

**KİL YIKAMA TESİSİ ATIKLARINDAN KUVARS
KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI**

**AN INVESTIGATION OF QUARTZ RECOVERY FROM
CLAY WASHING PLANT WASTES**

HAKAN ŞANIVAR

PROF. DR Ş. LEVENT ERGÜN

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

ÖZET

KİL YIKAMA TESİSİ ATIKLARINDAN KUVARS KAZANIMININ ARAŞTIRILMASI

Hakan ŞANIVAR

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN

Ocak 2022, 63 sayfa

Bu çalışmada, halen faaliyet göstermekte olan bir kil zenginleştirme tesisi atıklarından kuvars kazanımı amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiş, sonrasında elde edilen deneysel veriler ve simülasyon yardımıyla bu tesisin akım şeması oluşturularak kullanılacak ana ekipmanlar boyutlandırılmıştır.

Tesiste stoklanan atıktan alınan numunelerin boyut dağılımı, kimyasal bileşimi belirlenmiş ve yerçekimiyle zenginleştirme ve manyetik ayırma testleri yapılmıştır. Bu çalışmalarda, kil, kömür ve çoğunluğu sideritten kaynaklanan demirin belirli ölçüde uzaklaştırılmasına karşın, iri tane boyutunda yeterli kalitede bir ürün alınmadığı belirlenmiştir.

Zenginleştirme deneylerinde kullanılan numune, 16 farklı ocaktan gelen kil aynı tesiste işlendiğinden, bir ay süreyle iri çakıl, iri kum ve ince kum olmak üzere biriktirilerek elde edilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonunda, cevher içinde bir miktar feldspat kaldığı belirlendiğinden istenen safsızlıkta bir ürün almak için feldspat-kuvars ayrımının gerekli olduğuna karar verilmiş ve hidroflorik asitle feldspat canlandırılarak kuvarstan ayrılmıştır.

Deneyler sonunda, -0.5mm malzemeyle elde edilen nihai ürün bileşimi aşağıda verilmektedir.

| Bileşen, % | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | C | A, Z, |
|------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|------|-------|
| -0,5mm | 97.49 | 1.49 | 0.107 | 0.054 | 0.04 | 0.28 | 0.06 | 0.11 | 0.19 | 0.32 |

Bu bileşim, çok yüksek saflıkta ürünler dışında, Camiştir Madencilik'in ürettiği ve pazarladığı çok sayıda ürüne benzer veya daha yüksek kalitededir.

Deneysel çalışmaların tamamlanmasından sonra yılda 140.000 ton kil atığı malzemeyi zenginleştirmek üzere bir tesisin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Öğütme ve sınıflandırma tesisi tasarımında JKSimMet yazılımı kullanılmış ve değirmen boyutlandırılmıştır. Zenginleştirme devresinde ise laboratuvar deneylerinde elde edilen ürünlerin ağırlık oranları kullanılmıştır. Tüm tesisin madde denklığı yine JKSimMet kullanılarak simülasyon yardımıyla belirlenmiştir.

Sonuç olarak, kil yıkama tesisinden ortaya çıkacak 140,000 ton atıktan, 61,720 ton cam kalite ürün ve 9,804 ton ince ürün elde edilerek ekonomiye kazandırılması mümkün görünmektedir. Ortaya çıkan toplam atığın yaklaşık yarısı ürün olarak kazanılabilmekte, taşınması ve depolanması gereken atık miktarı da aynı oranda azalmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuvars zenginleştirme, kil yıkama tesisi, atıklardan kazanım, modelleme, simülasyon

ABSTRACT

AN INVESTIGATION OF QUARTZ RECOVERY FROM CLAY WASHING PLANT WASTES

Hakan ŞANIVAR

Master of Science, Mining Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Ş. Levent ERGÜN

January 2022, 63 pages

In this study, experimental studies were carried out to recover quartz from the tailings of an operating clay enrichment plant, and then, by using experimental data and simulation, the flowsheet of this plant was developed and the major equipment to be used was selected.

The size distribution and chemical composition of the samples taken from the waste stockpile at the plant were determined, and gravity concentration and magnetic separation tests were performed. In these studies, it was determined that although clay, coal and the iron originating mostly from siderite was removed to some extent, a product at sufficient quality could not be obtained at coarse sizes.

Since the clay from 16 different quarries was processed in the same facility, the sample used in the enrichment experiments was obtained by accumulating coarse gravel, coarse sand and fine sand samples for one month duration.

At the end of the studies, it was determined that some feldspar remained in the ore, so it was decided that feldspar-quartz separation was necessary to obtain a product with the desired impurity, and feldspar was activated with HF acid and separated from the quartz using an amine-type collector.

As a result of the experiments, the final product composition obtained with -0.5mm material is given below.

| Component, % | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | TiO ₂ | CaO | MgO | Na ₂ O | K ₂ O | C | L.O.I. |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------|------|------|-------------------|------------------|------|--------|
| -0,5mm | 97.49 | 1.49 | 0.107 | 0.054 | 0.04 | 0.28 | 0.06 | 0.11 | 0.19 | 0.32 |

This composition is of similar or higher quality to many products produced and marketed by Camiř Madencilik, except for the ultra-high purity products.

After the completion of the experimental studies, a plant was designed to enrich 140,000 tons of clay waste material per annum. JKSimMet software was used in the design of the grinding and classification circuit and for the mill sizing. In the enrichment phase, the mass fraction of the products obtained in the laboratory experiments were used. The mass balance of the whole plant was determined with the aid of simulation using JKSimMet.

As a result, it would be possible to recover 61,720 tons of glass quality quartz concentrate and 9,804 tons of fine product from 140,000 tons of waste generated from the clay washing plant. About half of the total waste generated could be recovered as a product, and the amount of waste, that needs to be transported and stored, would decrease at the same extent.

Keywords: Quartz beneficiation, clay washing plant, recovery from waste, modelling, simulation

İÇİNDEKİLER

| | |
|---|-------------------------------------|
| ABSTRACT..... | iii |
| TEŞEKKÜR..... | Error! Bookmark not defined. |
| İÇİNDEKİLER | v |
| ŞEKİLLER DİZİNİ..... | viii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ..... | ix |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xi |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 2. GENEL BİLGİLER..... | 3 |
| 2.1. Kil Tanımı | 3 |
| 2.1.1. Kil Türleri ve Zenginleştirme Akım Şemaları..... | 3 |
| 2.1.1.1. Bağlama Kili (Ball Clay)..... | 3 |
| 2.1.1.2. Bentonit | 4 |
| 2.1.1.3. Refrakter Kili (Fire Clay) | 5 |
| 2.1.1.4. Yıkama Kili (Fuller's Earth)..... | 6 |
| 2.1.1.5. Sıradan Kil ve Şeyl (Common Clay and Shale)..... | 7 |
| 2.1.1.6. Kaolin | 8 |
| 2.1.1.7. Paligorskit ve Sepiolit | 10 |
| 2.1.2. Mevcut Tesis Akım Şeması..... | 11 |
| 2.2. Kuvars | 12 |
| 2.2.1. Kuvarsın Kullanım Alanları ve Standartları..... | 12 |
| 2.2.2. Kuvars Zenginleştirme Yöntemleri..... | 13 |
| 2.2.2.1. Aşındırıcı Karıştırma | 14 |
| 2.2.2.2. Manyetik Ayırma | 14 |
| 2.2.2.3. Gravite Ayırımı | 14 |
| 2.2.2.4. Sensör Temelli Ayırım | 14 |
| 2.2.2.5. Flotasyon | 15 |
| 2.2.2.6. Liç..... | 16 |
| 2.2.3. Kuvars Zenginleştirme Akım Şemaları..... | 16 |

| | |
|---|----|
| 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR | 19 |
| 3.1. Malzeme | 19 |
| 3.1.1. Karakterizasyon Çalışmaları..... | 19 |
| 3.1.1.1. Elek Analizleri ve Kimyasal Analizler..... | 19 |
| 3.1.1.2. Fraksiyonel Kimyasal Analizler..... | 20 |
| 3.1.1.3. Ağır Sıvı Deneyleri | 23 |
| 3.1.1.4. Bond İş İndeksi Tayini | 24 |
| 3.1.1.5. XRD..... | 24 |
| 3.2. Stok Numunesi ile Yapılan Çalışmalar..... | 25 |
| 3.2.1. Jig Deneyi..... | 26 |
| 3.2.2. Manyetik Ayırma Deneyi..... | 27 |
| 3.2.3. Kabaran Yataklı Ayırıcı Deneyi | 28 |
| 3.2.4. Sallantılı Masa Deneyleri | 29 |
| 3.3. Tesis Numuneleri ile Yapılan Çalışmalar | 32 |
| 3.3.1. İri Çakıl Numunesi..... | 32 |
| 3.3.2. İri Kum ve İnce Kum Numuneleri | 32 |
| 3.3.2.1. Spiral Deneyi | 33 |
| 3.3.2.2. Flotasyon Deneyleri | 35 |
| 3.3.2.3. Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma Deneyleri | 48 |
| 4. TESİS TASARIMI | 50 |
| 4.1. Kullanılan modeller ve Simülasyon Çalışmaları | 52 |
| 4.2. Ekipmanların boyutlandırılması | 54 |
| 5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA..... | 57 |
| 5.1. Genel Değerlendirmeler | 57 |
| 5.2. Zenginleştirme Testleriyle ilgili Değerlendirmeler | 58 |
| 5.2.1. Yerçekimiyle Zenginleştirme | 58 |
| 5.2.2. Manyetik Ayırma | 58 |
| 5.2.3. Flotasyon | 59 |
| 5. YORUM..... | 60 |
| 6. KAYNAKLAR..... | 61 |

EKLER**Error! Bookmark not defined.**

EK 1 - Tez Çalışması Orjinallik Raporu.....**Error! Bookmark not defined.**

ÖZGEÇMİŞ**Error! Bookmark not defined.**

ŞEKİLLER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Şekil 2.1. Bağlama kilinin kuru ve yaş prosesi..... | 4 |
| Şekil 2.2. Bentonitin kuru ve asit aktive yaş prosesi..... | 5 |
| Şekil 2.3. Refrakter kili prosesi..... | 6 |
| Şekil 2.4. Yıkama kili prosesi | 7 |
| Şekil 2.5. Sıradan kil ve şeyl prosesi..... | 8 |
| Şekil 2.6. Kaolin prosesi akım şeması..... | 9 |
| Şekil 2.7. Paligorskit ve sepiolit prosesi akım şeması..... | 10 |
| Şekil 2.8. Mevcut tesis akım şeması..... | 11 |
| Şekil 2.9. Kuvars zenginleştirme akım şeması | 17 |
| Şekil 2.10. Kuvars zenginleştirme akım şeması | 18 |
| Şekil 3.1. Deney numunelerine ait tane boyu dağılımları | 19 |
| Şekil 3.2. Deney numunelerine ait fraksiyonel SiO ₂ analizi..... | 21 |
| Şekil 3.3. Deney numunelerine ait fraksiyonel Fe ₂ O ₃ analizi..... | 21 |
| Şekil 3.4. Deney numunelerine ait fraksiyonel Al ₂ O ₃ analizi..... | 22 |
| Şekil 3.5. Deney numunelerine ait fraksiyonel karbon analizi | 23 |
| Şekil 3.6. -8 +1mm fraksiyonu ağır sıvı 2.85 batan ürün XRD görüntüsü..... | 24 |
| Şekil 3.7. -1 +0.212mm fraksiyonu ağır sıvı 2.85 batan ürün XRD görüntüsü..... | 25 |
| Şekil 3.8. Stok numunesi deney akım şeması | 26 |
| Şekil 3.9. Jig içerisindeki tabakalaşma..... | 27 |
| Şekil 3.10. Manyetik ayırma deneyi ürünleri..... | 28 |
| Şekil 3.11. Sallantılı masa deneyi | 31 |
| Şekil 3.12. İri çakıl numunesine yapılan triyaj işlemi | 32 |
| Şekil 3.13. İri ve ince kum deney akım şeması..... | 33 |
| Şekil 3.14. Spiral deneyi..... | 34 |
| Şekil 4.1. Basitleştirilmiş Tesis Akım Şeması..... | 51 |
| Şekil 4.2. Tesis kütle denklığı..... | 56 |

ÇİZELGELER DİZİNİ

| | |
|---|----|
| Çizelge 1.1. Tesis beslemesi kimyasal analizi..... | 1 |
| Çizelge 2.1. Kuvarın kullanım alanları ve standartları | 12 |
| Çizelge 3.1. Deney numunelerine ait kimyasal analizler | 20 |
| Çizelge 3.2. -8 +1mm fraksiyonu ağır sıvı deneyi sonuçları..... | 23 |
| Çizelge 3.3. -1 +0.212mm fraksiyonu ağır sıvı deneyi sonuçları | 24 |
| Çizelge 3.4. Jig deneyi sonuçları | 26 |
| Çizelge 3.5. Manyetik ayırma deneyi sonuçları..... | 28 |
| Çizelge 3.6. Kabaran yataklı ayırıcı deneyi sonuçları..... | 29 |
| Çizelge 3.7. Şlam atma işlemi sonuçları..... | 29 |
| Çizelge 3.8. KYA'nın üst akımına yapılan sallantılı masa deneyi sonuçları | 30 |
| Çizelge 3.9. KYA'nın alt akımına yapılan sallantılı masa deneyi sonuçları | 31 |
| Çizelge 3.10. Spiral deneyi sonuçları..... | 34 |
| Çizelge 3.11. Flotasyon deney - 1 koşulları | 35 |
| Çizelge 3.12. Flotasyon deney - 1 sonuçları..... | 36 |
| Çizelge 3.13. Flotasyon deney - 2 koşulları | 36 |
| Çizelge 3.14. Flotasyon deney - 2 sonuçları..... | 37 |
| Çizelge 3.15. Flotasyon deney - 3 koşulları | 38 |
| Çizelge 3.16. Flotasyon deney - 3 sonuçları..... | 38 |
| Çizelge 3.17. Flotasyon deney - 4 koşulları | 39 |
| Çizelge 3.18. Flotasyon deney - 4 sonuçları..... | 40 |
| Çizelge 3.19. Flotasyon deney - 5 koşulları | 41 |
| Çizelge 3.20. Flotasyon deney - 5 sonuçları..... | 41 |
| Çizelge 3.21. Flotasyon deney - 6 koşulları..... | 42 |
| Çizelge 3.22. Flotasyon deney - 6 sonuçları..... | 42 |
| Çizelge 3.23. Flotasyon deney - 7 koşulları | 43 |
| Çizelge 3.24. Flotasyon deney - 7 sonuçları..... | 43 |
| Çizelge 3.25. Flotasyon deney - 8 koşulları | 44 |
| Çizelge 3.26. Flotasyon deney - 8 sonuçları..... | 44 |
| Çizelge 3.27. Flotasyon deney - 9 koşulları | 45 |
| Çizelge 3.28. Flotasyon deney - 9 sonuçları..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Çizelge 3.29. Flotasyon deney - 10 koşulları..... | 46 |
| Çizelge 3.30. Flotasyon deney - 10 sonuçları..... | 46 |
| Çizelge 3.31. Flotasyon deney - 11 koşulları..... | 47 |
| Çizelge 3.32. Flotasyon deney - 11 sonuçları..... | 48 |
| Çizelge 3.33. Manyetik ayırma deneyi sonuçları..... | 48 |
| Çizelge 4.1. Çakıllı değirmen boyutları ve çalışma koşulları..... | 54 |
| Çizelge 4.2. Spiral sınıflandırıcı boyutları..... | 54 |
| Çizelge 4.3. Hidrosiklon boyutları | 55 |
| Çizelge 4.4. Aşındırıcı karıştırıcı, flotasyon koşullandırma tankları ve hücre hacimleri | 55 |
| Çizelge 4.5. Bazı atıkların kimyasal bileşimi | 57 |

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

| | |
|-------------------------|-----------------|
| μm | Mikrometre |
| mm | Milimetre |
| Fe_2O_3 | Demir oksit |
| TiO_2 | Titanyum oksit |
| Al_2O_3 | Alüminyum oksit |
| C | Karbon |
| CaO | Kalsiyum oksit |
| MgO | Magnezyum oksit |
| Na_2O | Sodyum oksit |
| K_2O | Potasyum oksit |

Kısaltmalar

| | |
|------|-------------------------|
| XRD | X-ışını difraksiyon |
| XRF | X-ışını floresans |
| KYA | Kabaran yataklı ayırıcı |
| MIBC | Metil izobütil karbinol |
| HF | Hidroflorik asit |

1. GİRİŞ

Kil cevherlerinin zenginleştirilmesinde, kilin sulu ortamda dağıtıldıktan sonra boyuta göre sınıflandırılmasına dayanan akım şemaları yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu işlemde, çeşitli kademelerde ayrılan kuvars, feldispat, mika gibi endüstriyel mineraller içeren atıklar üretilmektedir.

Kil cevherlerini zenginleştirirken bu mineralleri yan ürün olarak elde eden tesisler bulunduğu gibi, kil ayrıldıktan sonra iri malzemeyi atık olarak depolayan tesisler de bulunmaktadır. Çevresel baskıların artışıyla atık depolama, taşıma ve bertarafı işletmelerin üretim yapabilmesi için giderek zorunlu hale gelmektedir.

Bu çalışmada, Bozüyük'te bulunan bir kil zenginleştirme tesisi atıklarından kuvarsın kazanılmasına yönelik zenginleştirme çalışmaları yapılmıştır.

