekil 4.18 :** CMC molekülünün yapısı (Khraisheh ve diğ., 2004).

## 4.4. Flotasyon Deneylerinin Sonuçları

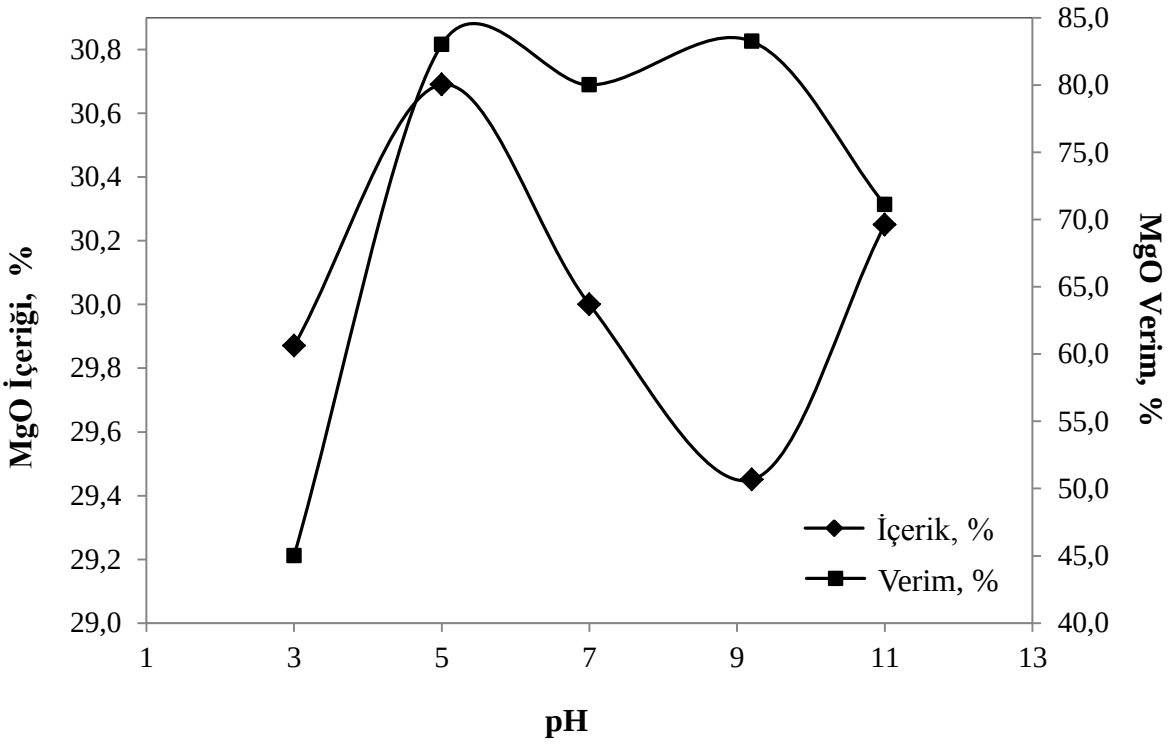
### 4.4.1. Atık talk numunesinin pH'a bağlı flotasyon davranışı

Sivas-Gürlevik Bölgesi'nden gelen atık talk numunesi üzerinde yapılan flotasyon deneylerinde optimum köpürtücü ve bastırıcı miktarları farklı pH'lara bağlı olarak denenmiştir. İlk olarak, atık talk numunesine tek kademede elektronik pipet yardımıyla 60 g/ton MIBC ve 500 g/ton $Na_2SiO_3$ eklenerek doğal pH değerinde flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Atık talk numunesinin doğal pH'sı 9,20 civarındadır. $H_2SO_4$ ve NaOH numunelerin pH değerini değiştirmek için kullanılmıştır. pH'nın talk flotasyonu üzerindeki etkisi bütün şartlar sabit tutularak incelenmiştir. Çizelge 4.6'da atık talk numunesinin pH değişiminin flotasyona olan etkileri gösterilmiştir. Şekil 4.19'da pH'ya bağlı flotasyon değişimi grafik üzerinde verilmiştir.

**Çizelge 4.6 :** Farklı pH değerlerinin atık talk flotasyonu üzerine etkisi

| pH | Ürünler | Miktar (%) | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| 3 | Yüzen | 45,5 | 29,9 | 45,0 | 62,9 | 46,2 | 0,7 | 34,4 |
| | Batan | 54,5 | 30,4 | 55,0 | 61,0 | 53,8 | 1,2 | 65,6 |
| | Toplam | 100,0 | 30,18 | 100,0 | 61,86 | 100,0 | 0,96 | 100,0 |
| 5 | Yüzen | 81,8 | 30,7 | 83,0 | 61,8 | 83,0 | 0,8 | 74,4 |
| | Batan | 18,2 | 29,8 | 17,0 | 60,1 | 17,0 | 1,3 | 25,6 |
| | Toplam | 100,0 | 30,52 | 100,0 | 61,50 | 100,0 | 0,87 | 100,0 |
| 7 | Yüzen | 79,9 | 30,0 | 80,0 | 63,8 | 80,6 | 0,8 | 73,6 |
| | Batan | 20,1 | 29,9 | 20,0 | 60,8 | 19,4 | 1,1 | 26,4 |
| | Toplam | 100,0 | 30,02 | 100,0 | 63,20 | 100,0 | 0,87 | 100,0 |
| 9,2 | Yüzen | 82,6 | 29,5 | 83,2 | 61,3 | 82,5 | 0,7 | 74,8 |
| | Batan | 17,4 | 28,1 | 16,8 | 61,7 | 17,5 | 1,1 | 25,2 |
| | Toplam | 100,0 | 29,21 | 100,0 | 61,36 | 100,0 | 0,76 | 100,0 |
| 11 | Yüzen | 71,1 | 30,3 | 71,1 | 62,3 | 71,8 | 0,8 | 59,8 |
| | Batan | 28,9 | 30,3 | 28,9 | 60,1 | 28,2 | 1,2 | 40,2 |
| | Toplam | 100,0 | 30,25 | 100,0 | 61,60 | 100,0 | 0,89 | 100,0 |

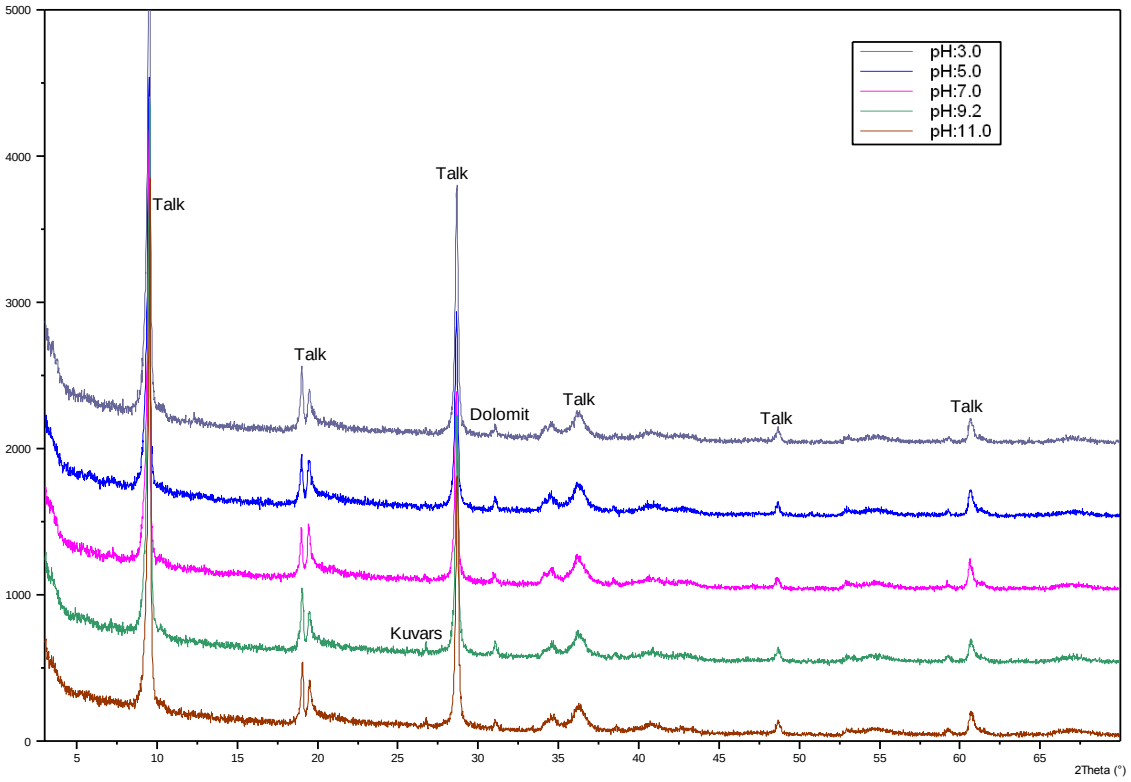



**Şekil 4.19 :** Farklı pH değerlerinin talk flotasyonuna olan etkisi.

pH'ın etkisinin incelendiği deneylerde MgO açısından en iyi sonuç pH:5 ve cevherin doğal pH'sı olan 9.2 değerlerinde elde edilmektedir. $Fe_2O_3$ açısından sonuçlar

irdelendiğinde, pH:5'te demirin biraz daha iyi basıldığı görülmektedir. $Fe_2O_3$ içeriği pH:5'te % 1.05 değerinden % 0.8 değerine düşmektedir.

pH'ın etkisinin incelendiği deney numunelerini ayrıca XRD analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 4.20'de verilmiştir. Şekilde gözüken XRD paternine göre doğal pH'da (pH:9.2) kuvars piki safsızlık olarak görülmektedir. pH'ın değişmesine bağlı olarak, safsızlık olarak bulunan kuvars uzaklaştırılmıştır. pH değişimleri ile beraber XRD paternlerinde büyük bir değişiklik gözlemlenmemektedir. Bunun da sebebi kimyasal analizlerin de gösterdiği gibi eser miktardaki safsızlık değişimleridir.