Tesise 16 ayrı ocaktan gelen kil, dağıtma ve aşamalı sınıflandırma işlemlerinden sonra pres filtrede filtre edilmekte ve bantlı kurutucularda kurutularak ürünler sevkedilmektedir. Çeşitli tane boyunda iri malzeme önce tesis yakınına stoklanmakta, daha sonra da maden sahalarına nakledilmektedir.

Tesise beslenen tüvenan cevherin kimyasal bileşimi Çizelge 1.1'de verilmektedir.

Çizelge 1.1. Tesis beslemesi kimyasal analizi

| | SiO ₂ % | Al ₂ O ₃ % | Fe ₂ O ₃ % | C % |
|---------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|------|
| Besleme | 63.24 | 18.41 | 4.21 | 2.66 |

İri malzemenin büyük çoğunluğunun kuvarstan oluştuğu, ayrıca kil, siderit ve belirli ölçüde kömür içerdiği bilinmektedir. Yıllık olarak, 160,00 ton tüvenan cevherden 80,000 ton kil üretilirken, yapılacak olan yeni yatırımla 280,000 ton tüvenan cevherden 140,000 ton/yıl kil üretilmesi hedeflenmektedir. Tüvenan cevherin yaklaşık %50'si iri atık olarak ayrılmaktadır.

Kil zenginleştirme tesisi atıklarından kuvars konsantresi üretilebilirliğinin araştırılması çalışmanın amacını oluşturmaktadır. Çalışma kapsamında, laboratuvar zenginleştirme deneyleri sonunda belirlenen akım şemasının tesise uygulanması durumunda, tesisin madde denkleğinin ve kullanılacak ekipmanların boyutlandırılması da çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir.

Karakterizasyon çalışmalarında kullanılan numuneler tesiste iri malzeme stoğundan alınmıştır. Sonrasında tesiste tromel elek üstü, iri ve ince eleküstü ürünler bir ay boyunca biriktirilerek deneysel çalışmalarda kullanılacak numuneler elde edilmiştir.

Alınan numunelerin boyut dağılımı belirlenmiş ve kimyasal analizleri yapılmıştır. Cevher numuneleri -0.5 mm ye indirilerek, spiral zenginleştirme ile siderit uzaklaştırılmış sonrasında farklı koşullarda flotasyon testleri ve yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma testleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar tamamlandıktan sonra, 280,000 ton/yıl kapasiteli bir kil tesisinden kuvars ürünü elde etmek için akım şeması oluşturulmuş ve simülasyon yardımıyla tesisin tasarımı ve ekipman seçimi gerçekleştirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kil Tanımı

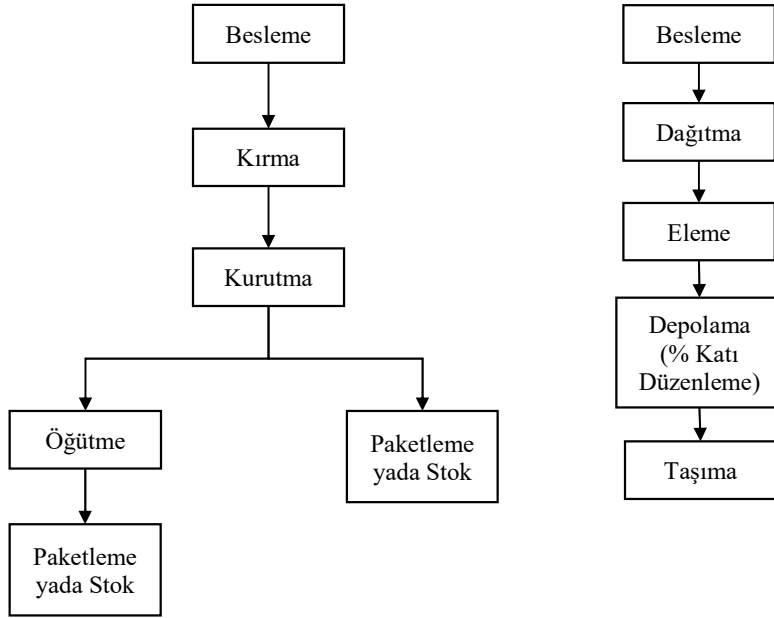
Kil, temelde kil mineralleri olarak bilinen bir grup sulu silikat mineralinden oluşan, ince taneli bir malzeme olarak tanımlanır. Bu mineraller esas olarak alümina, silika ve sudan oluşmaktadır ancak kayda değer miktarda demir, magnezyum ve alkaliler içerebilirler [1,2].

2.1.1. Kil Türleri ve Zenginleştirme Akım Şemaları

Kil minerallerinin farklı disiplinler tarafından farklı uygulamalarda kullanılması dolayısıyla bir çok şekilde sınıflandırması mevcuttur. Bu sınıflandırmalar, mineralojik özelliklerine göre, yapılarına göre, kimyasal içeriklerine göre, fiziksel özelliklerine göre ya da kullanım alanlarına göre olabilir. Kullanım alanlarına göre ise kiler altı farklı kil türü bulunmakta olup, bağlama kili, bentonit, refrakter kili, yıkama kili, paligorskit ve sepiolit kileri, adi kil, şeyller ve kaolinler şeklinde sınıflandırılmaktadırlar [3].

2.1.1.1. Bağlama Kili (Ball Clay)

Çoğu seramik ürününde dayanımı ve plastisiteyi artırması özellikleri dolayısıyla bağlayıcı olarak kullanılan kaolinitik bir sedimental kildir. İçerikleri değişken miktarda kaolinit, illitik mika yada serisit, ince kuvars ve az miktarda organik malzeme yada smektittir. Safsızlık olarak sıklıkla pirit, siderit, ve titanyum oksit bulundurmaktadırlar ve bu safsızlıkların türü ve miktarı, uygulama alanları ve proses şekilleri üzerinde etkilidir [1,4]. Bağlama kilinin basitleştirilmiş kuru ve yaş prosesi için akım şeması Şekil 2.1'de görülmektedir.

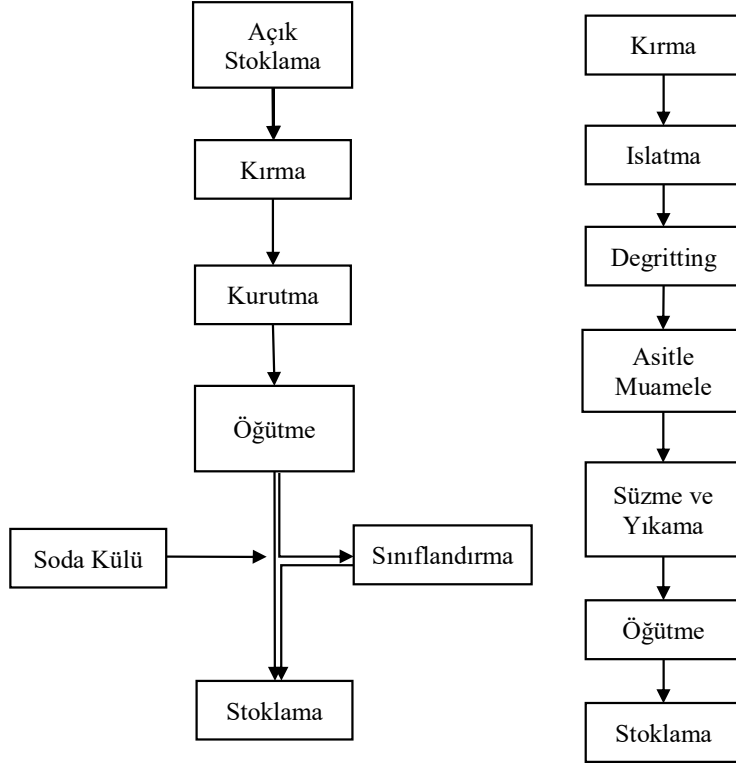


Şekil 1.1. Bağlama kilinin kuru ve yaş prosesi

2.1.1.2. Bentonit

Bentonit, aslında smektit grubu mineralleri içeren bir kil türüdür. Genelde sodyum bentonit (şişen) ve potasyum bentonit (şişmeyen) olarak ikiye ayrılır. Demir cevheri pelletlemesinde, sondaj çamurlarında, kedi kumlarında, döküm kumlarında kullanılmaktadır. İkincil olarak ise filtreleme, yağ temizleme, renk giderme maddesi olarak kullanımı mevcuttur. Kuru proses için ocaktan çıkarılan bentonit tüvenan halinde yüksek nem içeriğine sahipse öncelikle kurutulabilir. Sonrasında bir kırıcıdan geçirilerek kırılır. Kırılan malzeme tekrar kurutularak öğütmeye hazırlanır. Kurutulan malzeme değirmenler vasıtasıyla öğütülerek istenen tane boyuna indirilir. Özel bentonit ürünleri üreten bazı tesislerde malzeme öğütüldükten sonra havalı sınıflandırıcılar ile sınıflandırılabilir yada şişme özelliklerini artırmak için işlenmiş ürüne soda külü de eklenebilir [5,6].

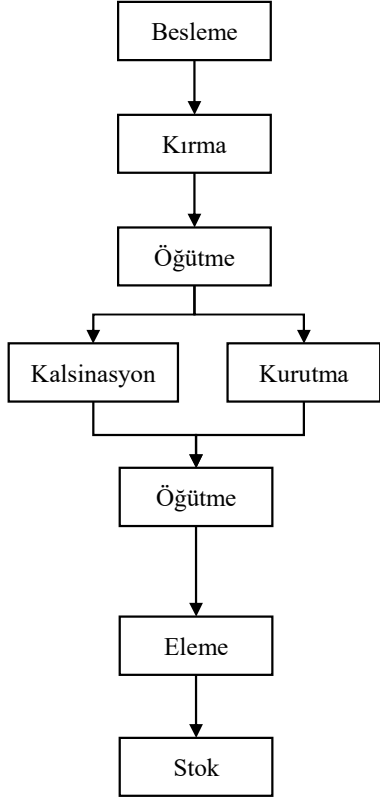
Basitleştirilmiş bentonit kuru ve asitle aktive edilmiş yaş prosesi Şekil 2.2’de görülmektedir.



Şekil 2.2. Bentonitin kuru ve asit aktive yaş prosesi

2.1.1.3. Refrakter Kili (Fire Clay)

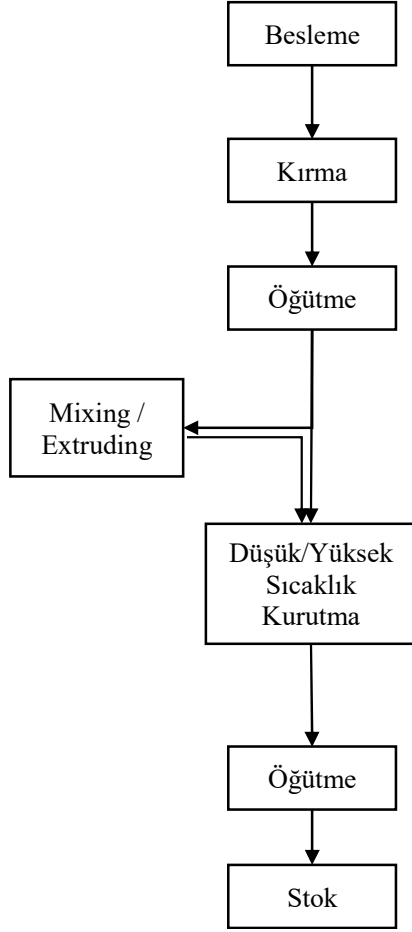
Refrakter kili prosesinde, ocaktan çıkarılan ham kil doğrudan tesise beslenirken bazı durumlarda 6 ila 12 ay arasında açık hava koşullarında bırakılarak donma ve çözülmenin malzemeyi parçalara ayırması ve plastisitesini artırması için bekletilir. Sonrasında malzeme kırılır ve öğütülür. Bu aşamada, kil yaklaşık %15 neme sahiptir. Belirli durumlarda malzemenin nem içeriğini %7 veya daha altına indirmek için termal kurutuculara ihtiyaç duyulur. Kilin refrakterliğini artırmak amacıyla kalsinasyon yapılabilir. Kalsine edilmiş kil, kalsine edilmemiş kile oranla daha yüksek dayanıma sahiptir. Kil kurutulduktan ya da kalsine edildikten sonra kırılır, öğütülür ve sınıflandırılır [7]. Basitleştirilmiş refrakter kili akım şeması Şekil 2.3'te görülmektedir.



Şekil 2.3. Refrakter kili prosesi

2.1.1.4. Yıkama Kili (Fuller's Earth)

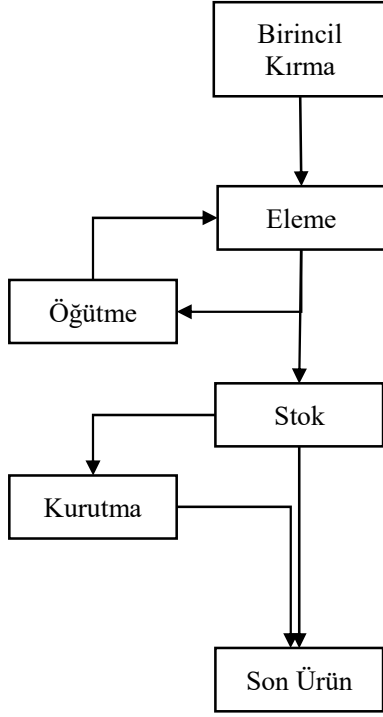
Tüvenan kil, kırma ve öğütme proseslerinden sonra stoklanır. Kurutmadan önce istenen ürün spesifikasyonları doğrultusunda ikincil bir öğütme yapılabilir. Sonrasında döner fırınlarda yada akışkan yataklı kurutucularda kurutulur. Bazı durumlarda kurutma yerine kalsinasyon kullanılabilir. Kurutulan malzeme tekrar öğütülüp elenerek satışa hazır hale getirilir [7]. Yıkama kili prosesi Şekil 2.4'te görülmektedir.



Şekil 2.4.Yıkama kili prosesi

2.1.1.5. Sıradan Kil ve Şeyl (Common Clay and Shale)

Sıradan kil ve şeyl genellikle son ürünü üretmek için aynı sahada çıkarılır ve işlenir. İşleme genellikle birincil kırma veya stoklama ile başlar. Malzeme daha sonra öğütülür ve elenir. İri malzemenin istenen boyuta indirilmesi için ikincil bir öğütme yapılabilir. Bazı durumlarda nem içeriğinin istenen seviyelere inmesi için kurutma yapılmaktadır. [1]. Sıradan kil ve şeyl prosesi Şekil 2.5'te görülmektedir.

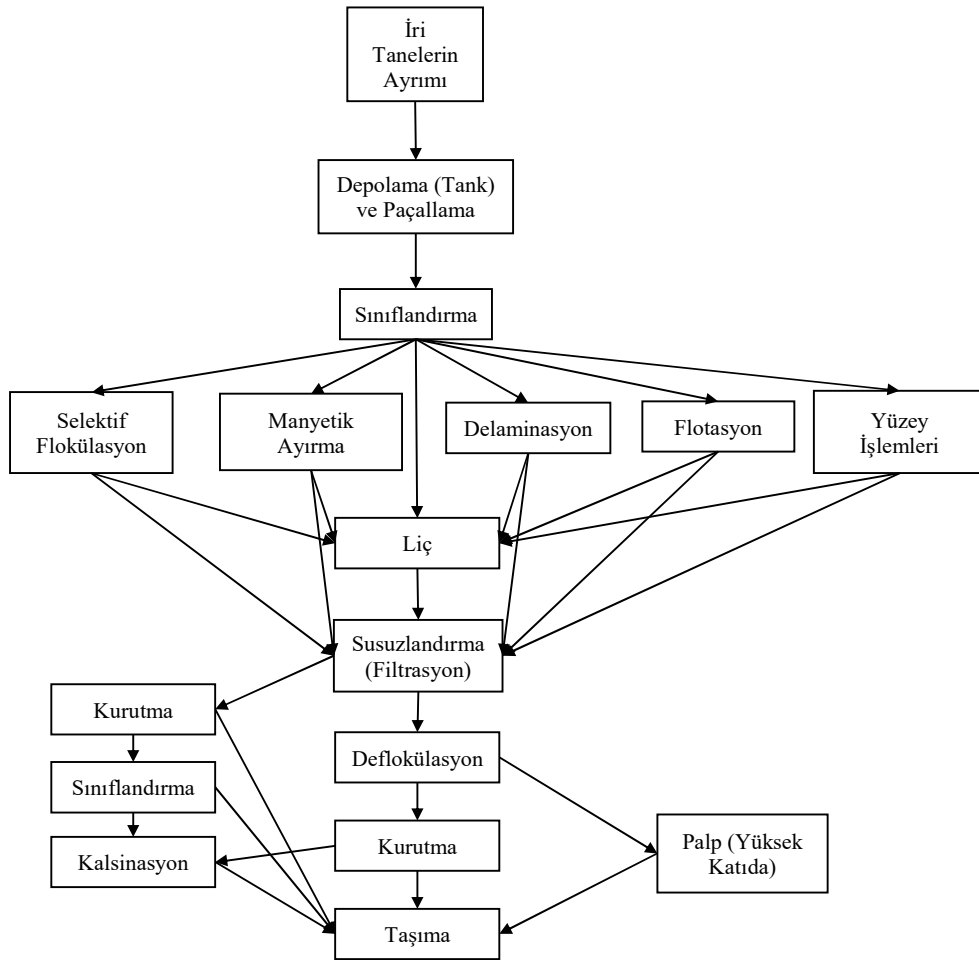


Şekil 2.5. Sıradan kil ve şeyl prosesi

2.1.1.6. Kaolin

Basitleştirilmiş akım şeması Şekil 2.6'da görülen kaolin, ilk olarak su ve dağıtıcı(dispersant) ile karıştırılması için %40 ile %60 arasında bir katı oranında kil açıcıya (blunger) beslenir. Kil açıcı , yüksek güçte bir motora sahip bir karıştırıcıdır ve iri kaolin parçalarını dağıtmak amacıyla kullanılır. Açılan tanelerin tekrar floküle olmaması için kimyasal bir dağıtıcı eklenmesi ise zaruridir. Kaolin kristallerinin üzerindeki pozitif ve negatif yükler, dağıtıcı kimyasalların yokluğunda birbirine doğru çekilmesi ile flokülasyona sebep olmaktadır. Bu amaçla genelde sodyum silikat, sodyum hegzametafosfat, sodyum poliakrilat kullanılmaktadır. Kaolin dağıtılıp palp haline getirildikten sonraki aşama ise iri tanelerin ayrılmasıdır. Kaolin içerisindeki iri taneleri ise genelde kuvars kumu, mika ve birtakım ağır mineraller oluşturur. Bu safsızlıkların ayırımında ağır ve iri minerallerin çöktürülmesi prensibine dayanarak çalışan bir ekipman (dragbox) kullanılmaktadır. Bu işlem için aynı zamanda hidroseparatorler yada hidrosiklonlar da kullanılmaktadır. İri taneler ayrıldıktan sonra, palp kalite kontrolü için tanklara pompalanır. Sonraki aşamada kaolin iri ve ince fraksiyonlara ayrılır, bu işlem için ise santrifüjler, hidroseparatorler ve hidrosiklonlar kullanılmaktadır. İri fraksiyon

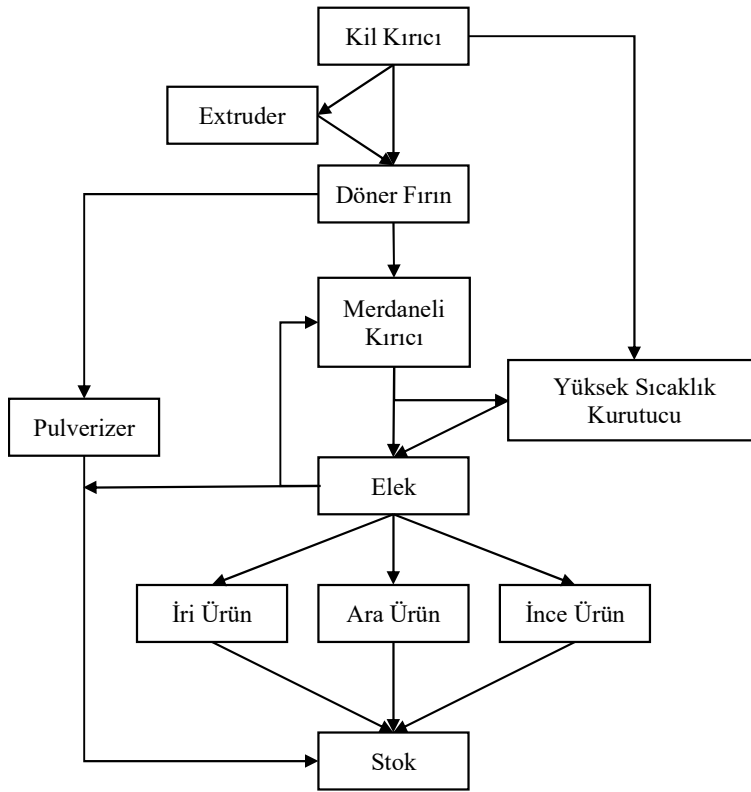
delaminasyon işlemine tabi tutulabilir yada filtrelenip kurutularak dolgu kili olarak kullanılabilir. İnce fraksiyon ise içerisindeki demir ve titanyum minerallerinin ayrımı için yüksek alan şiddetli bir manyetik ayırıcıya beslenebilir yada bu ayrım için seçimli flokülasyon veya flotasyon yöntemleri kullanılabilir. Bu aşamalardan sonra ise ince fraksiyon flokülasyon ve liç aşamasına gider. Flokülasyon ve liç aşamasında, kaolin yüzeylerinde kalmış, manyetik ayırma veya flotasyon aşamasında ayrımı sağlanamamış demir bileşiklerini çözmek amacıyla palp pH'ı 2.5- 3 arasına düşürülür. Flokülasyon ve liç aşaması ise palpın pH'ının 2.5 ile 3 arasına düşürülüp kaolin yüzeylerinde kalmış ve manyetik ayırma veya flotasyon aşamalarında ayrımı sağlanamamış olan demir bileşiklerini çözmek için uygulanmaktadır. Bu aşamadan sonra floklanmış palp suyun ve çözünmüş demirin ayrılması için filtre işlemine tabi tutulur. Filtre işleminden elde edilen üründe %60-65 katı elde edilir. Sonraki aşamada filtre keki kurutularak son ürün elde edilir [8].



Şekil 2.6. Kaolin prosesi akım şeması

2.1.1.7. Paligorskit ve Sepiolit

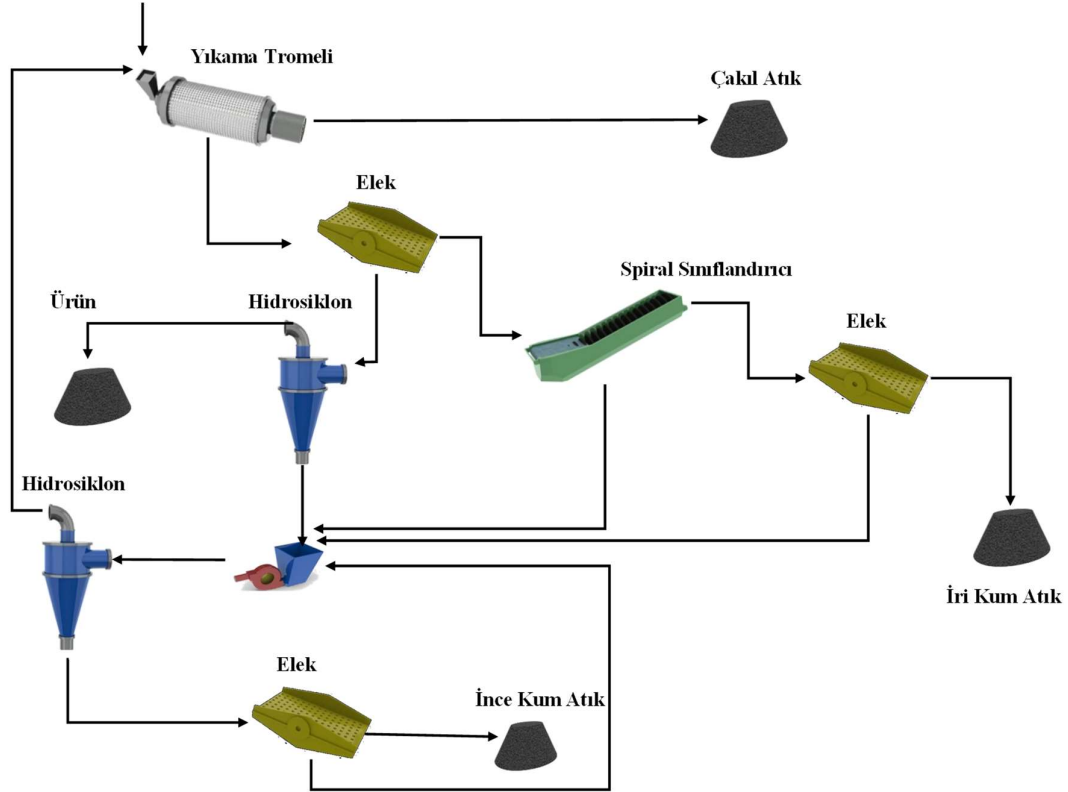
Paligorskit ve sepiolit killeri, tüvenan halde %40-50 civarında uçucu madde içermektedirler. Ham kil öncelikle kırılır akabinde direkt olarak kurutuculara ya da extruderlere sevk edilir. Bazı durumlarda kilin viskozitesinin artırılması amacıyla extruderde MgO eklenmektedir. Paligorskit ve sepiolit orta sıcaklıklarda kurutulduğunda koloidal özelliklerini korurken, daha yüksek sıcaklıklarda kurutma, kile emici özellik kazandırmaktadır. Bu nedenle kurutma, iki kademeli olarak nispeten düşük ve yüksek sıcaklıkta yapılmaktadır. Kurutma sonrası kil, merdaneli kırıcılara taşınmaktadır ve ardından iri, ara ve ince ürün olarak ayrılacakları eleklerle gitmektedir. Kurutma sonrası istenen ürün ince ise doğrudan öğütmeye gitmektedir [8]. Şekil 2.7’de paligorskit ve sepiolit prosesi akım şaması verilmektedir.



Şekil 2.7. Paligorskit ve sepiolit prosesi akım şeması

2.1.2. Mevcut Tesis Akım Şeması

İnce boyda bulunan kilin kazanımı amacıyla, tümüyle sınıflandırma ekipmanlarından oluşan tesiste, besleme, işlevi kilin dağıtılması ve en iri boydaki atığın ayrılması olan 8mm açıklığa sahip bir tromele yapılmaktadır. Bu boydan ince ürün 350 µm açıklığa sahip elekten elenmekte ve eleğin iri fraksiyonu, kalan kilin kazanımı amacıyla spiral sınıflandırıcıdan geçmekte ve susuzlandırılarak atılmaktadır. 350 µm açıklığa sahip eleğin ince ürünü ise hidrosiklon aracılığı ile sınıflandırıldıktan sonra, hidrosiklonun üst akımı, kil ürünü olarak ayrılıp filtre edilmektedir. Hidrosiklonun alt akımı ise spiral sınıflandırıcının ince ürünü ve susuzlandırma eleğinin incesi ile birleşerek başka bir hidrosiklona beslenmektedir. Bu hidrosiklonda ise kil kaçağının azaltılması ve su tüketiminin azaltılması amacıyla üst akım tekrar tromel dağıtıcıya beslenmekte, hidrosiklonun alt akımı ise susuzlandırılarak atılmaktadır. Mevcut kil yıkama tesisi akım şeması Şekil 2.8’de verilmektedir.



Şekil 2.8. Mevcut tesis akım şeması

2.2. Kuvars

Kuvars mineralinin formülü SiO_2 ' dir ve teorik olarak % 46.5 Si ve % 53.3 O içerir. Özgül ağırlığı 2.65 g/cm^3 , sertliği 7 ve ergime sıcaklığı 1785°C ' dir. Yerkabuğunda sık bulunan kuvars, yüksek saflıklarda endüstriyel açıdan büyük öneme sahiptir [1,9,10]. Kuvars, şeffaf veya opak, renksiz veya beyaz, kırmızı, pembe, mavi, mor gibi çeşitli renklerde olabilmektedir. Kuvars ürünü üretiminde kullanılan birkaç farklı cevher yatağı türü bulunmaktadır. Bu cevher yatakları kuvars damarları yada kuvarsit gibi yüksek saflıklarda SiO_2 içerebilirken, kumtaşı yatakları gibi demir oksit alüminyum oksit, kalsiyum oksit ve kil gibi safsızlıkları içerebilir. Yüksek kaliteli kuvars açısından Brezilya dünyanın en büyük rezervlerine sahiptir. Bilinen doğal ve saf kuvars rezervleri açısından Brezilya' dan sonra ABD, Çin, Hindistan, Angola, Madagaskar, Namibya yer almaktadır.

2.2.1. Kuvarsın Kullanım Alanları ve Standartları

En önemli endüstriyel hammaddelerden biri olan kuvars, birçok alanda kullanılmaktadır. Uygulama alanları için fiziksel özelliklerinin yanında kimyasal bileşimi oldukça önemlidir. Yüksek saflıktaki kuvars ürünleri, elektronik ve elektrik sanayi, güneş paneli üzerimi ve optik uygulamalarında kullanılmaktadır. Kimya endüstrisinde, metal silikon ve pota üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca cam, deterjan, boya, seramik, dolgu ve metalurji endüstrisinde en yaygın kullanılan hammaddelerden biridir [9,1,11].

Kuvars ürünlerinin kullanım alanları ve bu kullanım alanlarına ait standartlar Çizelge 2.1' de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Kuvarsın kullanım alanları ve standartları

| | |
|--------------|--|
| Döküm sanayi | Tane boyu 0.7mm'den ince 0.1 mm'den iri olmalı ve 1500 C' altında sinterleşmemeli. İçeriğinde ise minimum %95 SiO_2 'ye sahip olması, Fe_2O_3 , CaO ve alkali miktarlarının toplamının %0.6'nın altında olması gerekmektedir. |
| Cam sanayi | Tane boyunun 0.5mm'den ince 0.106 mm'den iri ve en az %98 SiO_2 içeriğine sahip olması gerekmektedir. |

| | |
|---------------------------------|--|
| Cüruf yapıcı | En az %90 SiO ₂ içeriğine sahip olmalı ve Fe ₂ O ₃ oranının en fazla %1.5 MgO ve CaO içeriğinin ise en fazla % 0.2 olması gerekmektedir. |
| Silikon ve ferrosilikon üretimi | En az %96 SiO ₂ içeriğine sahip olmalı, Al ₂ O ₃ ve Fe ₂ O ₃ içeriği en fazla %0.2 olmalı. |
| Gaz beton üretimi | Ytong tipi, yapı kumu ve pres tuğla yapımında SiO ₂ içerikleri sırasıyla %75.5, %95, %80 olmalıdır. |
| Seramik çamuru üretimi | En az %90 – 92 SiO ₂ ve en fazla % 6-8 Al ₂ O ₃ , %0.5 Fe ₂ O ₃ , %0.45 TiO ₂ içermelidir. |
| Dolgu Malzemesi | En az %99.3 SiO ₂ ve en fazla %0.06 Fe ₂ O ₃ , %1.1 Al ₂ O ₃ , %0.02 TiO ₂ , %0.04 CaO içermelidir. |
| Yarı-İletken, LCD ve Optik Cam | En az %99.8 SiO ₂ ve diğer safsızlıklar toplamı en fazla % 0.2 olmalıdır. |
| Güneş Paneli | Değerler ppm cinsinden olmak üzere, en fazla 14 Al, 0.1 B, 0.6 Ca, 0.007 Cr, 0.019 Cu, 0.3 Fe, 0.7 K, 0.5 Li, 0.04 Mg, 0.029 Mn, 1 Na, 0.001 Ni, 0.1 P, 1.2 Ti ve 0.01 Zn içermelidir. |

2.2.2. Kuvars Zenginleştirme Yöntemleri

Kuvars minerallerini içeren cevher oluşumları, istenilen kuvars minerali yanında istenmeyen safsızlıkları da (demir oksit, rutil, zirkon vb.) içermektedir. Teknolojinin ihtiyaç duyduğu koşulları sağlamaları için bu safsızlıklardan uzaklaştırılması gerekmektedir. Kuvars zenginleştirme yöntemleri, cevheri oluşturan kuvars ve yanındaki safsızlıkların fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre değişmektedir. Kuvarsın zenginleştirilmesinde, gravite ile zenginleştirme, manyetik ayırma, aşındırma, flotasyon, asit ve alkali liçi gibi yöntemler kullanılmaktadır. Safsızlıkların türü, miktarı, boyutu ile değişmekle birlikte bu yöntemler tek başına veya birlikte uygulanmaktadır [12, 13, 14].

2.2.2.1. Aşındırıcı Karıştırma

Bu yöntem nispeten düşük safsızlığa sahip ve mineral yüzeylerinde kil ve/veya metal oksit bulunduran kuvars cevherlerinde uygulanmaktadır. Kuvarsın yüzeyinde bulunabilen demir oksit, titanyum oksit gibi safsızlıkların yüksek katı oranlarında, NaOH veya HCl gibi kimyasallar ile karıştırılarak çözünmesi ve safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla kullanılmaktadır [15, 16]. Kuvars yüzeyini kille kaplı olduğu durumlarda kimyasal eklemesi gerektirmez. Bu durumlarda sadece yüksek katı oranlarında karıştırmak yeterli olmaktadır [17].

2.2.2.2. Manyetik Ayırma

Kuvarsın hammadde olarak kullanıldığı endüstrilerde demir içeriği istenmemektedir. Bu gereklilikten dolayı bütün endüstri dallarında demir içerikli minerallerinin uzaklaştırılması zorunlu bir hal almıştır [17]. Kuvars minerallerinin zenginleştirilmesinde, ekonomikliği ve yüksek verimliliği açısından manyetik ayırma uygulanmaktadır. Bu yöntem, kuvars minerallerinin kalitesini düşüren ve kullanıldıkları endüstri dalında istenmeyen demir içerikli, hematit, siderit gibi, renk verici safsızlıkların manyetik alınganlıklarından yararlanılarak uzaklaştırılması esasına dayanmaktadır. Bu ayırmada genellikle yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcılar kullanılmaktadır [18,19].