**Şekil 4.20 :** pH deneyleri numunelerinin X-Işını Difraktometresi (XRD).

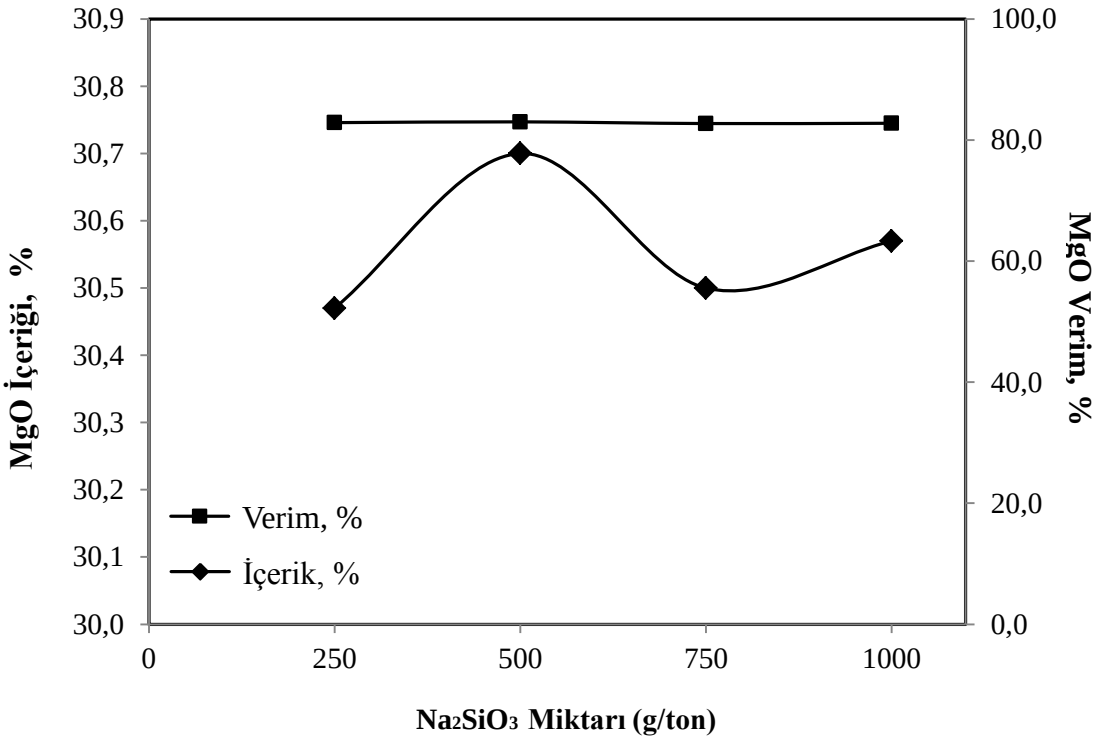
### 4.4.2. Atık talk numunesinin sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) miktarına bağlı flotasyon davranışı

Sivas-Gürlevik Bölgesi'nden gelen atık talk numunesi üzerinde yapılan flotasyon deneylerinde optimum köpürtücü ve pH seviyesi farklı sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) miktarına bağlı olarak denenmiştir. Atık talk numunesine 60 g/ton MIBC eklenerek pH:5 değerinde flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.7'de sodyum silikat konsantrasyon değişiminin atık talk numunesinin flotasyonuna olan etkileri gösterilmiştir. Şekil 4.21'de de bu değişim grafik üzerinde verilmiştir.

**Çizelge 4.7 :** Farklı sodyum silikat miktarlarının atık talk flotasyonu üzerine etkisi.

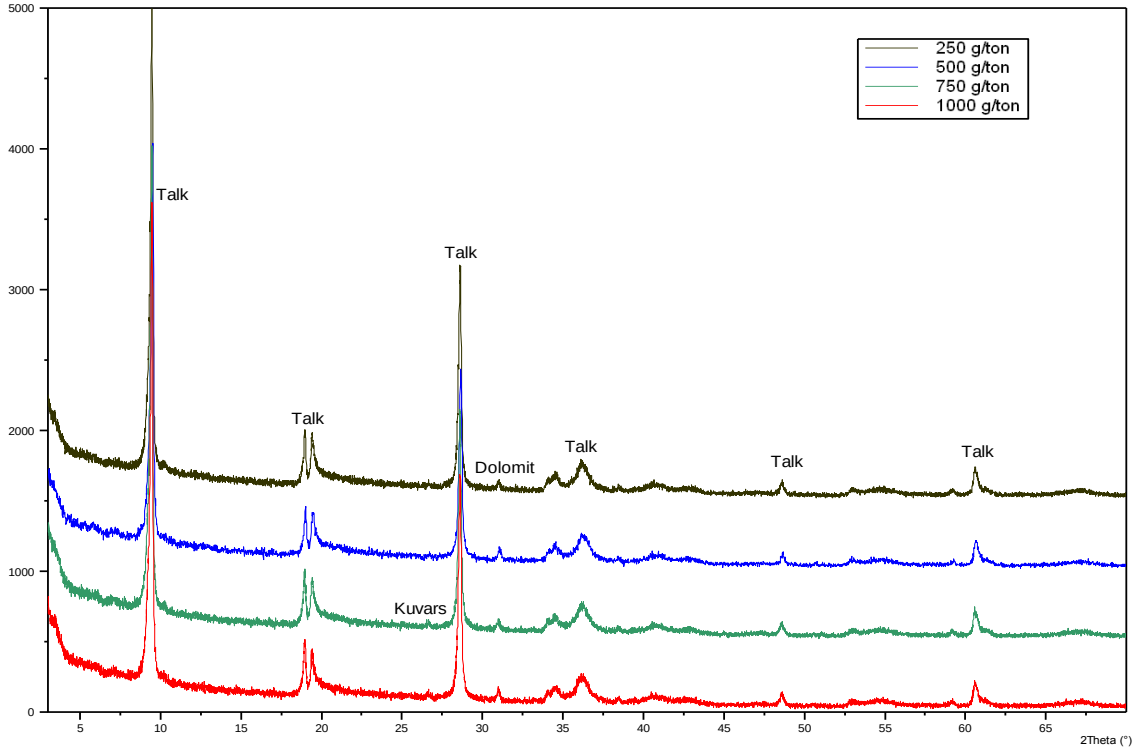
| $Na_2SiO_3$ Miktarı (gr/ton) | Ürünler | Miktar (%) | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| 250 | Yüzen | 82,6 | 30,5 | 82,9 | 62,5 | 83,0 | 0,7 | 74,1 |
| | Batan | 17,4 | 29,8 | 17,1 | 60,7 | 17,0 | 1,2 | 25,9 |
| | Toplam | 100,0 | 30,36 | 100,0 | 62,15 | 100,0 | 0,80 | 100,0 |
| 500 | Yüzen | 81,8 | 30,7 | 83,0 | 61,8 | 83,0 | 0,8 | 74,4 |
| | Batan | 18,2 | 29,8 | 17,0 | 60,1 | 17,0 | 1,3 | 25,6 |
| | Toplam | 100,0 | 30,53 | 100,0 | 61,50 | 100,0 | 0,87 | 100,0 |
| 750 | Yüzen | 82,6 | 30,5 | 82,7 | 62,3 | 83,0 | 0,8 | 76,1 |
| | Batan | 17,4 | 30,2 | 17,3 | 60,6 | 17,0 | 1,2 | 23,9 |
| | Toplam | 100,0 | 30,44 | 100,0 | 61,95 | 100,0 | 0,85 | 100,0 |
| 1000 | Yüzen | 82,6 | 30,6 | 82,8 | 62,1 | 82,8 | 0,8 | 78,7 |
| | Batan | 17,4 | 30,2 | 17,2 | 61,2 | 17,2 | 1,0 | 21,3 |
| | Toplam | 100,0 | 30,50 | 100,0 | 61,94 | 100,0 | 0,81 | 100,0 |




**Şekil 4.21 :** Farklı sodyum silikat konsantrasyonlarının atık talk flotasyonuna olan etkisi

Sodyum silikat miktarının incelendiği deneylerde MgO açısından en iyi sonuç 500 g/ton konsantrasyonunda elde edilmektedir. Bundan sonraki deneylerde pH:5 değeri ve 500 g/ton $Na_2SiO_3$ konsantrasyonu sabit tutulmuştur.

Sodyum silikat miktarının incelendiği deney numunelerine ayrıca XRD analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 4.22'de verilmiştir.




**Şekil 4.22 :** Sodyum silikat deneyleri numunelerinin X-Işını Difraktometresi (XRD).

Şekilde gözüken XRD paternine göre düşük miktarda sodyum silikat eklendiğinde safsızlık olarak bulunan kuvars uzaklaştırılmıştır. Sodyum silikat miktarının 750 ve 1000 g/ton olarak eklendiği deneylerde, kuvarsın uzaklaştırılamadığı XRD paterninde görülmektedir. Diğer piklerde büyük bir değişiklik gözlemlenmemektedir. Bunun da sebebi kimyasal analizlerin de gösterdiği gibi eser miktardaki safsızlık değişimleridir.