2.2.2.3. Gravite Ayırımı

Kuvars mineralini bulunduran cevher yataklarında, kuvars mineralinin eşlik ettiği diğer mineraller arasında yoğunluk farkı olduğu durumlarda gravite ile zenginleştirme yöntemi uygulanmaktadır. Genellikle demir içerikli ve yüksek yoğunluklu minerallerin düşük işletim maliyeti ile ayrılması amacıyla kullanılmaktadır [20]. Genellikle iri boyda yapılan bu ayırım için sallantılı masa, spiral gibi ekipmanlar kullanılmaktadır [21].

2.2.2.4. Sensör Temelli Ayırım

Kuvarsın zenginleştirilmesinde/ön-zenginleştirilmesinde kullanılan bu yöntem tanelerin, ışığın farklı spektrumlarındaki görünüm farklarına dayanarak ayırım yapmaktadır. Görece iri boylarda çalışan bu yöntem kuvarsın içindeki veya yüzeyindeki safsızlıkların yarattığı görünüm/reng farklılıklarının analiz edilip, ayırımının gerçekleştirilmesinde etkili bir yöntem olarak tercih edilmektedir [22,23].

2.2.2.5. Flotasyon

Kuvars mineralinin zenginleştirilmesinde flotasyon yöntemi önemli bir yer almaktadır. Serbestleşme boyunun ince olduğu ve fiziksel yöntemlerin yetersiz kaldığı durumlarda kullanılmaktadır. Kuvars zenginleştirilmesinde ayrılması istenen safsızlıkların (siderit, limonit, zirkon vb.) miktarının, kuvars miktarına oranla çok daha düşük olması nedeniyle, ters flotasyon yöntemi tercih edilmektedir. Kuvars mineralinin flotasyonunda en çok dikkat edilmesi gereken husus kuvarsın canlanmasının engellenmesidir. Flotasyon yönteminde özellikle demir içeren safsızlıklar bulunması durumunda, hafif asidik veya bazik ortamda hidroliz olan demir iyonu kuvarsın yüzeyine adsorblanarak, yüzeyinin pozitif yüklenmesine sebep olur. Bundan dolayı, kuvarsın zenginleştirilmesinde içerdiği safsızlıklardan uzaklaştırmak için asidik ortamda (pH 2-3) sülfonat vb.gibi toplayıcılar ile ters flotasyon yapılmaktadır [24].

Feldispat cevherlerinden kuvars kazanımı ise yine ters flotasyon yöntemi uygulanarak sağlanmaktadır. İlk aşamada mikanın yüzdürülmesi için pH, sülfürik asit eklemesiyle 2,5-3'e düşürülmekte ve amin türü bir toplayıcı aracılığıyla yüzdürülebilmektedir. Sonraki aşamada demir içeren mineraller pH 3-3,5 arasına ayarlanarak anyonik toplayıcılar (yağ asitleri veya petrol sülfonatları) ile yüzdürülür. Renkli minerallerin ayrılmasından sonraki aşama ise kuvars feldispat ayırımıdır. Feldispat kuvars ayırımında geleneksel olarak HF (hidroflorik asit) kullanılan amin flotasyonu uygulanmaktadır. Bu amaçla, ortam pH'sı 2,5-3'e ayarlandıktan sonra HF varlığında feldispat, uzun zincirli bir amin ve köpürtücü ile yüzdürülerek kuvarstan ayrılmaktadır. Bu ayırmda HF feldispat canlandırıcı etkisinin yanında kuvarısı da bastırıcı bir etki göstermektedir [25,26].

Kuvarsın normal flotasyonu anyonik ve katyonik toplayıcılar ile yapılması şeklinde iki şekilde sınıflandırılabilir.

Katyonik toplayıcılar ile kuvars flotasyonu: Katyonik toplayıcılar (amin) ile kuvarsın düşük pH (2.5-3) aralığında yüzdürülmesi esasına dayanmaktadır. En çok dikkat edilmesi gereken durum daha yüksek pH'larda Fe, Ca ve Mg iyonları kuvarsın yüzeyine adsorplanarak yüzeyinin pozitif olmasıdır. Bu durumda kullanılan toplayıcı kuvars yüzeyini hidrofobik yapamayacağından flotasyon işlemi başarısız olacaktır. Bu yüzden kuvars mineralinin katyonik toplayıcılar ile yüzdürülmesinde pH ölçümlerinin çok dikkatli alınmasının önemi artmaktadır.

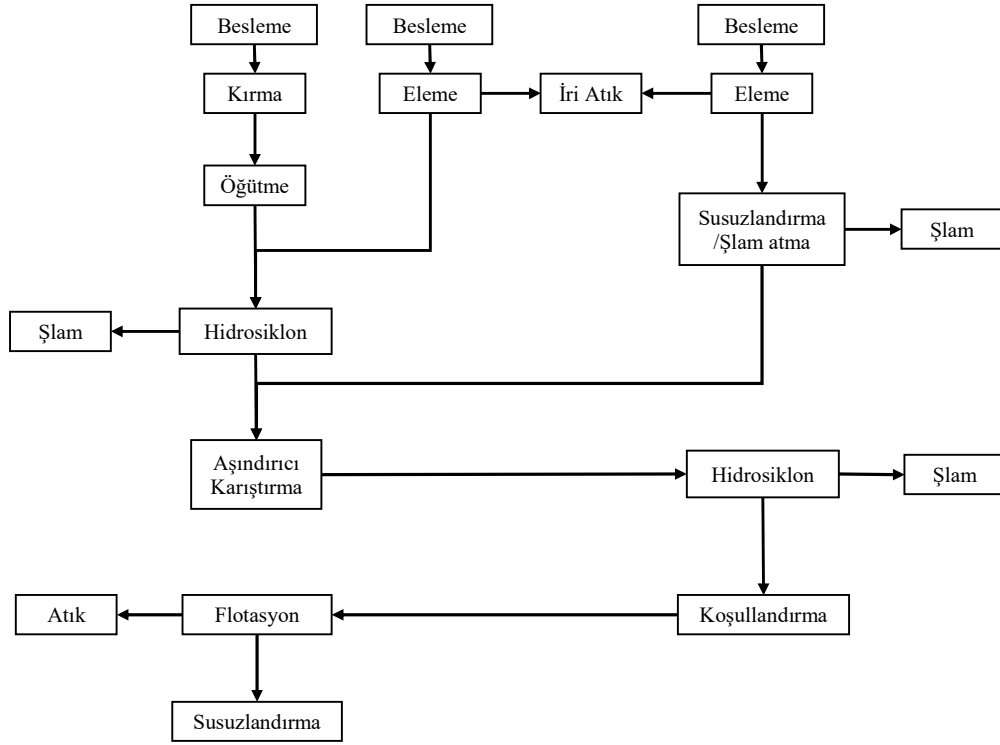
Anyonik toplayıcılar ile kuvars flotasyonu: Kuvarsın anyonik toplayıcılarla yüzdürülmesi, yüzey yükünün pH 2.5'nin üzerinde negatif olması sebebiyle mümkün olmamaktadır. Ancak bakır, çinko, kurşun, demir tuzları gibi canlandırıcılar aracılığıyla yüzey yükü değiştirilerek kuvars flotasyonu mümkün olmaktadır [27].

2.2.2.6. Liç

Kuvars zenginleştirilmesinde kullanılan fiziksel ve fizikokimyasal yöntemlerin etkin olmadığı durumlarda, yüksek saflıkta kuvars üretimi için liç yöntemi uygulanmaktadır. Bilhassa optik cam, fiber optik ve yarı iletkenlerin hammadesi olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Kimyasal zenginleştirme yöntemi olarak sülfürik asit liçi, hidroflorik asit liçi, okzalik asit liçi ve klorlama yöntemleri uygulanabilmektedir. Yöntem, kuvars cevherinde bulunan metal içeriğinin, çeşitli kimyasallar aracılığıyla çözeltiye alınması ve katıdan ayrılması ile kuvarsın saflaştırılmasını içerir [28].

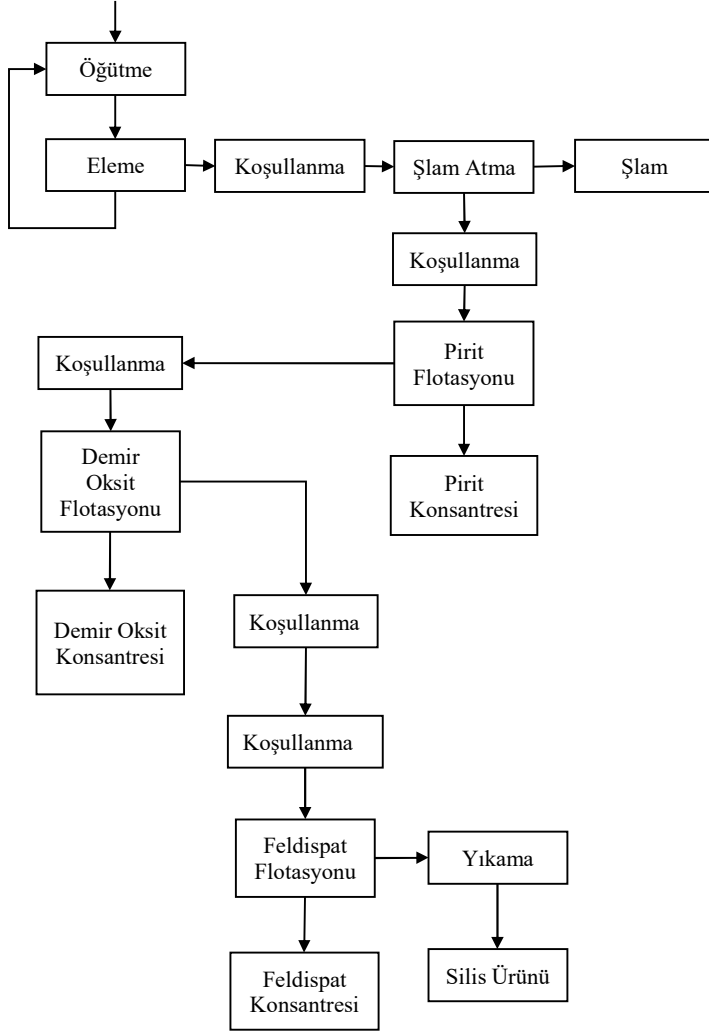
2.2.3. Kuvars Zenginleştirme Akım Şemaları

Silika kumunun, kum taşı ocağı, kuru ve yaş kum ocağı olmak üzere üç farklı besleme türünden zenginleştirilmesi Şekil 2.9'da verilmektedir. Kumtaşı beslemesi kırma ve öğütme gerektirirken, kum ocakları iri boydaki malzemenin elenerek atılması sonrasında işlenebilmektedir. Flotasyon beslemesini oluşturabilecek boya öğütülen/sınıflandırılan malzeme içeriğindeki şlamın atılması için bir hidrosiklondan geçmekte, arkasından yüksek katı oranlarında, kuvars tanelerinin yüzeylerinin temizlenmesi amacıyla aşındırıcı karıştırma işlemine tabi tutulmaktadır. Aşındırıcı karıştırma ile kuvars yüzeylerinden ayrılan şlamın atılması için ikinci bir siklon grubuna pompalanmaktadır. Tekrar şlamı atılan malzeme yüksek yüzde katı oranlarında, düşük pH'da toplayıcı ile koşullandırılır. Koşullandırılan malzeme %25 – 30 katı oranlarına seyreltilir ve flotasyon hücresine beslenir. Flotasyon kademesinde ise mika, demir ve feldispat gibi safsızlıklar yüzdürülerek kuvars temizlenir [29].



Şekil 2.9. Kuvars zenginleştirme akım şeması

Silis kumu yataklarının pirit, demir oksit ve feldispat gibi farklı safsızlıkları içerdiği durumlarda silika zenginleştirilmesi, aşındırıcı karıştırma ile yüzey temizlemesinin akabinde üç aşamalı bir flotasyon prosesi gerektirir. İlk aşamada sülfürlü flotasyonu, hafif asidik pH'da (6.0) ksantat yada merkaptan türü toplayıcılar kullanılarak gerçekleştirilir. Sonrasında demir oksitler, pH 2.3 ile 3.5 arasında petrolyum sülfonat toplayıcıları ve feldispat ise pH 2.1 ile 2.8 arasında tallow amin asetat, coco amin asetat yada tallow amin oleatlar kullanılarak yüzdürülerek kuvars zenginleştirilir [15]. Şekil 2.10'da kuvars zenginleştirme akım şeması verilmektedir.



Şekil 2.10. Kuvars zenginleştirme akım şeması

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malzeme

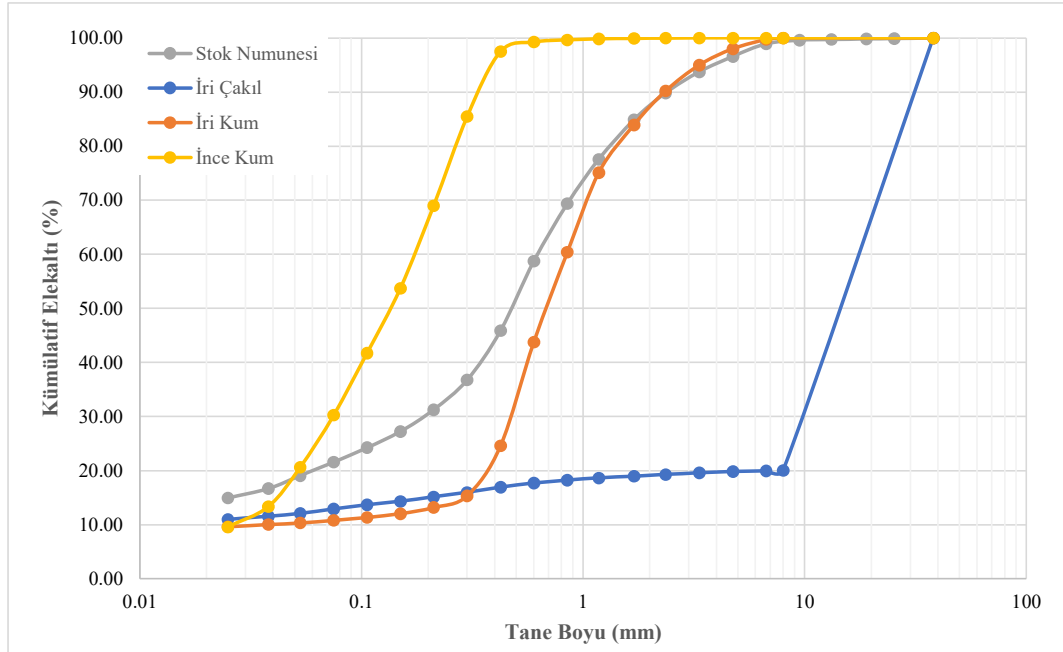
Bu tez çalışmasında, Bilecik ili Bozüyük ilçesinde bulunan bir kil yıkama tesisinin atıkları kullanılmıştır. Tesisten üç farklı irilikte çıkan bu malzeme, birlikte stoklandığından, hem mevcut stoktan alınan kompozit malzeme ile hem de tesisten çıkan üç farklı irilikteki atık numuneleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.1.1. Karakterizasyon Çalışmaları

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeye ait karakterizasyon çalışmaları verilmektedir. Karakterizasyon çalışmalarında malzemenin boyut dağılımı, kimyasal bileşimi ve XRD yöntemi ile mineralojik bileşimi belirlenmiş, ayrıca ağır sıvı analiziyle yoğunluk dağılımı ve Bond bilyalı değirmen iş indeksi tayini ile öğütülebilirliği belirlenmiştir.

3.1.1.1. Elek Analizleri ve Kimyasal Analizler

Tez çalışması kapsamındaki deneylerde kullanılan dört farklı numunenin beslemelerine ait tane boyu dağılımları Şekil 3.1’de verilmektedir. Bu tane boyu dağılımları yaş elek analizi yöntemi ile belirlenmiştir.