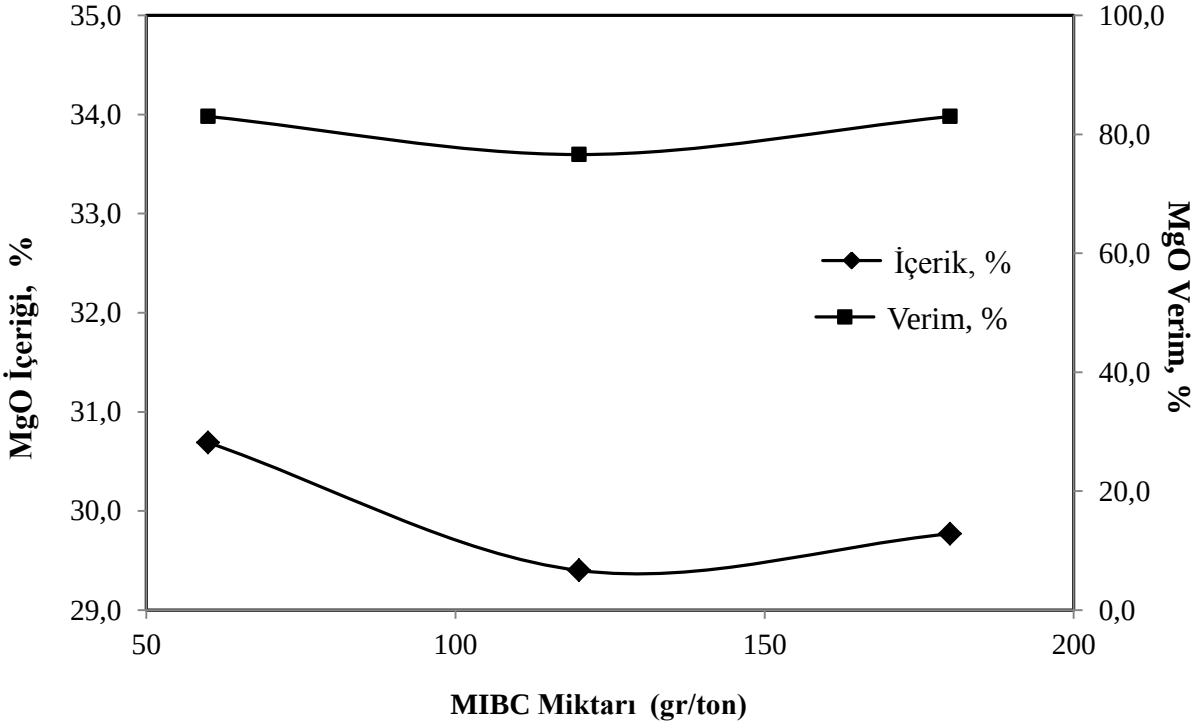
### 4.4.3. Atık talk numunesinin köpürtücü MIBC miktarına bağlı flotasyon davranışı

Sivas-Gürlevik Bölgesi'nden gelen atık talk numunesi üzerinde yapılan flotasyon deneylerinde optimum pH seviyesinde ve optimum sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) konsantrsayonu sabit tutularak köpürtücü olarak kullanılan MIBC konsantrasyonları değişikliği incelenmiştir. Atık talk numunesine sırasıyla 60 g/ton, 120 g/ton ve 180 g/ton MIBC eklenerek pH:5 seviyesinde ve 500 g/ton sodyum silikat ($Na_2SiO_3$)

eklenerek flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.8'de atık talk numunesine uygulanan köpürtücü MIBC konsantrasyon değişiminin flotasyona olan etkileri gösterilmiştir. Şekil 4.23'te de bu değişim grafik üzerinde verilmiştir.

**Çizelge 4.8 :** Farklı MIBC konsantrasyonlarının atık talk flotasyonu üzerine etkisi

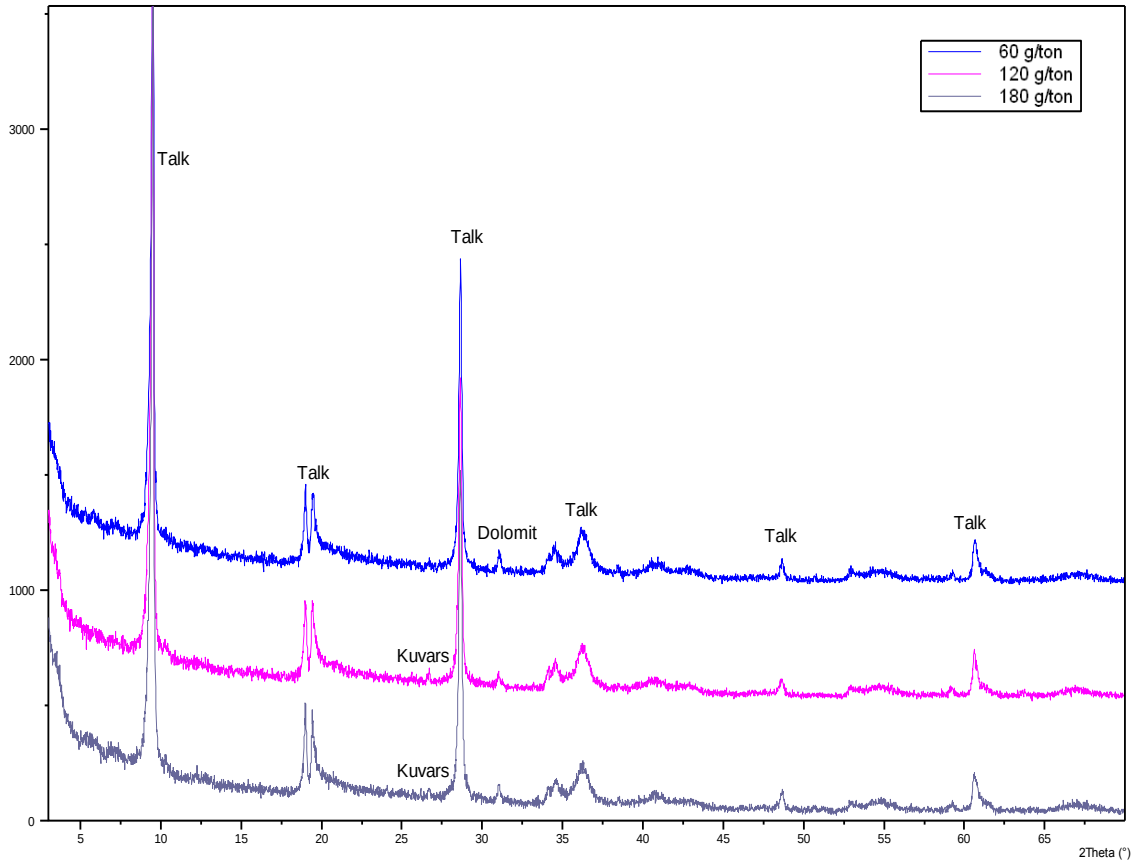
| MIBC Miktarı (gr/ton) | Ürünler | Miktar (%) | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| **60** | Yüzen | 81,8 | 30,7 | 83,0 | 61,8 | 83,0 | 0,8 | 74,4 |
| | Batan | 18,2 | 29,8 | 17,0 | 60,1 | 17,0 | 1,3 | 25,6 |
| | Toplam | 100,0 | 30,52 | 100,0 | 61,48 | 100,0 | 0,87 | 100,0 |
| **120** | Yüzen | 75,5 | 29,4 | 76,6 | 63,4 | 75,8 | 0,8 | 69,8 |
| | Batan | 24,5 | 27,8 | 23,4 | 62,6 | 24,20 | 1,0 | 30,2 |
| | Toplam | 100,0 | 29,11 | 100,0 | 63,19 | 100,0 | 0,82 | 100,0 |
| **180** | Yüzen | 83,0 | 29,8 | 83,0 | 62,8 | 83,6 | 0,8 | 74,1 |
| | Batan | 17,0 | 28,9 | 17,0 | 60,3 | 16,4 | 1,4 | 25,9 |
| | Toplam | 100,0 | 29,61 | 100,0 | 62,33 | 100,0 | 0,93 | 100,0 |




**Şekil 4.23 :** Farklı MIBC konsantrasyonlarının atık talk flotasyonuna olan etkisi

MIBC miktarının incelendiği deneylerde MgO açısından en iyi sonuç 60 g/ton konsantrasyon değerinde alınmıştır. MIBC miktarının incelendiği deney numunelerine ayrıca XRD analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 4.24'te verilmiştir. Şekilde gözüken XRD paternine göre düşük miktarda 60 g/ton MIBC eklendiğinde safsızlık olarak

bulunan kuvars uzaklaştırılmıştır. MIBC miktarının 120 ve 180 g/ton olarak eklendiği deneylerde, kuvarsın uzaklaştırılamadığı XRD paterninde görülmektedir. Diğer piklerde değişiklik gözlemlenmemesinin sebebi ise eser miktardaki safsızlık değişimleridir.



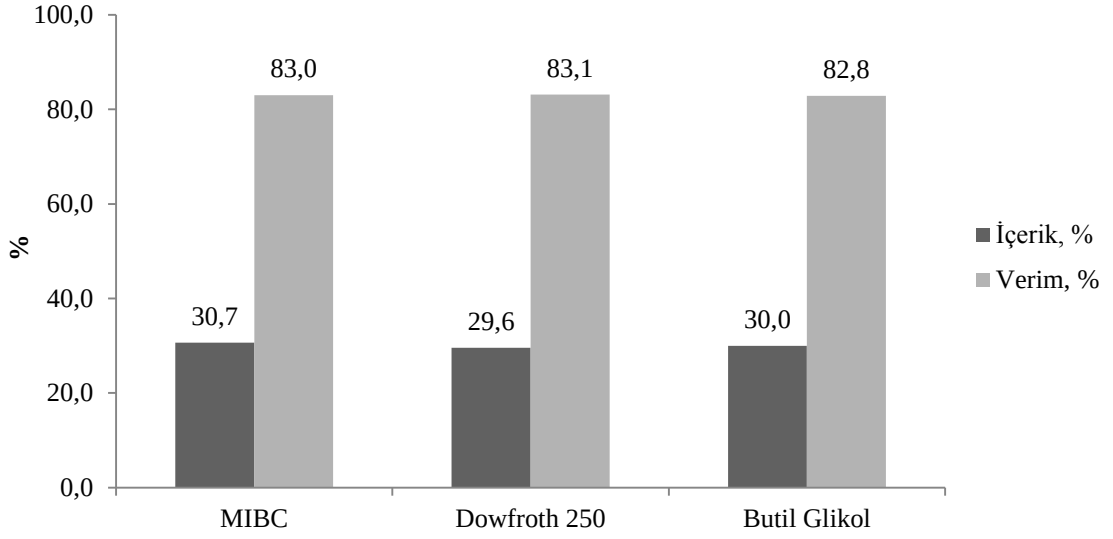

**Şekil 4.24 :** MIBC deneyleri numunelerinin X-Işını Difraktometresi (XRD).

### 4.4.4. Atık talk numunesinin farklı köpürtücülere bağlı flotasyon davranışı

Sivas-Gürlevik Bölgesi'nden gelen atık talk numunesi üzerinde yapılan flotasyon deneylerinde optimum pH seviyesinde ve optimum sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) konsantrasyonu sabit tutularak, aynı konsantrasyon değerlerinde farklı köpürtücüler kullanılarak flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Atık talk numunesine 60 g/ton konsantrasyonunda sırasıyla MIBC, Dowfroth 250 ve Butil Glikol eklenerek pH:5 değerinde ve 500 gr/ton sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) eklenerek flotasyon deneyleri yapılmıştır. Çizelge 4.9'da atık talk numunesine eklenen farklı köpürtücülerin flotasyona olan etkileri gösterilmiştir. Şekil 4.25'te bu değişim grafik üzerinde verilmiştir.

**Çizelge 4.9 :** Farklı köpürtücülerin atık talk flotasyonu üzerine etkisi

| 60 gr/ton | Ürünler | Miktar (%) | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| **MIBC** | Yüzen | 81,8 | 30,7 | 83,0 | 61,8 | 83,0 | 0,8 | 74,4 |
| | Batan | 18,2 | 29,8 | 17,0 | 60,1 | 17,0 | 1,3 | 25,6 |
| | Toplam | 100,0 | 30,52 | 100,0 | 61,48 | 100,0 | 0,87 | 100,0 |
| **Dowfroth 250** | Yüzen | 71,8 | 29,6 | 83,1 | 62,9 | 82,6 | 0,9 | 77,4 |
| | Batan | 28,2 | 28,5 | 16,9 | 62,6 | 17,4 | 1,2 | 22,6 |
| | Toplam | 100,0 | 29,41 | 100,0 | 62,80 | 100,0 | 0,92 | 100,0 |
| **Butil Glikol** | Yüzen | 75,2 | 30,0 | 82,8 | 63,1 | 83,0 | 0,8 | 75,1 |
| | Batan | 24,8 | 29,4 | 17,2 | 61,4 | 17,0 | 1,2 | 24,9 |
| | Toplam | 100,0 | 29,88 | 100,0 | 62,75 | 100,0 | 0,85 | 100,0 |




**Şekil 4.25 :** Farklı köpürtücülerin atık talk flotasyonuna olan etkisi

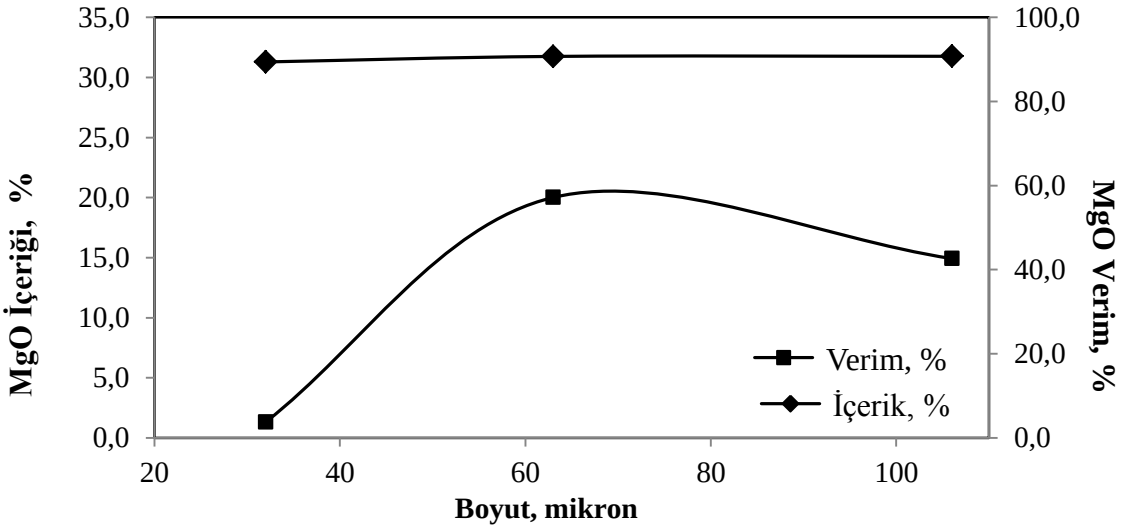
Köpürtücü cinsinin incelendiği deneylerde MgO açısından en iyi sonuç MIBC köpürtücüsüyle elde edilmiştir.

### 4.4.5. Atık talk numunesinin farklı tane boyutlarına bağlı flotasyon davranışı

Sivas-Gürlevik Bölgesi'nden gelen atık talk numunesi üzerinde yapılan flotasyon deneylerinde optimum pH değerinde, optimum köpürtücü ve sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) konsantrasyonu sabit tutularak, farklı tane boyutlarında flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Atık talk numunesi sırasıyla -32, -63 ve -106 mikron boyutuna indirilmiş, pH:5 değerinde ve 500 gr/ton sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) eklenerek flotasyon deneyleri yapılmıştır. Çizelge 4.10'da atık talk numunesinin farklı tane boyutlarında flotasyon deneyleri sonuçları gösterilmektedir. Şekil 4.26'da bu sonuçlar grafik üzerinde verilmiştir.

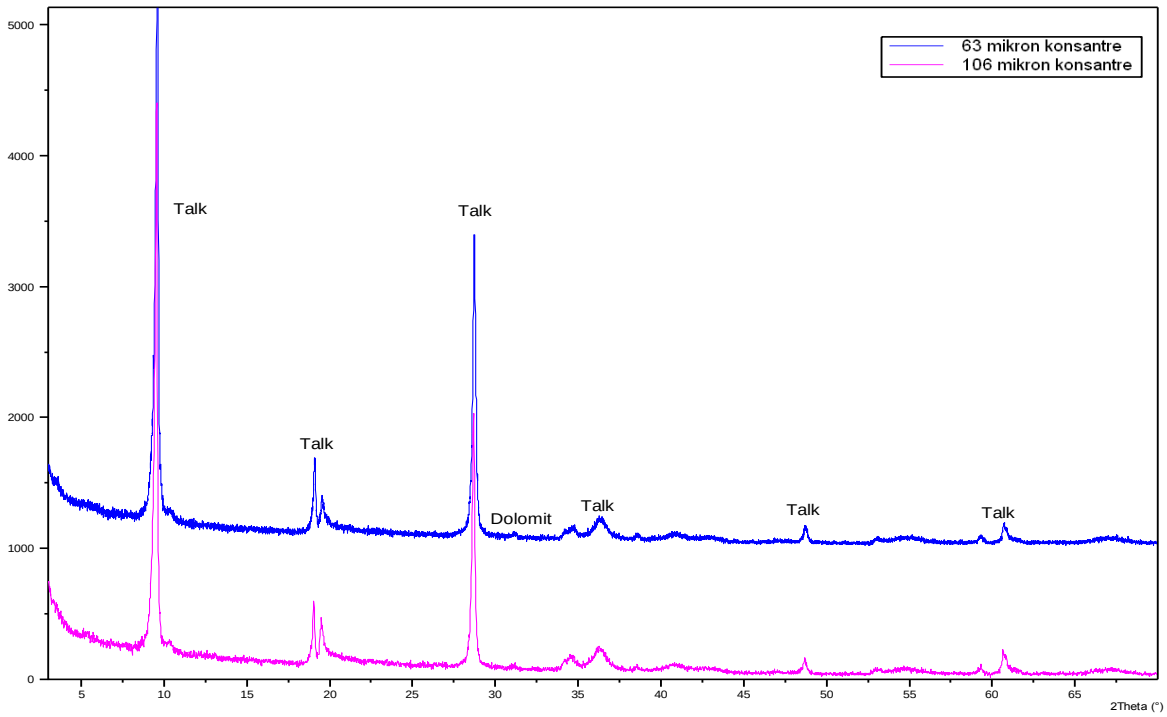
**Çizelge 4.10 :** Farklı tane boyutlarının atık talk flotasyonu üzerine etkisi.