Şekil 3.1. Deneysel numunelerine ait tane boyu dağılımları

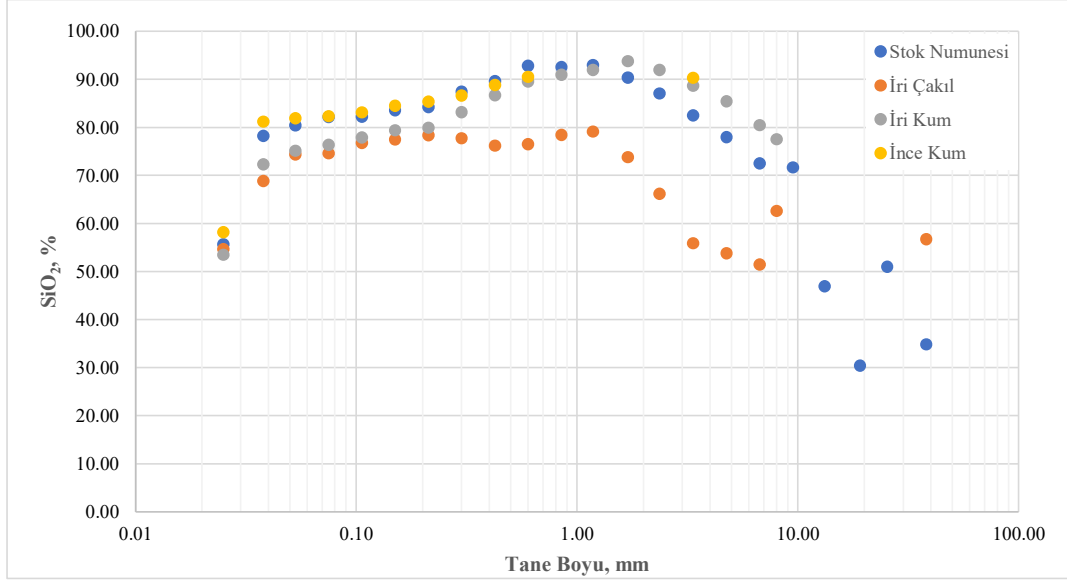
Tez kapsamında yapılan kimyasal analizlerin tümü XRF yöntemi ile Esan laboratuvarlarında yapılmıştır. Besleme numunelerine ait kimyasal analizler Çizelge 3.1’de verilmektedir. Analizler incelendiğinde, iri çakıl numunesinin SiO₂ içeriğinin diğer numunelere kıyasla daha düşük olduğu, Fe₂O₃, Al₂O₃ gibi safsızlıkların ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Stok numunesi, iri kum ve ince kumun ise yakın içeriklere sahip olduğu, silis açısından en yüksek ve safsızlıklar açısından en düşük içeriğe sahip numunenin ise iri kum numunesi olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1. Deney numunelerine ait kimyasal analizler

| Analiz, % | Stok Numunesi | İri Çakıl | İri Kum | İnce Kum |
|--------------------------------|---------------|-----------|---------|----------|
| SiO ₂ | 83.38 | 69.50 | 86.17 | 81.95 |
| Al ₂ O ₃ | 6.47 | 12.01 | 5.00 | 7.29 |
| Fe ₂ O ₃ | 2.98 | 5.25 | 2.67 | 3.64 |
| TiO ₂ | 0.31 | 0.62 | 0.20 | 0.45 |
| CaO | 0.62 | 2.18 | 0.54 | 0.58 |
| MgO | 0.48 | 0.95 | 0.47 | 0.57 |
| Na ₂ O | 0.12 | 0.08 | 0.09 | 0.13 |
| K ₂ O | 0.71 | 0.92 | 0.44 | 1.16 |
| C | 1.18 | 1.45 | 1.20 | 0.81 |
| A. Z. | 4.88 | 8.44 | 4.38 | 4.18 |

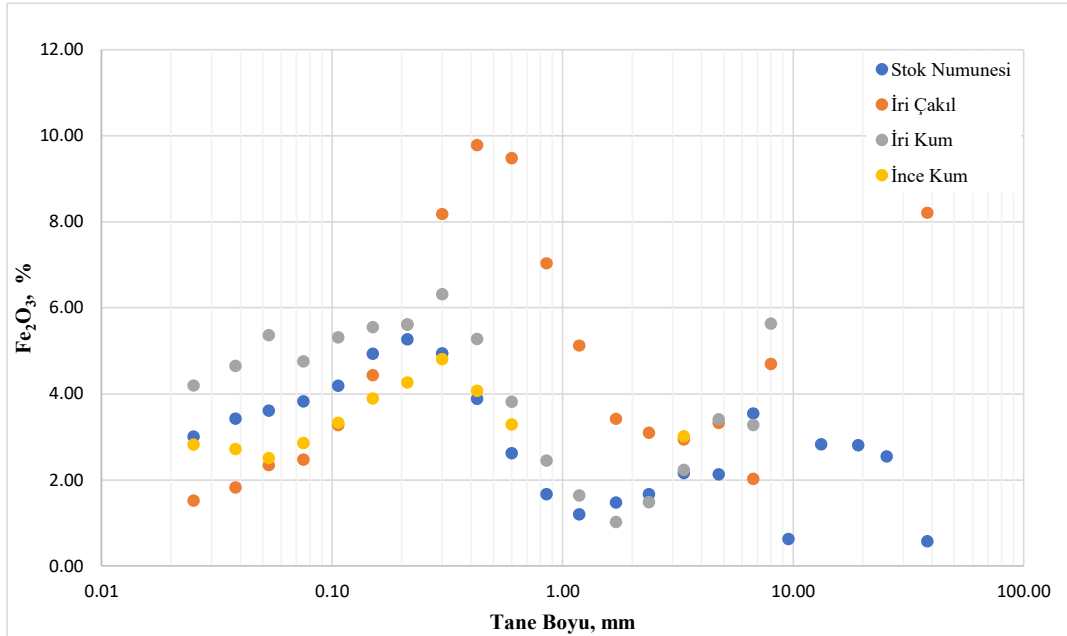
3.1.1.2. Fraksiyonel Kimyasal Analizler

Deney numunelerine ait, Şekil 3.2’de verilen, tane boyuna karşılık silis içeriği grafiği incelendiğinde, stok numunesi, iri kum ve ince kum numunelerinin benzer tane boylarında benzer silis içeriklerine sahip olduğu, iri çakıl numunesinin tüm fraksiyonlarda diğer numunelere kıyasla daha düşük SiO₂ değerlerine sahip olduğu ve numunelerin tümünde iri boylarda ve en ince boy olan 25 µm’da silis içeriğinin düştüğü görülmektedir.



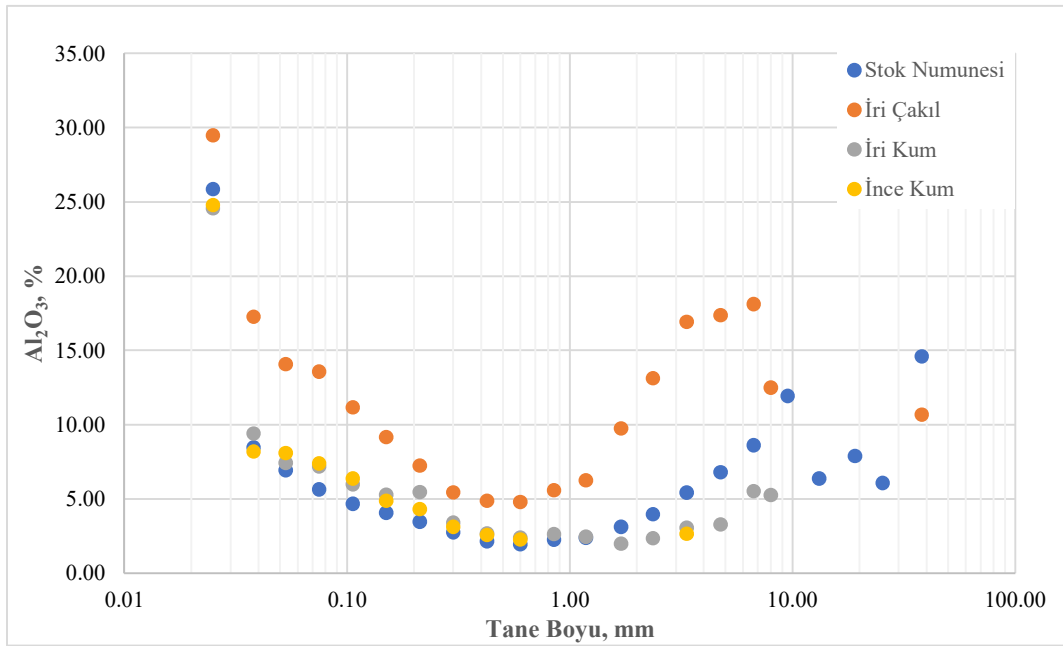
Şekil 3.2. Deney numunelerine ait fraksiyonel SiO₂ analizi

Fraksiyonel Fe₂O₃ demir içerikleri Şekil 3.3'te verilmektedir. Grafik incelendiğinde ise dağılımın düzensiz olduğu ve ara boylarda yükseldiği görülmektedir. Demir açısından en yüksek safsılığa sahip numunenin ise iri çakıl numunesidir.



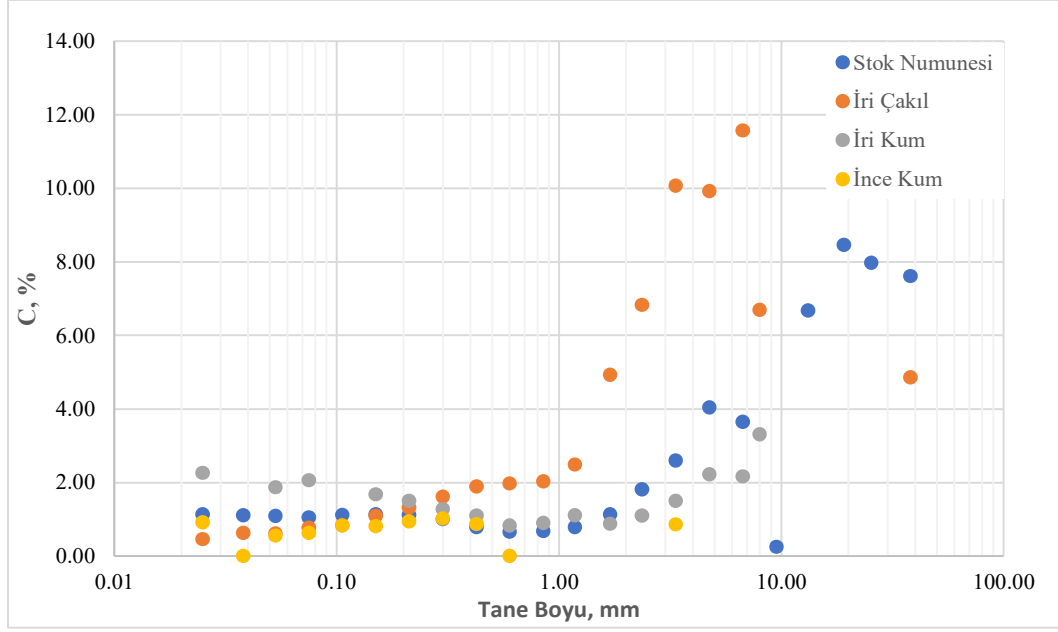
Şekil 3.3. Deney numunelerine ait fraksiyonel Fe₂O₃ analizi

Besleme numunelerine ait Şekil 3.4'te verilen fraksiyonel Al_2O_3 analizi grafiği incelendiğinde, ara boylarda Al_2O_3 değerlerinin tüm numunelerde düştüğü, ince ve iri tane boylarında yükseldiği görülmektedir. Stok numunesi, iri kum ve ince kum numunelerinin özellikle ince boylarda benzer içeriklere sahip olduğu ancak iri çakıl numunesinde Al_2O_3 değerlerinin her fraksiyonda daha fazla olduğu görülmektedir. En ince fraksiyon olan $-25 \mu m$ fraksiyondaki Al_2O_3 içeriğinin diğer fraksiyonlara kıyasla çok yüksek olmasının sebebi tesis verimsizliğinden kaynaklanan ve atıkta kalan kil içeriğidir.



Şekil 3.4. Deney numunelerine ait fraksiyonel Al_2O_3 analizi

Şekil 3.5'te verilen fraksiyonel karbon analizi incelendiğinde ise tüm numunelerin iri boylarında karbon miktarının arttığı, bu artışın ise en çok iri çakıl numunesinde olduğu görülmektedir. İri fraksiyonlardaki karbon ise çoğunlukla kömürden oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Deney numunelerine ait fraksiyonel karbon analizi

3.1.1.3. Ağır Sıvı Deneyleri

Stok numunesi 1mm ve 0.2mm'den elenerek iki fraksiyona ayrılmış, 2.1 g/cm^3 ve 2.85 g/cm^3 yoğunluklarında ağır sıvı deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonuçlarını içeren Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3 incelendiğinde beslemenin her iki fraksiyonda da büyük çoğunluğunun $2.1 \text{ g/cm}^3 - 2.85 \text{ g/cm}^3$ yoğunlukları arasında olduğu ve bu yoğunluk aralığında, karbon içeren kömür tanelerinin 2.1 g/cm^3 yoğunluğunda yüzmesi ve Fe_2O_3 içeren siderit tanelerinin 2.85 g/cm^3 yoğunluğunda batması dolayısıyla, SiO_2 içeriğinin yükseldiği görülmektedir. Ancak, iri fraksiyonda daha yüksek olmak üzere her iki boyut fraksiyonunda da, bağlılık sebebiyle 2.1 yüzen ve 2.85 batan ürünlerinde SiO_2 içeriği bulunmaktadır. Çizelgeler incelendiğinde kömüre bağlı karbonun iri fraksiyonda bulunduğu, ince fraksiyonda ise 2.1 g/cm^3 yoğunluğunda yüzen üründe karbon içeriğinin bulunmadığı görülmektedir

Çizelge 3.2. -8 +1mm fraksiyonu ağır sıvı deneyi sonuçları

| -8+1mm | Ağırlık, % | SiO_2 , % | Al_2O_3 , % | Fe_2O_3 , % | TiO_2 , % | CaO , % | MgO , % | Na_2O , % | K_2O , % | A.Z., % | C, % |
|------------|---------------|-----------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|------------------------------|-----------------------------|------------|---------|
| Besleme | 100.00 | 86.61 | 3.79 | 2.03 | 0.15 | 1.04 | 0.52 | 0.15 | 0.33 | 5.32 | 2.25 |
| 2.1 Yüzen | 3.76 | 19.94 | 9.98 | 0.69 | 0.60 | 1.89 | 0.72 | 0.41 | 0.25 | 65.46 | 45.04 |
| 2.85 Yüzen | 93.51 | 91.09 | 3.47 | 0.96 | 0.12 | 0.96 | 0.47 | 0.14 | 0.32 | 2.41 | 0.42 |
| 2.85 Batan | 2.73 | 25.10 | 6.21 | 40.30 | 0.34 | 2.70 | 2.09 | 0.28 | 0.64 | 22.30 | 6.00 |

Çizelge 3.3. -1 +0.212mm fraksiyonu ağır sıvı deneyi sonuçları

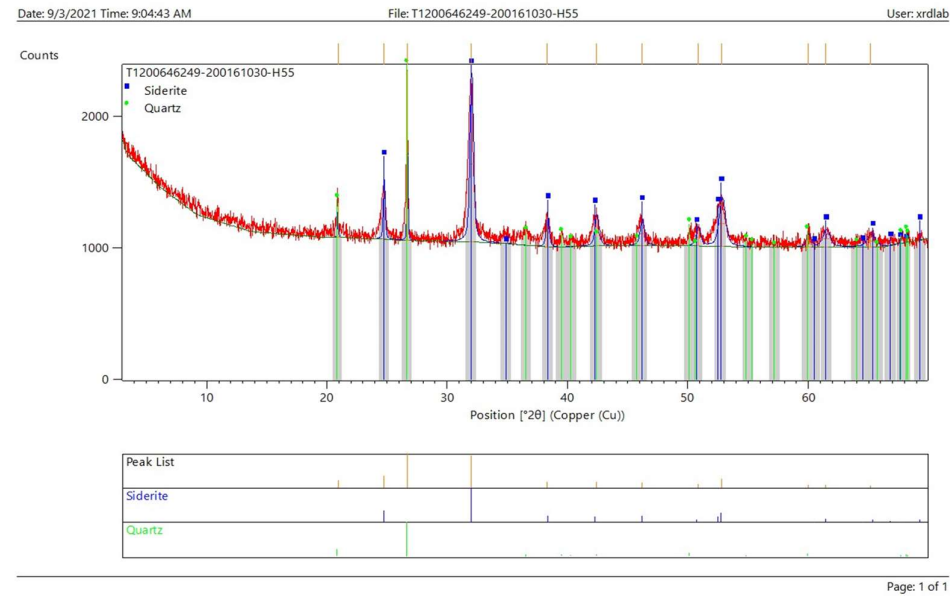
| -1+0.212 mm | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | Na ₂ O, % | K ₂ O, % | A.Z., % | C, % |
|----------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-------------------------|------------------------|------------|---------|
| Besleme | 100.00 | 89.00 | 2.53 | 3.90 | 0.11 | 0.45 | 0.41 | 0.09 | 0.31 | 2.69 | 0.59 |
| 2.1 Yüzen | 0.79 | 20.43 | 9.36 | 7.10 | 0.63 | 2.76 | 0.98 | 0.65 | 0.34 | 0.00 | 0.00 |
| 2.85 Yüzen | 94.20 | 93.50 | 2.40 | 1.29 | 0.09 | 0.32 | 0.34 | 0.08 | 0.31 | 1.62 | 0.28 |
| 2.85 Batan | 5.00 | 15.16 | 3.91 | 52.57 | 0.39 | 2.46 | 1.67 | 0.15 | 0.35 | 23.29 | 6.61 |

3.1.1.4. Bond İş İndeksi Tayini

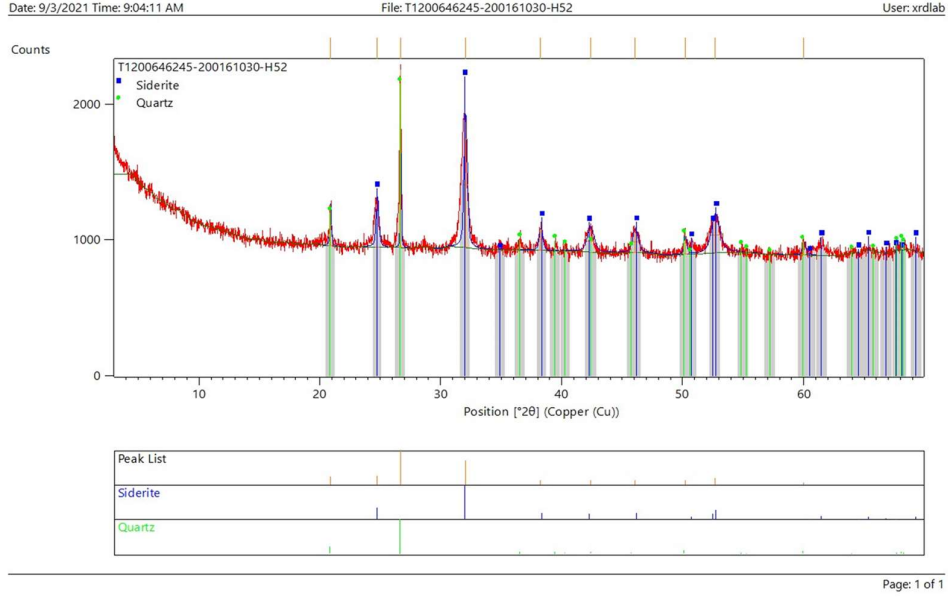
Standart bilyalı değirmen Bond iş indeksinin 14.81 kW/s/t olduğu belirlenmiştir [30].