| Boyut (Mikron) | Ürünler | Miktar (%) | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| 32 | Konsantre | 3,8 | 31,3 | 3,8 | 62,9 | 3,9 | 0,4 | 2,1 |
| | Ara Ürün | 6,5 | 31,9 | 6,6 | 61,2 | 6,6 | 0,7 | 5,6 |
| | Artık | 89,7 | 31,4 | 89,6 | 60,6 | 89,5 | 0,8 | 92,4 |
| | Toplam | 100,0 | 31,44 | 100,0 | 60,68 | 100,0 | 0,79 | 100,0 |
| 63 | Konsantre | 56,3 | 31,8 | 57,2 | 62,4 | 57,3 | 0,5 | 35,3 |
| | Ara Ürün-1 | 13,1 | 30,9 | 13,0 | 59,3 | 12,7 | 1,2 | 19,8 |
| | Ara Ürün-2 | 12,6 | 31,3 | 12,6 | 61,4 | 12,6 | 0,8 | 12,6 |
| | Artık | 18,0 | 30,1 | 17,3 | 59,1 | 17,4 | 1,4 | 32,3 |
| | Toplam | 100,0 | 31,27 | 100,0 | 61,22 | 100,0 | 0,78 | 100,0 |
| 106 | Konsantre | 41,8 | 31,8 | 42,6 | 62,8 | 42,7 | 0,5 | 23,0 |
| | Ara Ürün-1 | 33,2 | 30,4 | 32,4 | 61,1 | 33,0 | 1,0 | 39,3 |
| | Ara Ürün-2 | 11,2 | 31,6 | 11,4 | 61,7 | 11,3 | 0,7 | 9,1 |
| | Artık | 13,9 | 30,6 | 13,7 | 57,5 | 13,0 | 1,7 | 28,6 |
| | Toplam | 100,0 | 31,12 | 100,0 | 61,33 | 100,0 | 0,84 | 100,0 |




**Şekil 4.26 :** Farklı tane boyutlarının atık talk flotasyonuna olan etkisi

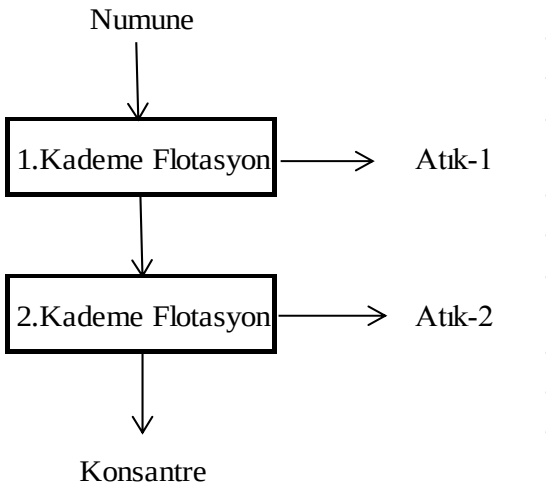
Şekilden de görüleceği gibi tane boyutunun küçülmesi verimi düşürmüş ve en iyi sonuç -63 mikron boyutunda elde edilmiştir. Bu deneylerde iki kademe temizleme de uygulanmıştır. Temizlemeler sonucunda konsantrelerdeki $Fe_2O_3$ içerikleri %0.4 ve 0.5'e kadar düşmektedir. Farklı tane boyutlarının incelendiği deney numunelerine ayrıca XRD analizi yapılmış ve sonuçları Şekil 4.27'de verilmiştir. Şekilde gözüken XRD paternine göre 63 ve 106 mikron numunelerinin pikleri aynı değerlerdedir. Mineralojik olarak fark gözlemlenmemesine rağmen kimyasal analiz sonuçları 63 mikron deneyinin daha verimli olduğunu göstermektedir.




**Şekil 4.27 :** Farklı tane boyutu deney numunelerinin X-Işını Difraktometresi (XRD).

### 4.4.6. Atık talk numunesinin ters flotasyon davranışı

Atık talk numunesinde demir içeriğini düşürmek üzere, demirin yüzdürülmesine yönelik olarak sabit konsantrasyonlarda R801/R825 sülfonat tipi kollektörler kullanularak deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde izlenilen yol akım şeması halinde Şekil 4.28'de verilmektedir. Deney koşulları ise Çizelge 4.11'de verilmektedir. Deneylerde iki farklı bastırıcı olarak lignosülfonat ve CMC kullanılmış ve iki farklı pH değerinde deneyler yapılmıştır.




**Şekil 4.28 :** Ters flotasyon akım şeması.

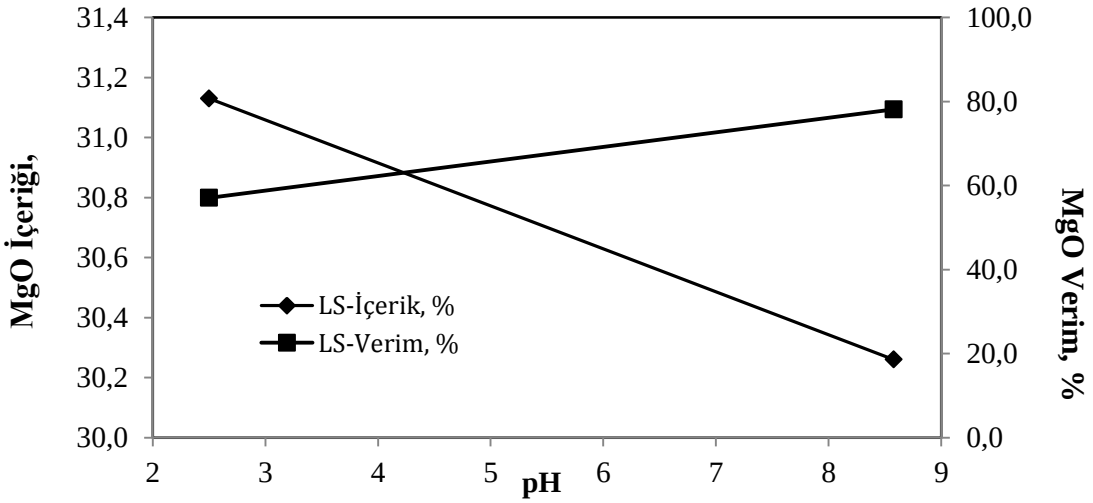
**Çizelge 4.11 :** Ters flotasyon deney koşulları.

| Lignosülfonat | CMC |
|---|---|
| pH=2.5 ve 8.58 | pH=2.5 ve 8.25 |
| Boyut: -63 mikron | Boyut: -63 mikron |
| Kollektör (iki kademe):<br>R801= 400 g/ton<br>R825= 250 g/ton | Kollektör (iki kademe):<br>R801= 400 g/ton<br>R825= 250 g/ton |
| Lignosülfonat (iki kademe): 250 g/ton | CMC (iki kademe): 250 g/ton |
| Kıvam süresi: 5dk | Kıvam süresi: 5dk |

Lignosülfonat ile yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 4.12'de, CMC ile yapılan deneylerin sonuçları ise Çizelge 4.13'te verilmektedir. Ayrıca Lignosülfonat ve CMC ile yapılan deneylerin sonuçları ise sırasıyla Şekil 4.29 ve 4.30'da verilmektedir.

**Çizelge 4.12 :** Lignosülfonat ile yapılan ters flotasyon sonuçları.

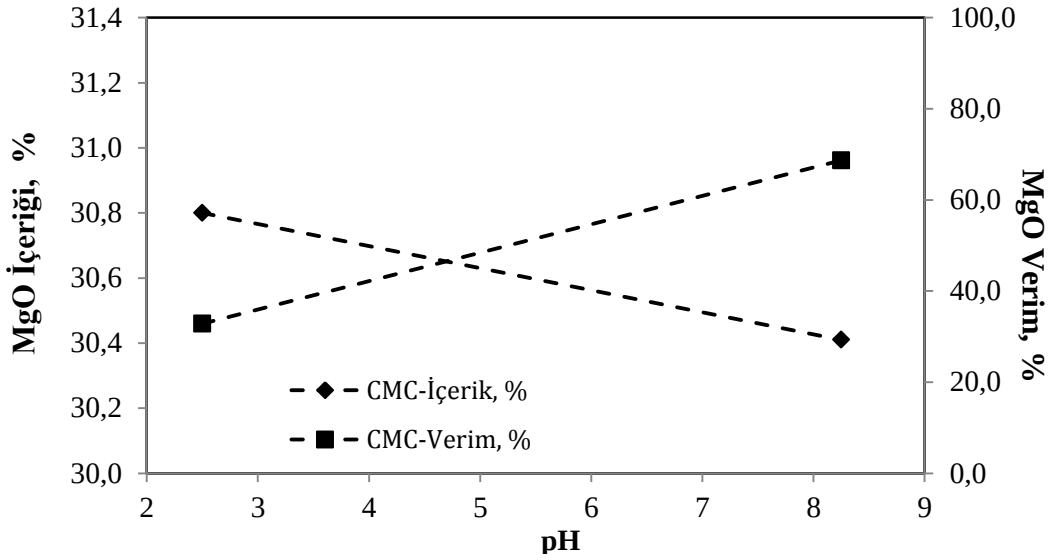
| Lignosülfonat | Ürünler | Miktar (%) | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| pH: 2,5 | Konsantre | 57,6 | 31,1 | 57,1 | 60,8 | 57,2 | 0,9 | 67,0 |
| | Atık-1 | 18,5 | 31,8 | 18,7 | 61,8 | 18,7 | 0,6 | 13,9 |
| | Atık-2 | 23,9 | 31,9 | 24,2 | 61,7 | 24,1 | 0,6 | 19,1 |
| | Toplam | 100,0 | 31,44 | 100,0 | 61,16 | 100,0 | 0,80 | 100,0 |
| pH: 8,58 | Konsantre | 77,5 | 30,3 | 78,1 | 61,1 | 76,7 | 0,9 | 81,9 |
| | Atık-1 | 13,4 | 30,8 | 13,8 | 62,2 | 13,5 | 0,8 | 11,8 |
| | Atık-2 | 9,1 | 26,7 | 8,1 | 66,4 | 9,8 | 0,6 | 6,3 |
| | Toplam | 100,0 | 30,01 | 100,0 | 61,68 | 100,0 | 0,85 | 100,0 |