3.1.1.5. XRD

Ağır sıvı deneyinin 2.85 yoğunluğunda batan ürünlerine uygulanan XRD analizi görüntüleri Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de verilmektedir. İki analizde de sadece siderit ve kuvars mineralleri görülmektedir.



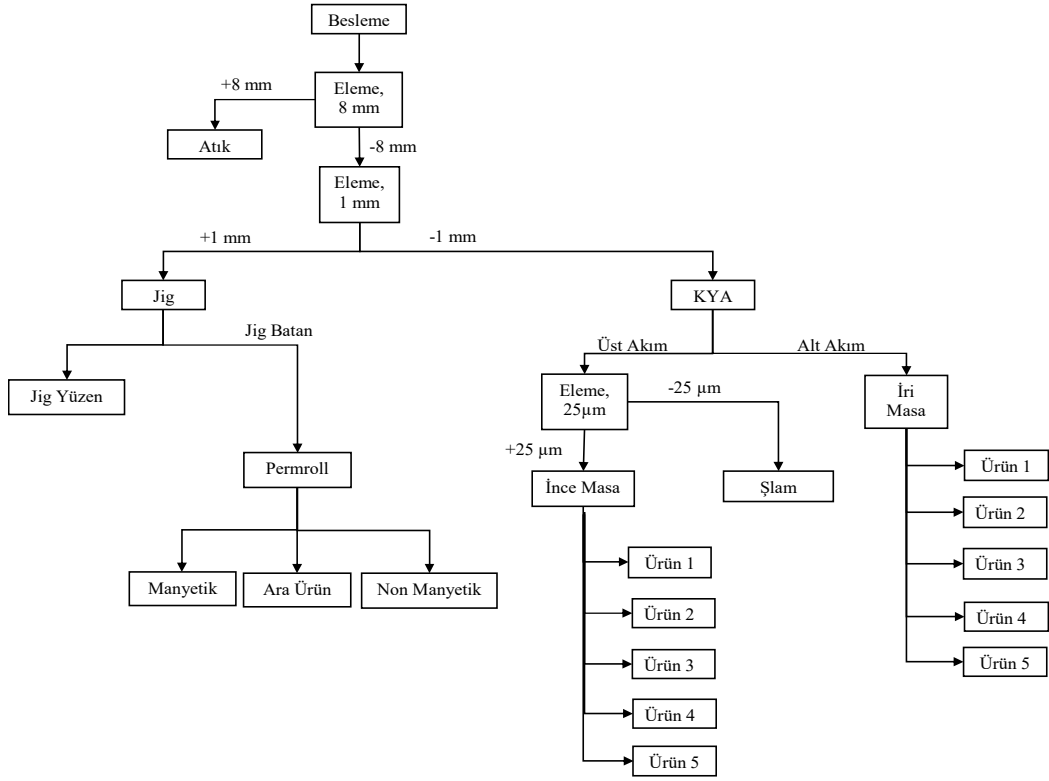
Şekil 3.6. -8 +1mm fraksiyonu ağır sıvı 2.85 batan ürün XRD görüntüsü



Şekil 3.7. -1 +0.212mm fraksiyonu ağır sıvı 2.85 batan ürün XRD görüntüsü

3.2. Stok Numunesi ile Yapılan Çalışmalar

Stoktan alınan numune, öncelikle silis içeriği düşük olan ve yüksek miktarda safsızlık içeren +8 mm malzemenin ayrılması için elenmiştir. 8 mm'den ince boyuttaki malzeme ise 1mm'den tekrar elenerek -8+1 mm ve -1 mm olarak iki fraksiyona ayrılmıştır. İri fraksiyona, ilk olarak içerisinde bulundurduğu nispeten yüksek miktardaki kömürün ayrılması için jig uygulanmış, jigin batan ürüne ise sideritin ayrımı için yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırma (permrol) yapılmıştır. İnce ürün ise bir kabaran yataklı ayırıcıya (KYA) beslenerek sınıflandırılmış, kabaran yataklı ayırıcının kil içeriği yüksek olduğu bilinen üst akımı 25µm boyundan şlam atma amacıyla elenmiş ve şlamı atılmış ürüne sallantılı masa uygulanmıştır. Kabaran yataklı ayırıcının alt akımına ise yine sallantılı masa yapılmıştır. Basitleştirilmiş deney akım şeması Şekil 3.8'de özetlenmektedir.



Şekil 3.8. Stok numunesi deney akım şeması

3.2.1. Jig Deneyi

Stok numunesi içerisinde iri boyda serbest halde bulunan kömürün ayrımı için yapılan jig deneyinin sonuçları Çizelge 3.4'te verilmektedir. Veriler incelendiğinde karbon ayrımının %79.05 verimle gerçekleştiği, beslemede %81.02 olan SiO₂ tenörünün %86.07'ye ulaştığı görülmektedir. Şekil 3.9'da laboratuvar ölçekli jig'in haznesi içerisindeki tabakalaşma verilmiştir.

Çizelge 3.4. Jig deneyi sonuçları

| | Tenör, % | | | | | | | | |
|---------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 81.02 | 5.20 | 2.82 | 0.20 | 1.08 | 0.58 | 0.38 | 3.56 |
| Yüzen | 17.21 | 56.70 | 10.86 | 1.44 | 0.45 | 1.36 | 0.66 | 0.45 | 16.34 |
| Batan | 82.79 | 86.07 | 4.02 | 3.11 | 0.14 | 1.02 | 0.56 | 0.36 | 0.90 |
| | Verim, % | | | | | | | | |
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Yüzen | 17.21 | 12.04 | 35.97 | 8.78 | 39.43 | 21.71 | 19.48 | 20.30 | 79.05 |
| Batan | 82.79 | 87.96 | 64.03 | 91.22 | 60.57 | 78.29 | 80.52 | 79.70 | 20.95 |



Şekil 3.9. Jig içerisindeki tabakalaşma

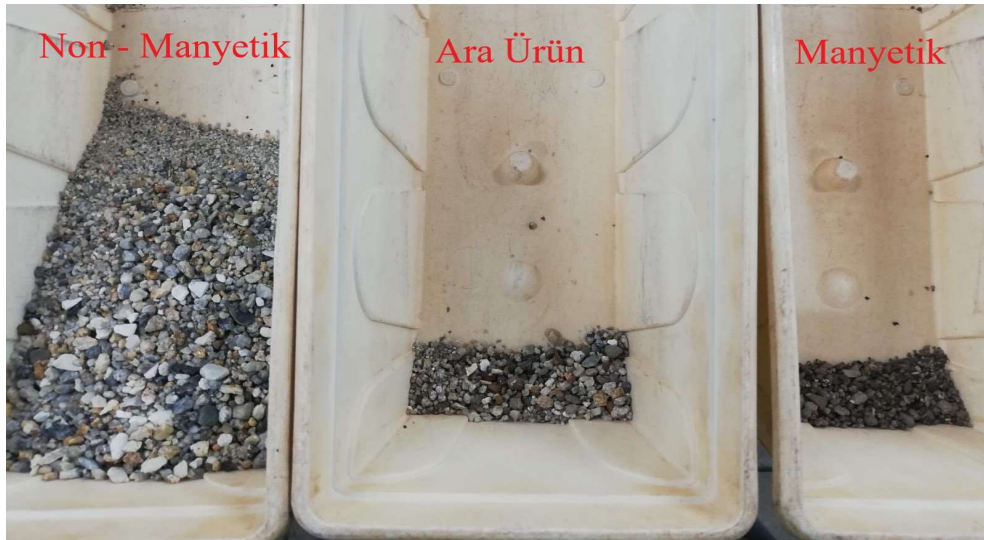
3.2.2. Manyetik Ayırma Deneyi

Stok numunesi içerisindeki manyetik alınganlığa sahip, demir taşıyan minerallerin ayrımı için 1.2 Tesla manyetik alan şiddetine sahip rulo tipi manyetik ayırıcı ile 100 devir/dakika hızında gerçekleştirilen yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırma deneyinin sonuçları Çizelge 3.5'te verilmektedir. Veriler ışığında, numune içerisindeki Fe_2O_3 'ün, ara ürün ve manyetik ürünün atık olarak nitelendirildiği göz önünde bulundurulursa, %82 gibi bir verimle ayrıldığı, manyetik olmayan ürün ürünün içerisinde %0.6 gibi nispeten düşük bir safsızlık değerine ulaşıldığı görülmektedir. Ancak stok numunesi +1mm fraksiyonunun nihai ürünü olan permrol manyetik olmayan ürünün, endüstriyel standartlar düşünüldüğünde SiO_2 içeriğinin düşüklüğü, Fe_2O_3 içeriğinin endüstri standartlarına kıyasla yüksekliği, ve diğer safsızlıklar da göz önüne bulundurulduğunda iri boyda endüstriyel açıdan hammadde olarak kullanılabilir standartla ulaşamadığı açıktır. Şekil 3.10'da manyetik ayırma ürünleri görülmektedir.

Çizelge 3.5. Manyetik ayırma deneyi sonuçları

| | Tenör, % | | | | | | | | |
|------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 85.78 | 3.55 | 2.92 | 0.13 | 2.20 | 0.58 | 0.32 | 0.92 |
| Manyetik | 4.71 | 25.28 | 5.65 | 40.78 | 0.34 | 3.06 | 2.19 | 0.61 | 6.11 |
| Ara Ürün | 9.57 | 82.82 | 4.31 | 5.00 | 0.17 | 1.30 | 0.74 | 0.45 | 0.94 |
| Manyetik Olmayan | 85.72 | 89.44 | 3.35 | 0.61 | 0.11 | 2.25 | 0.47 | 0.29 | 0.63 |

| | Verim, % | | | | | | | | |
|------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|--------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Manyetik | 4.71 | 1.39 | 7.50 | 65.73 | 12.56 | 6.56 | 17.86 | 8.97 | 31.35 |
| Ara Ürün | 9.57 | 9.24 | 11.62 | 16.37 | 12.76 | 5.66 | 12.26 | 13.45 | 9.80 |
| Manyetik Olmayan | 85.72 | 89.37 | 80.88 | 17.89 | 74.69 | 87.78 | 69.88 | 77.58 | 58.85 |



Şekil 3.10. Manyetik ayırma deneyi ürünleri

3.2.3. Kabaran Yataklı Ayırıcı Deneyi

Beslemenin 1 mm'den ince fraksiyonu, sallantılı masa deneyine dar fraksiyonlarda besleme yapmak amacıyla su hızı 425 µm'den ince taneler üst akıma gelecek şekilde su hızı arayılarak kabaran yataklı ayırıcı ile sınıflandırılmıştır. Bu ayırıda ise, Al₂O₃ tenörleri ve verimleri incelendiğinde, mevcut tesisin verimsizliği dolayısıyla atık

içerisinde kaldığı bilinen kil içeriğinin, çoğunlukla üst akıma ayrıldığı Çizelge 3.6’da görülmektedir.

Çizelge 3.6. Kabaran yataklı ayırıcı deneyi sonuçları

| | Tenör, % | | | | | | | | |
|----------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 83.65 | 6.64 | 3.13 | 0.34 | 0.51 | 0.48 | 0.75 | 0.84 |
| Alt Akım | 73.34 | 88.38 | 3.55 | 3.29 | 0.19 | 0.46 | 0.46 | 0.48 | 0.73 |
| Üst Akım | 26.66 | 70.62 | 15.16 | 2.71 | 0.75 | 0.64 | 0.54 | 1.48 | 1.15 |

| | Verim, % | | | | | | | | |
|----------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|--------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Alt Akım | 73.34 | 77.50 | 39.17 | 76.95 | 41.07 | 66.44 | 70.08 | 47.15 | 63.58 |
| Üst Akım | 26.66 | 22.50 | 60.83 | 23.05 | 58.93 | 33.56 | 29.92 | 52.85 | 36.42 |

3.2.4. Sallantılı Masa Deneyleri

Kabaran yataklı ayırıcının üst akımı, yerçekimi ile zenginleştirme yöntemlerinde ortam viskozitesini artırarak ayırım performansını olumsuz etkilediği bilinen şlam içeriğinin ayrılması amacıyla 25 µm boyundan elenmiştir. Çizelge 3.7’de verilen şlam atma işlemi sonuçları incelendiğinde, malzemenin ağırlıkça %35.67’si gibi büyük bir miktarın 25 µm boyundan ince olduğu, ince boydaki malzemenin içeriğinin ise çoğunlukla SiO₂ ve Al₂O₃ olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.7. Şlam atma işlemi sonuçları

| | Tenör, % | | | | | | | | |
|--------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 70.63 | 15.16 | 2.71 | 0.75 | 0.64 | 0.54 | 1.48 | 1.15 |
| Şlam | 35.67 | 54.49 | 27.99 | 2.13 | 1.11 | 0.45 | 0.48 | 1.45 | 1.00 |
| Masa Besleme | 64.33 | 79.57 | 8.05 | 3.03 | 0.56 | 0.74 | 0.58 | 1.50 | 1.24 |

| | Verim, % | | | | | | | | |
|--------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|--------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 35.67 | 27.52 | 65.85 | 28.04 | 52.35 | 25.18 | 31.49 | 34.90 | 30.92 |
| Masa Besleme | 64.33 | 72.48 | 34.15 | 71.96 | 47.65 | 74.82 | 68.51 | 65.10 | 69.08 |

Kabaran yataklı ayırıcının üst akımı şlam atma işleminden sonra sallantılı masa testine tabi tutulmuştur. Deneye ait görüntü Şekil 3.11’de verilmektedir. Sallantılı masanın ağır ürün tarafından, hafif ürün tarafına doğru sırasıyla ürün,1 ürün 2 şeklinde toplamda 5 ayrı ürün alınan tesin sonuçları incelendiğinde, Fe₂O₃ içeriğinin en düşük olduğu ürünün ürün 4 olduğu, ancak bu ürün için silis içeriğinin beslemeye oranla yalnızca %4 yükseldiği görülmektedir. Silis içeriği en yüksek ürün olan ürün 3 incelendiğinde ise ürün 4’e kıyasla Fe₂O₃ içeriğinin daha yüksek olduğu, ayrıca beslemenin yalnızca % 4.6’sını oluşturduğu Çizelge 3.8’de görülmektedir.

Çizelge 3.8. KYA’nın üst akımına yapılan sallantılı masa deneyi sonuçları

| KYA Üst Akım Masa | Tenör, % | | | | | | | | |
|-------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 82.15 | 6.72 | 2.96 | 0.50 | 0.72 | 0.57 | 1.34 | 1.22 |
| Ürün 1 | 9.44 | 73.33 | 3.79 | 11.33 | 1.01 | 1.19 | 1.02 | 0.62 | 1.81 |
| Ürün 2 | 9.16 | 84.77 | 4.24 | 3.93 | 0.51 | 0.86 | 0.68 | 0.77 | 0.88 |
| Ürün 3 | 4.68 | 88.33 | 4.41 | 2.04 | 0.29 | 0.63 | 0.50 | 0.89 | 0.52 |
| Ürün 4 | 39.94 | 86.41 | 5.76 | 1.57 | 0.31 | 0.58 | 0.46 | 1.28 | 0.82 |
| Ürün 5 | 36.78 | 78.34 | 9.42 | 2.20 | 0.59 | 0.73 | 0.55 | 1.78 | 1.68 |

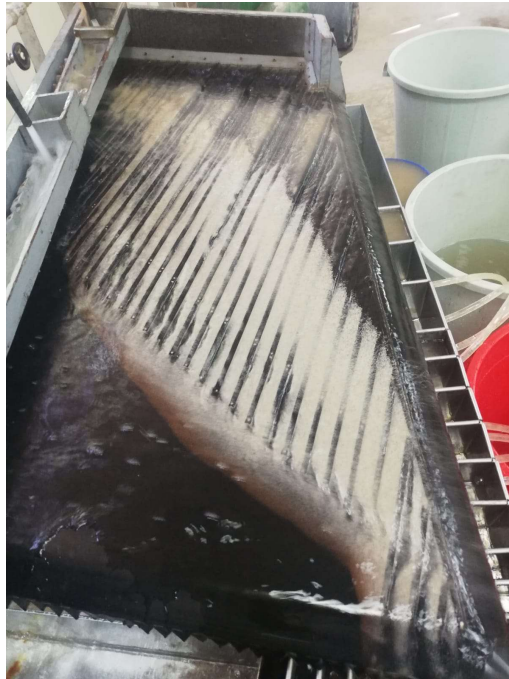
| KYA Üst Akım Masa | Verim, % | | | | | | | | |
|-------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Ürün 1 | 9.44 | 8.43 | 5.33 | 36.12 | 19.19 | 15.59 | 16.95 | 4.38 | 13.99 |
| Ürün 2 | 9.16 | 9.45 | 5.78 | 12.16 | 9.40 | 10.93 | 10.96 | 5.27 | 6.60 |
| Ürün 3 | 4.68 | 5.03 | 3.07 | 3.22 | 2.73 | 4.09 | 4.12 | 3.11 | 1.99 |
| Ürün 4 | 39.94 | 42.01 | 34.24 | 21.18 | 24.93 | 32.14 | 32.35 | 38.25 | 26.82 |
| Ürün 5 | 36.78 | 35.08 | 51.58 | 27.33 | 43.75 | 37.25 | 35.62 | 48.99 | 50.59 |

Kabaran yataklı ayırıcının alt akımı da üst akımı gibi sallantılı masa testine tabi tutulmuştur. Çizelge 3.9’da verilen sonuçlar incelendiğinde, %93.6 gibi beslemeye kıyasla yüksek SiO₂ içeriğine sahip ürünler elde edilebilmesine rağmen Fe₂O₃ içeriği endüstriyel standartların çok üzerindedir.

Çizelge 3.9. KYA'nın alt akımına yapılan sallantılı masa deneyi sonuçları

| KYA Alt Akım Masa | Tenör, % | | | | | | | | |
|-------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 90.15 | 2.52 | 3.01 | 0.10 | 0.41 | 0.41 | 0.32 | 0.66 |
| Ürün 1 | 8.28 | 75.95 | 3.03 | 12.16 | 0.23 | 0.78 | 0.68 | 0.35 | 1.61 |
| Ürün 2 | 36.72 | 88.94 | 2.44 | 3.72 | 0.10 | 0.43 | 0.42 | 0.31 | 0.60 |
| Ürün 3 | 32.78 | 93.60 | 2.38 | 1.22 | 0.08 | 0.32 | 0.36 | 0.30 | 0.31 |
| Ürün 4 | 16.84 | 93.45 | 2.54 | 1.10 | 0.09 | 0.33 | 0.35 | 0.33 | 0.39 |
| Ürün 5 | 5.38 | 88.99 | 2.98 | 0.88 | 0.13 | 0.51 | 0.39 | 0.35 | 2.55 |

| KYA Alt Akım Masa | Verim, % | | | | | | | | |
|-------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Ürün 1 | 8.28 | 6.98 | 9.98 | 33.50 | 18.34 | 15.75 | 13.79 | 9.17 | 20.26 |
| Ürün 2 | 36.72 | 36.22 | 35.62 | 45.46 | 35.13 | 38.47 | 37.76 | 36.11 | 33.48 |
| Ürün 3 | 32.78 | 34.03 | 31.02 | 13.30 | 25.18 | 25.56 | 28.89 | 31.18 | 15.44 |
| Ürün 4 | 16.84 | 17.46 | 17.01 | 6.16 | 14.61 | 13.54 | 14.43 | 17.60 | 9.98 |
| Ürün 5 | 5.38 | 5.31 | 6.37 | 1.57 | 6.76 | 6.68 | 5.13 | 5.95 | 20.84 |



Şekil 3.11. Sallantılı masa deneyi

3.3. Tesis Numuneleri ile Yapılan Çalışmalar

3.3.1. İri Çakıl Numunesi

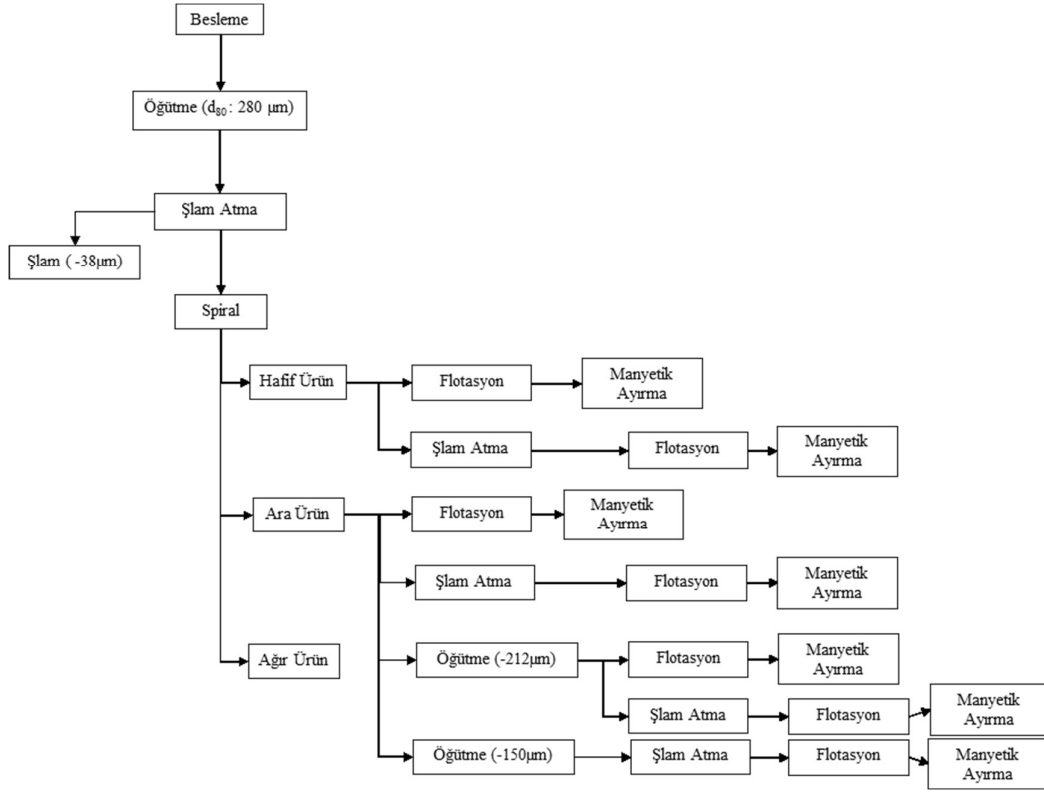
Mevcut tesiste dağıtma ve yıkama amacıyla kullanılan 8 mm açıklıklı tromelin iri ürünü olan iri çakıl numunesi, 8 mm'den elendikten sonra malzemenin yaklaşık %80'ini oluşturan 8 mm'den iri tanelere triyaj yapılmıştır. Yapılan triyajın sonucunda kuvars içeren tanelerin miktarının düşük olduğu görülmüştür. Şekil 3.12'de iri çakıl numunesindeki kuvars tanelerinin ayrılmış hali görülmektedir. Numune içerisindeki silisin düşüklüğü ve içerdiği safsızlıkların yüksekliği dolayısıyla bu numune, atık olarak nitelendirilmiş ve diğer zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmamıştır.



Şekil 3.122. İri çakıl numunesine yapılan triyaj işlemi

3.3.2. İri Kum ve İnce Kum Numuneleri

İri kum ve ince kum numuneleri benzer içeriklere sahip olmaları dolayısıyla 1:1 oranında birleştirilmiş, arkasından -500 μm boyutuna kırılmıştır. Kırılan ürün içerisindeki kilin ayrılması amacıyla 38 μm 'dan elenmiş ve şlamı atılan ürün spirale beslenmiştir. Spiralin demir içeriği yüksek, ağır ürünü atık olarak ayrılırken, hafif ürün ve ara ürünü farklı koşullarda flotasyon testlerine tabi tutulmuştur. İri ve ince kum için yapılan çalışmalar Şekil 3.13'teki akım şemasında özetlenmektedir.



Şekil 3.13. İri ve ince kum deney akım şeması

3.3.2.1. Spiral Deneyi

Spiral deneyine besleme hazırlamak amacıyla numune öncelikle %100 -500 µm boyutuna öğütülmüş, arkasından 38 µm boyutundan şlam atmak amacıyla elenmiştir. Demir içeren siderit tanelerinin ayrımı amacıyla yapılan spiral deneyinin sonuçları Çizelge 3.10'da verilmiştir. Spiral deneyinin görüntüsü Şekil 3.14'te verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, %4.17 gibi düşük bir silis kaybıyla ve %32.24 verimle Fe₂O₃ içeriğinin uzaklaştırıldığı görülmektedir.

Çizelge 3.10. Spiral deneyi sonuçları

| Spiral Deneyi | Ağırlık, % | Tenör, % | | | | | | | |
|---------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|------|
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 86.76 | 4.37 | 3.18 | 0.25 | 0.58 | 0.53 | 0.72 | 0.90 |
| Ağır Ürün | 5.59 | 64.70 | 3.55 | 18.32 | 0.56 | 1.21 | 0.98 | 0.55 | 2.48 |
| Ara Ürün | 23.42 | 88.24 | 3.33 | 3.49 | 0.20 | 0.57 | 0.55 | 0.56 | 0.71 |
| Hafif Ürün | 70.99 | 88.01 | 4.78 | 1.88 | 0.24 | 0.53 | 0.49 | 0.78 | 0.84 |

| Spiral Deneyi | Ağırlık, % | Verim, % | | | | | | | |
|---------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Ağır Ürün | 5.59 | 4.17 | 4.54 | 32.24 | 12.58 | 11.71 | 10.32 | 4.29 | 15.39 |
| Ara Ürün | 23.42 | 23.82 | 17.84 | 25.73 | 18.82 | 23.10 | 24.25 | 18.29 | 18.45 |
| Hafif Ürün | 70.99 | 72.01 | 77.62 | 42.03 | 68.60 | 65.19 | 65.43 | 77.42 | 66.15 |



Şekil 3.14. Spiral deneyi

3.3.2.2. Flotasyon Deneyleri

Spiral deneyinden elde edilen ara ürün ve hafif ürün ile flotasyon deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler üç farklı irilikteki numune ile -500 µm, -212 µm ve -150 µm boyutlarındaki numunelerle yapılmıştır. Flotasyon deneylerine besleme hazırlamak için numuneler 320 g ağırlığında temsili olarak bölünmüştür. Denver tipi laboratuvar ölçekli flotasyon makinasında gerçekleştirilen deneylerde 1 lt hacimli pleksiglas hücre kullanılmıştır. Safsızlık miktarlarının silis miktarına kıyasla çok daha az olması dolayısıyla ters flotasyon yöntemi uygulanarak safsızlıklar yüzdürülmüştür. Gerçekleştirilen ilk deneylerde toplayıcı olarak sülfonatlar kullanılmış ancak pH düşürülemediğinden sonuç alınmamıştır. Bunun asidik ortamda sideritin çözünmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Flotasyon deneylerinin tümünde reaktif eklemeleri aşamalı olarak yapılmış, yüzen ürün gelmeyene kadar reaktif eklemesine devam edilmiştir.

Tez kapsamında gerçekleştirilen ilk deneyde beslemeye, tane yüzeylerini kaplayan kilin açılması için öncelikle aşındırıcı karıştırma işlemi uygulanmıştır. Numune, karıştırma işlemi arkasından açılan kilin ve şlamın uzaklaştırılması için 38 µm'den elenmiştir. Şlam atma işlemi Çizelge 3.12'de görülebileceği üzere, besleme içerisindeki Al₂O₃'ü %22.92 verimle uzaklaştırmıştır. Doğal pH'da gerçekleştirilen deneyde, köpürtücü olarak 20 g/t MIBC, toplayıcı olarak, Derboteks firmasının ürettiği, yağ asidi türevi olan Derna7 isimli toplayıcı kullanılmıştır. Çizelge 3.11'de görülebileceği şekilde kademeli olarak toplamda 1000 g/t eklenen toplayıcı, Fe₂O₃ içeriğini %57.54 verimle uzaklaştırırken %23.40 verimle SiO₂'yi de beraberinde yüzdürmüştür. Flotasyon deneyinin son ürün olan batan üründe ise endüstri standartlarının üzerinde bir değer olan %1.22 Fe₂O₃ içeriği uzaklaştırılmamıştır.

Çizelge 3.11. Flotasyon deney - 1 koşulları

| Deney - 1 | |
|------------------------|------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -212 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | DerNa7 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500 + 250 + 250 (1000) |

Çizelge 3.12. Flotasyon deney - 1 sonuçları

| Tenör, % | | | | | | | | | |
|--------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|------|
| Flotasyon Dene - 1 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.39 | 3.18 | 2.89 | 0.20 | 0.47 | 0.50 | 0,57 | 0,58 |
| Şlam | 9.55 | 80.42 | 7.62 | 4.28 | 0.41 | 0.75 | 0.65 | 0.83 | 0.80 |
| Yüzen | 23.52 | 81.30 | 2.86 | 7.07 | 0.32 | 1.19 | 0.85 | 0.66 | 1.30 |
| Batan | 66.92 | 93.51 | 2.65 | 1.22 | 0.13 | 0.18 | 0.36 | 0.50 | 0.30 |

| Verim, % | | | | | | | | | |
|--------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| Flotasyon Dene - 1 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 10.,00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 9.55 | 8.60 | 22.92 | 14.17 | 19.41 | 15.14 | 12.37 | 13.,85 | 13.09 |
| Yüzen | 23.52 | 21.40 | 21.18 | 57.54 | 38.06 | 59.47 | 40.04 | 27.05 | 52.70 |
| Batan | 66.92 | 70.01 | 55.91 | 28.29 | 42.54 | 25.39 | 47.60 | 59.09 | 34.21 |

Gerçekleştirilen ikinci flotasyon deneyinde ise besleme, yine aşındırıcı karıştırma işlemi arkasından şlam atarak hazırlanmıştır. Aynı koşullarda uygulanan şlam atma işlemi benzer bir Al₂O₃ uzaklaştırma verimine sahiptir. Toplayıcı olarak Cytec firmasının ürettiği yine bir yağ asidi türevi olan Aero 704 kullanılmıştır. Toplamda 1250 g/t eklenen toplayıcı Çizelge 3.13'te görülebileceği şekilde kademeli olarak eklenmiştir. Çizelge 3.14'te verilen deney sonuçları incelendiğinde, toplayıcının %2.01 gibi düşük bir SiO₂ verimiyle, Fe₂O₃ içeriğinin %53.66'sını uzaklaştırdığı görülmektedir.

Aero 704 kademesinin arkasından pH H₂SO₄ ile 5.25'e düşürülmüş ve kademeli olarak toplamda 5000 g/t Na-Oleat eklenmiştir. Eklenen oleat %29.60 verimle Fe₂O₃ içeriğini ve %32.34 verimle TiO₂ içeriğini uzaklaştırmıştır. Elde edilen son ürün içeriğinde ilk deneye kıyasla daha düşük Fe₂O₃ tenörüne ulaşıldığı ancak SiO₂ içeriğinin %95.46 değerinde kaldığı görülmektedir.

Çizelge 3.13. Flotasyon deney - 2 koşulları

| Deney - 2 | |
|-----------------------|------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -212 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |

| Yüzen - 1 | |
|------------------------|--|
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500 + 250 + 250 + 250 (1250) |
| Yüzen - 2 | |
| pH | 5.25 |
| Toplayıcı | Na - Oleat |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 1000 + 1000 + 1000 + 1000 + 1000 (5000) |

Çizelge 3.14. Flotasyon deney - 2 sonuçları

| Tenör, % | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| Flotasyon Deney - 2 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 88.67 | 3.26 | 3.15 | 0.20 | 0.57 | 0.52 | 0.59 | 0.38 |
| Şlam | 9.49 | 80.07 | 7.64 | 4.23 | 0.39 | 0.78 | 0.66 | 0.82 | 0.78 |
| Yüzen - 1 | 5.60 | 31.78 | 3.93 | 30.20 | 0.63 | 6.64 | 3.24 | 0.70 | 0.00 |
| Yüzen - 2 | 5.88 | 65.44 | 4.41 | 15.87 | 1.09 | 1.39 | 1.11 | 0.61 | 2.38 |
| Batan | 79.03 | 95.46 | 2.60 | 0.16 | 0.08 | 0.05 | 0.27 | 0.55 | 0.21 |
| Verim, % | | | | | | | | | |
| Flotasyon Deney - 2 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 9.49 | 8.57 | 22.22 | 12.72 | 18.45 | 12.99 | 12.00 | 13.16 | 19.49 |
| Yüzen - 1 | 5.60 | 2.01 | 6.76 | 53.66 | 17.88 | 65.60 | 34.85 | 6.64 | 0.00 |
| Yüzen - 2 | 5.88 | 4.34 | 7.96 | 29.62 | 32.34 | 14.46 | 12.51 | 6.08 | 37.04 |
| Batan | 79.03 | 85.08 | 63.07 | 4.01 | 31.33 | 6.95 | 40.64 | 74.12 | 43.47 |

Üçüncü flotasyon deneyinde ise ikinci deney koşullarına benzer şekilde, aşındırıcı karıştırma ve şlam atma işleminden sonra, 1750 g/t eklenen A704 ile Fe₂O₃ %65 verimle uzaklaştırılmış, arkasından H₂SO₄ ile pH 5.25 düşürüldükten sonra toplamda 2000 g/t oleat, 1500 g/t kerosen ve 1500 g/t mazot eklenmiştir. Bu kademedeki ise Fe₂O₃ içeriğinin %12.72 verimle, TiO₂ içeriğinin ise %14.53 verimle uzaklaştırıldığı Çizelge 3.16'da görülmektedir.