**Şekil 4.29 :** Lignosülfonat deney sonuçları.

**Çizelge 4.13 :** CMC ile yapılan ters flotasyon sonuçları.

| CMC | Ürünler | Miktar (%) | MgO | | $SiO_2$ | | $Fe_2O_3$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) | İçerik (%) | Verim (%) |
| **pH: 2,5** | Konsantre | 32,4 | 30,8 | 32,8 | 58,7 | 31,4 | 1,1 | 42,8 |
| | Atık-1 | 28,1 | 29,9 | 27,7 | 60,9 | 28,3 | 0,7 | 23,8 |
| | Atık-2 | 39,5 | 30,3 | 39,5 | 61,8 | 40,3 | 0,7 | 33,4 |
| | Toplam | 100,0 | 30,38 | 100,0 | 60,53 | 100,0 | 0,82 | 100,0 |
| **pH: 8,25** | Konsantre | 69,5 | 30,4 | 68,7 | 60,5 | 69,5 | 0,9 | 74,4 |
| | Atık-1 | 8,1 | 31,9 | 8,4 | 61,3 | 8,2 | 0,6 | 5,7 |
| | Atık-2 | 22,4 | 31,5 | 22,9 | 60,4 | 22,3 | 0,7 | 19,9 |
| | Toplam | 100,0 | 30,79 | 100,0 | 60,51 | 100,0 | 0,83 | 100,0 |

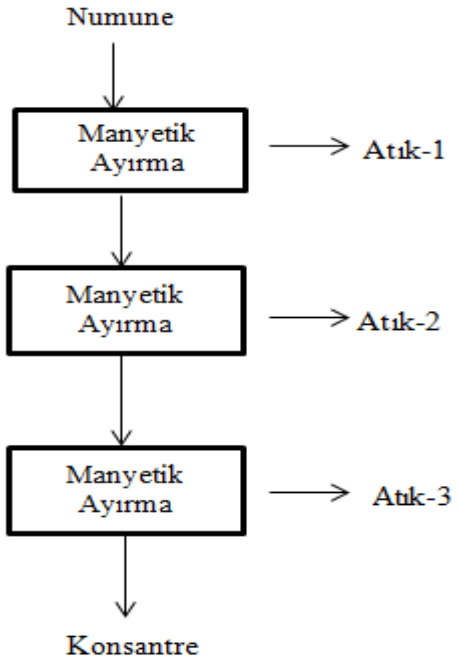



**Şekil 4.30 :** CMC deney sonuçları.

Deney sonuçlarından da görüldüğü üzere Lignosülfonat ve CMC'nin özellikle pH:2,5 değerinde talkı bastırdığı ve CMC'nin daha iyi bir bastırıcı olduğu anlaşılmaktadır. Fakat demirin yüzdürülmesi ve aynı anda talkın bastırılması amacıyla yapılan flotasyon deneylerinde; demirin yüzdürülemediği, aksine konsantrelerde kaldığı gözlenmektedir.

### 4.4.7. Atık talk numunesine manyetik ayırma uygulaması

Sivas talk numunesinin demir içeriğini düşürmek amacıyla Carpco marka yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı kullanılarak manyetik ayırma deneyleri yapılmıştır. Deney akım şeması Şekil 4.31'de verilmektedir. Kullanılan malzeme boyutu ise -106 mikrondur. Çizelge 4.14'te ise manyetik ayırma deney sonuçları verilmektedir.




**Şekil 4.31 :** Manyetik ayırma akım şeması.

Manyetik ayırma deneylerine göre $Fe_2O_3$ içeriği %0,6'ya kadar düşmektedir. Flotasyonda da (Çizelge 4.10) daha iyi sonuçlar elde edildiğinden manyetik ayırmaya gerek olmayabilir. Şekil 4.32'de manyetik ayırıcı resmi verilmektedir.

**Çizelge 4.14 :** Manyetik ayırma deney sonuçları.

| **Manyetik Ayırma** | **Ürünler** | **Miktar (%)** | **MgO** | | **$SiO_2$** | | **$Fe_2O_3$** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | **İçerik (%)** | **Verim (%)** | **İçerik (%)** | **Verim (%)** | **İçerik (%)** | **Verim (%)** |
| **106 Mikron** | Nonmanyetik | 29,8 | 31,6 | 30,2 | 61,4 | 30,0 | 0,6 | 20,3 |
| | Manyetik/Atık-3 | 4,4 | 31,0 | 4,4 | 60,7 | 4,4 | 0,7 | 3,9 |
| | Manyetik/Atık-2 | 17,0 | 30,5 | 16,7 | 61,3 | 17,2 | 0,8 | 15,2 |
| | Manyetik/Atık-1 | 48,8 | 31,0 | 48,7 | 60,3 | 48,4 | 1,0 | 60,6 |
| | Toplam | 100,0 | 31,11 | 100,0 | 60,78 | 100,0 | 0,84 | 100,0 |



**Şekil 4.32 :** Yüksek alan şiddetli Carpco marka manyetik ayırıcı.

### 4.4.8. Atık talk numunesine asit liçi uygulaması

Demir içeriğinin kimyasal yöntemle düşürülmesi amacı ile HCl asit kullanılarak atık talk numunesi ile asit liçi yapılmıştır. Asit liçi koşulları Çizelge 4.15'te verilmektedir.

**Çizelge 4.15 :** Farklı miktarlardaki asit liçi koşulları.

| | |
|---|---|
| Numune miktarı: | 20 gram |
| Boyut: | -106 mikron |
| Asit miktarı: | 175, 265, 350 g/L |
| Liç süresi: | 30 dakika |
| Sıcaklık: | 60-65°C |
| pH: | 2-2,5 |

Kullanılan asit %37,7 derişimde olup, deneylerdeki pülpte katı oranı 1/5'tir. Numune asit liçine tabi tutulduktan sonra yıkanıp filtre edilmiştir. Kalan katı miktarı tartılarak analiz edilmiştir. Çıkan sonuçlar aşağıda Çizelge 4.16'da verilmektedir. Deney sonuçlarına göre % $Fe_2O_3$ miktarı çok fazla değişmemektedir. Asit liçinde başarılı sonuçlar elde edilmemektedir.

**Çizelge 4.16:** Farklı miktarlardaki asit liçi sonuçları.

| **HCl Miktarı** | **Katı Miktarı** | **MgO** | **$Fe_2O_3$** | **$Al_2O_3$** | **$SiO_2$** | **CaO** | **Kızdırma Kaybı** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **g/L** | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** |
| **175** | 99,0 | 31,08 | 0,91 | 0,32 | 62,10 | 0,06 | 5,45 |
| **265** | 98,5 | 31,09 | 0,86 | 0,34 | 62,20 | 0,05 | 5,36 |
| **350** | 97,5 | 30,93 | 0,88 | 0,29 | 62,25 | 0,05 | 5,54 |
| **45** | 99,5 | 31,48 | 0,74 | 0,22 | 62,55 | 0,03 | 4,94 |

Çizelgenin alt satırında verilen liç deneyi, 4 saat süre sonundaki liç deneyi sonucunu göstermektedir. Bu sonuca göre $Fe_2O_3$ değeri %0,74'e düşmektedir. Bu sonuca göre liç süresi arttırılarak bir grup deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerin koşulları Çizelge 4.17'de, sonuçları ise Çizelge 4.18'de verilmektedir.

**Çizelge 4.17 :** Farklı sürelerdeki asit liçi koşulları (-106 mikron).

| | |
|---|---|
| Numune miktarı: | 20 gram |
| Boyut: | -106 mikron |
| Asit miktarı: | 45 g/L |
| Liç süresi: | 1, 4 ve 8 saat |
| PKO: | 1/5 |
| Sıcaklık: | 60-65°C |
| pH: | 2-2,5 |

**Çizelge 4.18:** Farklı sürelerdeki asit liçi sonuçları (-106 mikron).

| **Süre** | **Katı Miktarı** | **MgO** | **$Fe_2O_3$** | **$Al_2O_3$** | **$SiO_2$** | **CaO** | **Kızdırma Kaybı** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** | **%** |
| **1 saat** | 99,5 | 31,62 | 0,84 | 0,35 | 61,95 | 0,05 | 5,11 |
| **4 saat** | 98,5 | 31,55 | 0,81 | 0,27 | 62,15 | 0,04 | 5,12 |
| **8 saat** | 98,0 | 31,48 | 0,770 | 0,27 | 62,30 | 0,04 | 5,09 |

Ayrıca literatürdeki bazı çalışmalarda görülen flotasyon sonrası liç uygulamasına yönelik olarak da bir grup liç deneyi planlanmıştır. Kullanılan asit %37,7 derişimdedir. Bu deneylerde 63 mikron altında yapılan flotasyon konsantresinin %0.5 olan $Fe_2O_3$ içeriği daha alt değerlere çekilmeye çalışılmıştır. Bu deneylerin koşulları Çizelge 4.19'da, sonuçları ise Çizelge 4.20'de verilmektedir.

**Çizelge 4.19 :** Farklı sürelerdeki flotasyon konsantresine uygulanan asit liçi koşulları.

| | |
|---|---|
| Numune miktarı: | 20 gram |
| Boyut: | -63 mikron |
| Asit miktarı: | 45 g/L |
| PKO: | 1/5 |
| Liç süresi: | 1, 4 ve 8 saat |
| Sıcaklık: | 60-65°C |
| pH: | 2-2,5 |

**Çizelge 4.20:** Farklı sürelerdeki flotasyon konsantresine uygulanan asit liçi sonuçları.

| Süre | Katı Miktarı | MgO | $Fe_2O_3$ | $Al_2O_3$ | $SiO_2$ | CaO | Kızdırma Kaybı |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | % | % | % | % | % | % | % |
| **1 saat** | 99,5 | 31,97 | 0,460 | 0,09 | 62,25 | 0,04 | 5,13 |
| **4 saat** | 98,5 | 32,08 | 0,470 | 0,06 | 62,35 | 0,02 | 4,97 |
| **8 saat** | 97,5 | 32,02 | 0,460 | 0,08 | 62,30 | 0,03 | 5,05 |

Asit liçi deneyleri sonucunda yıkanıp filtre edilen ve tartılan numunelere renk ölçüm analizi de yapılmıştır. Bu analizlerin sonuçları da Çizelge 4.21'de verilmektedir.

**Çizelge 4.21 :** Asit liçi numunelerinin renk analizi sonuçları.

| Numune | Süre | L*(D65) | a*(D65) | b*(D65) | WI(CIE) |
|---|---|---|---|---|---|
| **Doğrudan Liç (106 mikron)** | **1 saat** | 82,15 | 5,77 | 5,87 | 31,02 |
| | **4 saat** | 80,22 | 6,96 | 6,83 | 22,12 |
| | **8 saat** | 82,34 | 5,98 | 6,33 | 29,14 |
| **Flotasyon + Liç (63 mikron)** | **1 saat** | 90,94 | 3,19 | 4,92 | 55,43 |
| | **4 saat** | 89,55 | 3,3 | 4,65 | 53,42 |
| | **8 saat** | 91,58 | 3,2 | 4,58 | 58,56 |

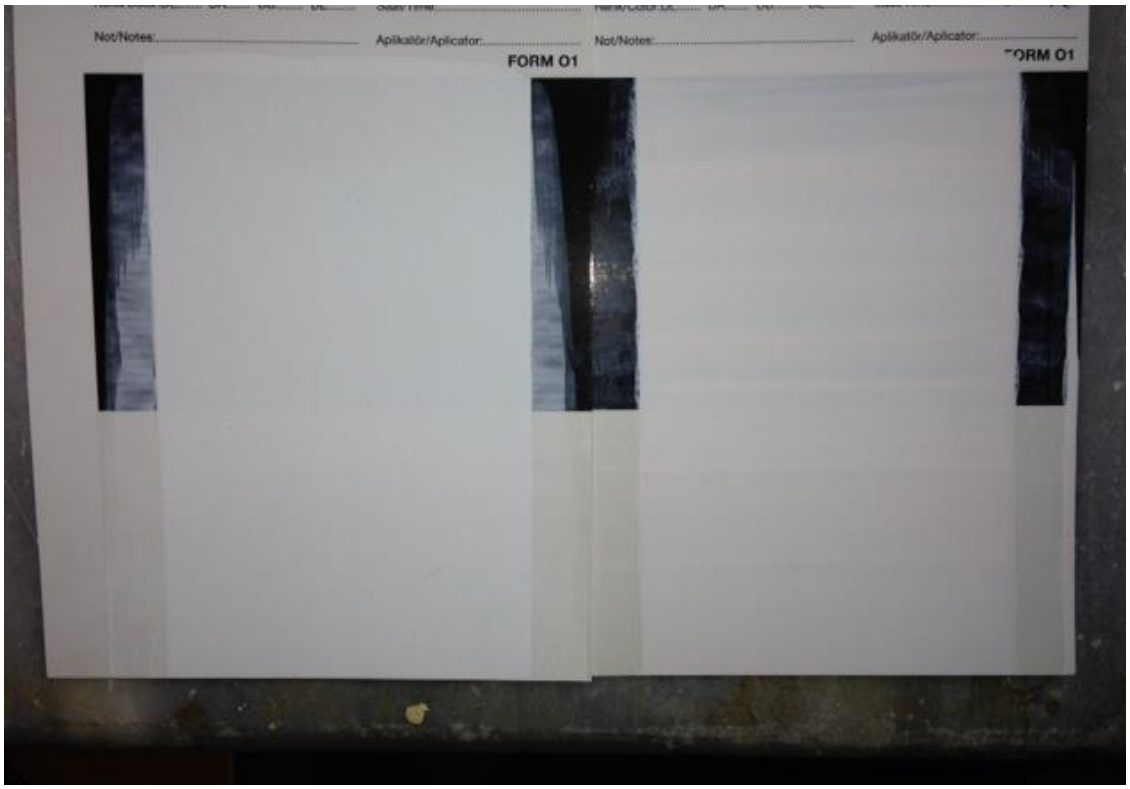
Analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere en iyi WI-beyazlık 58,6 değeri; 63 mikron boyutundaki flotasyon konsantresinde elde edilmiştir.

### 4.4.9. Atık talk numunesine boya deneyleri uygulaması

Talkın boya sanayinde kullanımına yönelik olarak flotasyon konsantreleri kullanılarak İTÜ Maden Fakültesi Boya Laboratuvarları'nda bir takım boya testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.22'de verilmiştir. Boyada kullanılan standart $TiO_2$ numunesi ile WI değerleri karşılaştırıldığında da özellikle istenilen beyazlık açısından istenilen değerlerin sağlanamadığı belirlenmiştir.

**Çizelge 4.22 :** Flotasyon konsantresinin boya için renk analizi sonuçları.

| | WI(CIE) |
|---|---|
| Standart $TiO_2$ | 81,90 |
| Flotasyon Konsantresi | 72,15 |




**Şekil 4.33 :** Standart $TiO_2$ (solda) ve flotasyon konsantresi (sağda).

# 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında Sivas-Gürlevik Bölgesi'nden gelen atık talk numunesi kullanılmıştır. Atık talk numunesi üzerinde yapılan kantitatif kimyasal analiz sonuçlarında %31.20 MgO, %61.40 $SiO_2$ ve %0.83 $Fe_2O_3$ içerdiği belirlenmiştir. Çeşitli parametreler değiştirilerek flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. pH değişiklikleri, bastırıcı ve köpürtücü konsantrasyonları ve köpürtücü cinsleri ayrı olarak denenmiştir. Aşağıda bu deney sonuçları verilmektedir.

İlk aşamada beş farklı pH değerinde deneyler yapılmıştır. pH'ın etkisinin incelendiği deneylerde MgO açısından en iyi sonuç pH:5 değerinde alınmıştır. Cevherin doğal pH'sı olan 9.2 değerlerinde de iyi sonuçlar elde edilmesine rağmen, $Fe_2O_3$ açısından sonuçlar irdelendiğinde pH:5'te demirin daha iyi basıldığı görülmektedir. $Fe_2O_3$ içeriği pH:5'te %0,87 değerinden %0.8 değerine düşmektedir.

Bastırıcı konsantrasyonlarının incelendiği aşamada ise dört farklı konsantrasyonda deneyler yapılmıştır. Bastırıcı olarak sodyum silikat ($Na_2SiO_3$) kullanılmıştır. Sodyum silikat miktarının incelendiği deneylerde MgO açısından en iyi sonuç 500 g/ton konsantrasyonunda elde edilmektedir.

Bir sonraki aşamada ise köpürtücü olarak kullanılan MIBC miktarları değiştirilmiştir. Üç farklı konsantrasyonda gerçekleştirilen deneylerde MgO açısından en iyi sonuç 60 g/ton konsantrasyon değerinde alınmıştır.

Kollektör olarak kullanılan reaktif cinsinin incelendiği deneylerde MIBC, Dowfroth 250 ve Butil Glikol köpürtücüleri kullanılmıştır ve MgO açısından en iyi sonuç MIBC köpürtücüsüyle elde edilmiştir.

Boyutun ve temizlemenin etkisinin incelendiği deneylerde, en iyi sonuç 63 mikron boyutunda %31.88 MgO içeren bir konsantre %57 verimle elde edilmektedir. Bu konsantrenin $Fe_2O_3$ içeriği de %0.5'lere kadar düşmektedir. Talk numunesinin demir içeriği düşürmek amacıyla yapılan ters flotasyon deneylerinde, demir yüzdürülmeye çalışılırken talkta aynı zamanda bastırılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla pH 2,5 ve 8,25,

8,58'de yapılan deneylerde lignosülfonat ve CMC bastırıcıları kullanılmış, demir sülfonatlarla yüzdürülmeye çalışılmıştır.

Sonuçlar irdelendiğinde özellikle asidik pH'larda her iki bastırıcıda talkı bastırmaktadır. Ayrıca talkın bastırılmasında CMC'nin ligno sülfonata göre daha etkin bir bastırıcı olduğu anlaşılmaktadır. Demirin ise yüzdürülemediği hatta bastırıldığı anlaşılmaktadır. Bu yüzden de ters flotasyon çalışmalarında başarılı bir sonuç elde edilememektedir.

Demirin uzaklaştırılmasına yönelik olarak yapılan yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma deneylerinde, 106 mikron altındaki numune üç kademe halinde manyetik ayırıcıdan geçirilmiştir. Bu deney sonucunda elde edilen konsantre %31,6 MgO içeriği ve yaklaşık %30,2 gibi bir verimle elde edilirken, konsantrenin $Fe_2O_3$ içeriği %0.6 olmaktadır. Manyetik ayırma deneyi aynı boyutta yapılan flotasyon deneyi ile kıyaslandığında, hem demir içeriği hem de talk verimi açısından daha iyi sonuçlar vermemektedir.

Demir içeriğinin düşürülmesine yönelik olarak yapılan asit liçi deneylerinde asit konsantrasyonlarının değiştirildiği deneylerde olumlu sonuçlar alınamamaktadır. Bu deneylerde liç süresinin (yarım saat) yetersiz olduğu düşünülerek liç süresinin etkisinin incelenmesine yönelik olarak bir grup deneyler planlanmıştır. Ayrıca flotasyon konsantrelerindeki demir içeriğinin daha da düşürülmesine yönelik olarak, flotasyon konsantre ürünlerine de asit liçi deneyleri yapılmıştır. 63 mikron altında flotasyon numunesine yapılan 8 saatlik $60^0$C'de yapılan liç işlemi sonunda, $Fe_2O_3$ içeriği %0.5'den %0.46'ya düşürülmüştür. Ancak bu numunenin beyazlık değeri 58,0 gibi değerde kalmaktadır, talkın kullanıldığı birçok kullanım alanı için yeterli olmamaktadır.

Talkın farklı endüstriyel alanlarda kullanımını gösteren TSE standartlarına göre (Çizelge 2.5 ve bölüm 2.6) kağıt, boya, seramik sanayiilerinde talkın kullanımı için MgO içeriği birinci kalite ürünlerde %30 civarında istenirken ikinci kalite ürünlerde %27-28 MgO içerikleri yeterli olmaktadır. $Fe_2O_3$ içerikleri birinci kalite ürünlerde en çok %0.5, ikinci kalite ürünlerde %1.5 civarında istenmektedir. Analizler açısından değerlendirildiğinde, bu tez kapsamında çalışılan talk numunesi hiçbir işlem yapılmaksızın ikinci kalite bir ürün olabileceği anlaşılmaktadır. Sadece ikinci kalite ürünlerde istenilen %70'lik beyazlık derecesine ulaşılamamaktadır. Bu durumda numunenin çok ince boyutlara öğütülmesi ile beyazlık derecesinin önemli olmadığı başka bir alana ürün hazırlanabilir. Birinci kalite ürünlerde istenilen MgO ve $Fe_2O_3$ içeriklerine flotasyon konsantreleri ile ulaşılmasına rağmen beyazlık derecesi en fazla

%58,56 olarak 63 mikron altında yapılan flotasyon ve ayrıca 8 saatlik liç deneyleriyle elde edilen konsantrede ölçülmüştür. Boya sanayii için gerekli olan beyazlık derecesi bu sanayi alanında kullanılmasında bir problem olarak gözükmektedir. Ürünün zenginleştirerek satılması durumunda beyazlık derecesi olumsuzluk yaratmaktadır.

## KAYNAKLAR


**Atak, S.** (1990). "Flotasyon İlkeleri ve Uygulaması", *İTÜ Yayınları*.

**Bozkurt, M. R.** (1969). **"**Mineral tayini el kitabı", Çağlayan Kitapevi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Genel Yayın,* No.58.

**Buckley, A. N., Souninen E. J., Forssberg, K. S. E.** (1997). "Application of Surface Science to Advancing Flotation Technology".

**Bulatovic, Srdjan M.** (2006). "Handbook of Fotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice : Flotation of Sulphides Ores", *Elsevier B. V.,*Volume 1.

**Chander, S., Wie, J.M., Fuesrtenau, D.W.** (1975). **"**On the Native Floatability and Surface Properties of Naturally Hydrophobic Solids", *AlChE Symposium*, Ser. 150, 71, 183.

**Çilek, C.E.** (2006). **"**Mineral Flotasyonu"*, Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın,* No:59, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta, s.158.

**DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı** (2001). "Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri-I (Seramik Killeri–Kaolin-Feldspat–Profillit–Wollastonit–Talk) Çalışma Grubu Raporu", Ankara.

**Erkan, Y.** (1994). **"**Kayaç oluşturan önemli minerallerin mikroskopta incelenmeleri", *Jeoloji Mühendisleri Odası Yayını*.

**Eroğlu, T. C.** (2012). "Talk mineralinin flotasyon özellikleri", *İTÜ Cevher Hazırlama Mühendisliği, Bitirme Ödevi Tezi.*

**Harben, P. W.** (1992). "The Industrial Mineral Handybook." *Metal Bulletin plc, London, UK.*

**Khraisheh, M., Holland, C., Creany, C., Harris, P., Parolis, L.** (2004). "Effect of Molecular Weight and Concentration on the Adsorption of CMC onto Talc Different Ionic Strenghts." *International Journal of Mineral Processing*, 1 Agustos 2004, p. 197-206.

**Laskowski, J. S., Woodburn, E. T.** (1998). "Frothing in Flotation", *Gordon and Breach Science Publishers,* Volume II.

**Liu, G., Feng, Q., Ou, L., Lu, Y., Zhang, G.** (2005). "Adsorption of Polysaccharide onto Talc", *School of Mineral Processing and Bio-engineering, Central South University,* 4 Ekim 2005

**Ma, X., Pawlik, M.** (2007). **"**The effect of lignosulfonates on the floatability of talc" *International Journal of Mineral Processing*, 3 Nisan 2007, p. 26.

**MacKenzie, W. S. and Guilford, C.** (1980). "Atlas of rock-forming minerals in thing section", *Longman Group Limited.*

**Mahmoud, M. A., Galal, A. İ., Mohamed, M. A. H.** (2007). "Improvement of Egyptian talc quality for industrial uses by flotation process and leaching", *Mining and Metalurgical Engineering Department, Faculty of Engineering, Asssiut University,* 27 Temmuz 2007.

**Önal, G., Yüce, A.E., Özpeker, I., Güney, A.** (1999). **"**Talk", *Endüstriyel Mineral Envanteri*, Aralık 1999, s. 201-204.

**Rao, S. R.** (2004). "Surface Chemistry of Froth Flotation Volume II: Reagents and Mechanism", *Kluwer Academic/Plenum Publishers.*

**Sarıiz, K., Nuhoğlu, İ.** (1992). "Endüstriyel hammadde yatakları ve madenciliği", *Anadolu Üniversitesi Yayın* , No. 636.

**Sarquis, P. E., Gonzalez, M.** (1998). "Limits of the use of industrial talc-the carbonate effect", *Mineral engineering,* Vol.11. No:7 p. 657-660.

**Troizki, A. W.** (1956). "Die Flotation-Ein Aufbereitungsprozess".

**TS-10521** (1992). Talk kağıt sanayinde kullanılan, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

**TS-5409** (1992). Talk boya sanayinde kullanılan, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

**TS-10043** (1992). Talk seramikte kullanılan, *Türk Standartları Enstitüsü,* Ankara.

**Yehia, A., Al-Wakeel, M.I.** (1999). Talc seperation from talc-carbonate ore to be suitable for different industrial applications. *Minerals Engineering,* 9 Eylül 1999, p. 111-116.

**Uçar, T.** (2008). "Sanatsal seramiklerin yapımında kullanılan çamura fiber katkısı sonucu ürün özelliklerinin incelenmesi", *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Bitirme Tezi.*

Url-1 <*www.basf.de*>, alındığı tarih 11.11.2012.
Url-2 <*www.mineralienatlas.de*>, alındığı tarih 25.11.2012.
Url-3 <*www.monumentchemical.com*>, alındığı tarih 01.12.2012.
Url-4 <*www.sodyumsilikat.com*>, alındığı tarih 03.11.2012.
Url-5 <*www.seramikarastirma.com.tr*>, alındığı tarih 07.04.2013.

**Yıldırım, M.** (2002). "Yalazı-Balıkesir talk cevherinin zenginleştirilmesi", *Madencilik Dergisi*, Mart 2002, s. 16-21.

## ÖZGEÇMİŞ



| | |
|---|---|
| **Ad Soyad:** | Sena Zeynep Kutlu |
| **Doğum Yeri ve Tarihi:** | İstanbul 21/08/1986 |
| **Adres:** | 9.Kısım D/13/C Daire:25 Ataköy/Bakırköy/İSTANBUL 34156 |
| **Lisans Üniversite:** | İstanbul Teknik Üniversitesi – Maden Mühendisliği |
| **Mesleki Deneyim:** | Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler Sanayi ve Ticaret A.Ş. – Teknik Hizmetler Direktörlüğü Geliştirme Uzman Yardımcısı |