Çizelge 3.15. Flotasyon deney - 3 koşulları

| Deney - 3 | |
|------------------------|---|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -212 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 250 + 250 + 250 + 250 + 250 + 500 (1750) |
| Yüzen - 2 | |
| pH | 5.25 |
| Toplayıcı | Na - Oleat, Kerosen, Mazot |
| Oleat Dozajı (g/t) | 1000 + 1000 |
| Kerosen Dozajı (g/t) | 750 + 750 |
| Mazot Dozajı (g/t) | 750 + 750 |

Çizelge 3.16. Flotasyon deney - 3 sonuçları

| Flotasyon Deney - 3 | Ağırlık, % | Tenör, % | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.04 | 3.17 | 3.03 | 0.18 | 0.55 | 0.51 | 0.56 | 0.56 |
| Şlam | 10.23 | 80.04 | 7.64 | 4.23 | 0.39 | 0.78 | 0.66 | 0.82 | 0.78 |
| Yüzen - 1 | 6.82 | 35.50 | 4.18 | 28.90 | 0.55 | 5.85 | 2.84 | 0.66 | 4.87 |
| Yüzen - 2 | 1.58 | 51.97 | 4.09 | 24.41 | 1.69 | 2.14 | 1.59 | 0.62 | 0.00 |
| Batan | 81.37 | 95.38 | 2.51 | 0.30 | 0.10 | 0.05 | 0.28 | 0.51 | 0.19 |

| Flotasyon Deney - 3 | Ağırlık, % | Verim, % | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 10.23 | 9.19 | 24.64 | 14.25 | 21.53 | 14.36 | 13.15 | 15.02 | 14.06 |
| Yüzen - 1 | 6.82 | 2.72 | 8.99 | 65.00 | 20.26 | 72.20 | 37.88 | 8.07 | 58.78 |
| Yüzen - 2 | 1.58 | 0.92 | 2.04 | 12.72 | 14.53 | 6.10 | 4.91 | 1.76 | 0.00 |
| Batan | 81.37 | 87.16 | 64.34 | 8.03 | 43.68 | 7.34 | 44.06 | 75.16 | 27.15 |

İlk aşamada, demir içeriğinin büyük bir kısmını oluşturan sideritin yüzdürülmesi için doğal pH'da, Aero 704 toplayıcısı kullanılmıştır. 250 g/t olarak kademeli şekilde eklenen Aero 704 toplamda 1250 g/t eklenmiş ve Çizelge 3.18'de görülebileceği üzere Fe₂O₃ içeriğinin %53.52'sini, TiO₂ içeriğinin %22.86'sını ve CaO içeriğinin %68.20'sini, %2.86 gibi düşük bir SiO₂ verimiyle yüzdürmüştür. Aero 704 toplayıcısı ile yapılan

aşamanın arkasından yine doğal pH'da 1000 g/t, 1000 g/t ve 500 g/t şeklinde kademeli olarak eklenen Na-Oleat ise %16.59 verimle Al₂O₃, %28.81 verimle Aero 704'ün yüzdüremediği Fe₂O₃ içeriğini ve %29.18 verimle TiO₂ içeriğini yüzdürmüştür. Son flotasyon aşaması olarak H₂SO₄ ile pH 5.25'e düşürülmüş ve kömür içeriğinin yüzdürülebilmesi amacıyla Çizelge 3.17'de görülebileceği şekilde kademeli olarak Na – Oleat ve Kerosen eklenmiştir. Ancak deney sonuçlarından da açıkça görülebileceği üzere bu flotasyon kademesinin safsızlıkları uzaklaştırma açısından verimleri düşüktür. Deneyin sonucunda %95.72 SiO₂ içeriğine sahip ve Fe₂O₃ açısından %0.13 gibi düşük bir değerde, %72.58 verimle kuvars ürünü kazanımı gerçekleşmiştir

Çizelge 3.17. Flotasyon deney - 4 koşulları

| Deney - 4 | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -212 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 250 + 250 + 250 +250 + 250 (1250) |
| Yüzen - 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | Na - Oleat |
| Dozaj | 1000 + 1000 + 500 (2500) |
| Yüzen - 3 | |
| pH | 5.25 |
| Toplayıcı | Na - Oleat, Kerosen |
| Na - Oleat Dozajı (g/t) | 500 + 1000 (1500) |
| Kerosen Dozajı (g/t) | 500 + 1000 + 1000 (2500) |

Çizelge 3.18. Flotasyon deney - 4 sonuçları

| Tenör, % | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| Flotasyon Deney - 4 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 88.91 | 3.22 | 2.98 | 0.19 | 0.55 | 0.51 | 0.56 | 0.69 |
| Şlam | 9.29 | 80.06 | 7.65 | 4.23 | 0.39 | 0.78 | 0.66 | 0.82 | 0.78 |
| Yüzen - 1 | 6.29 | 40.38 | 4.20 | 25.40 | 0.70 | 6.01 | 2.83 | 0.73 | 4.93 |
| Yüzen - 2 | 15.59 | 84.49 | 3.43 | 5.52 | 0.36 | 0.47 | 0.55 | 0.65 | 0.99 |
| Yüzen - 3 | 1.42 | 86.77 | 3.18 | 3.28 | 0.61 | 0.28 | 0.41 | 0.46 | 0.10 |
| Batan | 67.41 | 95.72 | 2.47 | 0.13 | 0.07 | 0.04 | 0.27 | 0.50 | 0.23 |

| Verim, % | | | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| Flotasyon Deney - 4 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 9.29 | 8.36 | 22.05 | 13.17 | 18.96 | 13.02 | 11.95 | 13.47 | 10.44 |
| Yüzen - 1 | 6.29 | 2.86 | 8.20 | 53.52 | 22.86 | 68.20 | 34.83 | 8.12 | 44.77 |
| Yüzen - 2 | 15.59 | 14.82 | 16.59 | 28.81 | 29.18 | 13.21 | 16.83 | 17.91 | 22.31 |
| Yüzen - 3 | 1.42 | 1.38 | 1.40 | 1.56 | 4.50 | 0.72 | 1.14 | 1.15 | 0.20 |
| Batan | 67.41 | 72.58 | 51.76 | 2.93 | 24.50 | 4.86 | 35.26 | 59.35 | 22.29 |

Beşinci flotasyon deneyi, dördüncü deney koşulları ile aynı yapılmış olup Na-oleat+kerosenin yanında ilave olarak mazot eklenmiştir. Çizelge 3.18 ve Çizelge 3.20’de görüleceği üzere ilk üç kademedeki safsızlıklar benzer verimlerle uzaklaştırılmıştır. Ancak önceki deneylerin son ürünlerinde uzaklaştırılmayan Al₂O₃ değerinin düşürülmesi için, pH H₂SO₄ ile 2.8’in altına düşürülüp HF ile feldspat canlandırılarak Cytec firmasının üretmiş olduğu katyonik toplayıcılardan amin türü bir toplayıcı olan 3030C ile feldspat flotasyonu yapılmıştır. Deneyin sonucunda %97.66 SiO₂ içeriğine sahip ve Fe₂O₃ açısından %0.09 gibi düşük bir değerde, %81.11 verimle son ürün kazanılmıştır.

Çizelge 3.19. Flotasyon deney - 5 koşulları

| Deney - 5 | |
|------------------------|----------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -212 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500+500+250 |
| Yüzen - 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | Na - Oleat |
| Dozaj | 1500+1500 |
| Yüzen - 3 | |
| pH | 5.25 |
| Toplayıcı | Na - Oleat, Kerosen, Mazot |
| Oleat Dozajı (g/t) | 1000 |
| Kerosen Dozajı (g/t) | 750 |
| Fuel Oil Dozajı (g/t) | 750 |
| Yüzen - 4 | |
| pH | <2.8 |
| Toplayıcı | 3030C |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 200+100+100 |

Çizelge 3.20. Flotasyon deney - 5 sonuçları

| Flotasyon Deney - 5 | Ağırlık, % | Tenör, % | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.20 | 3.13 | 3.08 | 0.19 | 0.57 | 0.51 | 0.55 | 0.37 |
| Şlam | 9.56 | 80.18 | 7.67 | 4.24 | 0.39 | 0.78 | 0.66 | 0.82 | 0.78 |
| Yüzen - 1 | 4.72 | 23.59 | 3.72 | 35.98 | 0.57 | 7.88 | 3.49 | 0.58 | 0.00 |
| Yüzen - 2 | 7.02 | 69.51 | 5.70 | 12.24 | 1.08 | 1.15 | 1.01 | 0.74 | 2.11 |
| Yüzen - 3 | 0.34 | 69.26 | 11.65 | 6.45 | 0.69 | 0.67 | 0.64 | 4.12 | 1.29 |
| Yüzen - 4 | 4.28 | 69.07 | 17.60 | 0.67 | 0.31 | 0.19 | 0.28 | 7.49 | 0.46 |
| Batan | 74.08 | 97.66 | 1.39 | 0.09 | 0.05 | 0.04 | 0.27 | 0.08 | 0.17 |
| Flotasyon Deney - 5 | Ağırlık, % | Verim, % | | | | | | | |
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 9.56 | 8.60 | 23.43 | 13.19 | 19.35 | 13.15 | 12.31 | 14.22 | 20.03 |
| Yüzen - 1 | 4.72 | 1.25 | 5.60 | 55.16 | 13.87 | 65.56 | 32.10 | 4.96 | 0.01 |
| Yüzen - 2 | 7.02 | 5.47 | 12.78 | 27.92 | 38.95 | 14.23 | 13.83 | 9.42 | 39.65 |
| Yüzen - 3 | 0.34 | 0.26 | 1.26 | 0.71 | 1.21 | 0.40 | 0.43 | 2.54 | 1.18 |
| Yüzen - 4 | 4.28 | 3.31 | 24.04 | 0.93 | 6.78 | 1.43 | 2.34 | 58.10 | 5.28 |
| Batan | 74.08 | 81.11 | 32.89 | 2.09 | 19.83 | 5.23 | 39.00 | 10.75 | 33.86 |

Spiral ara ürün numunesine -212 µm tane boyunda, kademeli olarak ve toplamda 1750 g/t eklenen Derna7 ile flotasyon deneyi yapılmıştır. Derna7 toplayıcısı ile yapılan deney koşulları Çizelge 3.21’de verilmiştir. Çizelge 3.22’de verilen deney sonuçları incelendiğinde, ilk kademede % 77.51 verimle Fe₂O₃ %29.71 verimle TiO₂ uzaklaştırılmıştır. İkinci kademede doğal pH’ta kademeli olarak eklenen 3030C toplayıcısı kullanılarak %11,37 verimle Al₂O₃, %2.56 verimle Fe₂O₃ ve %7.84 verimle TiO₂ yüzdürülmüştür. Deneyin sonucunda %95.53 SiO₂ içeriğine sahip ve safsızlıklar açısından %0.30 Fe₂O₃, % 2.38 Al₂O₃ içerikli son ürün kazanılmıştır.

Çizelge 3.21. Flotasyon deney - 6 koşulları

| Deney - 6 | |
|------------------------|------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -212 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | DerNa - 7 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 250+500+500+500 |
| Yüzen - 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | 3030C |
| Dozaj | 100+50+50 |

Çizelge 3.22. Flotasyon deney - 6 sonuçları

| Flotasyon Deney - 6 | Ağırlık, % | Tenör, % | | | | | | | |
|------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.41 | 3.15 | 2.88 | 0.19 | 0.52 | 0.49 | 0.55 | 0.60 |
| Şlam | 7.83 | 80.16 | 7.60 | 4.23 | 0.39 | 0.78 | 0.66 | 0.82 | 0.78 |
| Yüzen - 1 | 7.15 | 33.72 | 3.91 | 31.18 | 0.78 | 5.73 | 2.74 | 0.62 | 4.89 |
| Yüzen - 2 | 4.47 | 84.38 | 8.02 | 1.65 | 0.33 | 0.22 | 0.45 | 1.45 | 0.59 |
| Batan | 80.55 | 95.53 | 2.38 | 0.30 | 0.11 | 0.05 | 0.27 | 0.47 | 0.20 |
| Flotasyon Deney - 6 | Ağırlık, % | Verim, % | | | | | | | |
| | | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 7.83 | 7.02 | 18.90 | 11.53 | 16.17 | 11.70 | 10.53 | 11.52 | 10.21 |
| Yüzen - 1 | 7.15 | 2.70 | 8.87 | 77.51 | 29.71 | 78.69 | 40.09 | 7.96 | 58.58 |
| Yüzen - 2 | 4.47 | 4.22 | 11.37 | 2.56 | 7.84 | 1.89 | 4.11 | 11.70 | 4.41 |
| Batan | 80.55 | 86.07 | 60.86 | 8.40 | 46.28 | 7.72 | 45.28 | 68.81 | 26.80 |

Spiral hafif ürününe, aşındırıcı karıştırma ve şlam atma işlemlerinin etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen yedinci ve sekizinci deney koşulları sırasıyla Çizelge 3.23 ve Çizelge 3.25'te verilmiştir. Koşul çizelgeleri incelendiğinde aşındırıcı karıştırma ve şlam atma işlemlerinin uygulanmadığı deney olan yedinci deneyde A704 ve Na – Oleat tüketiminin arttığı görülmektedir. Deney sonuçlarını içeren Çizelge 3.24 ve Çizelge 3.26 incelendiğinde ise bu işlemin son ürünlerdeki safsızlığın düşürülmesi üzerinde büyük etkisi olduğu, ürünün SiO₂ içeriğinin şlam atma işlemi ile yapılan sekizinci deneyde yaklaşık %3 daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.23. Flotasyon deney - 7 koşulları

| Deney – 7 | |
|------------------------|--------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Hafif Ürün |
| Tane Boyu | -500 µm |
| Yüzen – 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500x6 |
| Yüzen – 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | Na – Oleat |
| Dozaj | 1000x6 |
| Yüzen – 3 | |
| pH | <2.8 |
| Toplayıcı | 3030C |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 100+100+100 |

Çizelge 3.24. Flotasyon deney - 7 sonuçları

| | | Tenör, % | | | | | | | |
|---------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|------|
| Flotasyon Deney - 7 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 88.22 | 4.42 | 1.93 | 0.23 | 0.55 | 0.49 | 0.76 | 1.07 |
| Yüzen - 1 | 4.69 | 40.22 | 8.04 | 18.64 | 0.96 | 6.97 | 2.77 | 0.96 | 7.33 |
| Yüzen - 2 | 3.84 | 49.13 | 14.70 | 10.45 | 0.95 | 3.05 | 1.51 | 1.36 | 5.02 |
| Yüzen - 3 | 2.44 | 59.66 | 20.35 | 2.06 | 0.49 | 0.31 | 0.44 | 3.23 | 4.69 |
| Batan | 89.02 | 93.23 | 3.35 | 0.67 | 0.15 | 0.11 | 0.33 | 0.65 | 0.47 |

| | | Verim, % | | | | | | | |
|---------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| Flotasyon Deney - 7 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Yüzen - 1 | 4.69 | 2.14 | 8.54 | 45.44 | 19.75 | 59.46 | 26.38 | 5.96 | 32.13 |
| Yüzen - 2 | 3.84 | 2.14 | 12.79 | 20.86 | 16.12 | 21.34 | 11.77 | 6.92 | 18.00 |
| Yüzen - 3 | 2.44 | 1.65 | 11.25 | 2.61 | 5.30 | 1.38 | 2.18 | 10.45 | 10.71 |
| Batan | 89.02 | 94.07 | 67.42 | 31.08 | 58.84 | 17.82 | 59.67 | 76.67 | 39.16 |

Çizelge 3.25. Flotasyon deney - 8 koşulları

| Deney - 8 | |
|------------------------|--------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Hafif Ürün |
| Tane Boyu | -500 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500x4 |
| Yüzen - 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | Na - Oleat |
| Dozaj | 1000x9 |
| Yüzen - 3 | |
| pH | <2.8 |
| Toplayıcı | 3030C |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 100x6 |

Çizelge 3.26. Flotasyon deney - 8 sonuçları

| Tenör, % | | | | | | | | | |
|---------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| Flotasyon Deney - 8 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.68 | 3.81 | 1.73 | 0.20 | 0.49 | 0.47 | 0.70 | 1.01 |
| Şlam | 9.21 | 71.13 | 13.71 | 4.03 | 0.72 | 0.86 | 0.70 | 1.36 | 1.35 |
| Yüzen - 1 | 2.38 | 24.59 | 4.74 | 28.03 | 0.67 | 10.54 | 3.95 | 0.89 | 9.17 |
| Yüzen - 2 | 6.71 | 66.41 | 7.80 | 8.52 | 0.89 | 1.80 | 1.16 | 0.99 | 5.39 |
| Yüzen - 3 | 5.65 | 72.50 | 14.65 | 0.57 | 0.22 | 0.17 | 0.29 | 7.11 | 1.16 |
| Batan | 76.05 | 97.29 | 1.42 | 0.11 | 0.05 | 0.04 | 0.28 | 0.11 | 0.31 |
| Verim, % | | | | | | | | | |
| Flotasyon Deney - 8 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 9.21 | 7.30 | 33.15 | 21.50 | 34.04 | 16.20 | 13.86 | 17.92 | 12.32 |
| Yüzen - 1 | 2.38 | 0.65 | 2.96 | 38.60 | 8.14 | 51.05 | 20.20 | 3.03 | 21.63 |
| Yüzen - 2 | 6.71 | 4.97 | 13.72 | 33.10 | 30.40 | 24.58 | 16.71 | 9.50 | 35.86 |
| Yüzen - 3 | 5.65 | 4.57 | 21.75 | 1.87 | 6.35 | 1.96 | 3.53 | 57.57 | 6.53 |
| Batan | 76.05 | 82.51 | 28.42 | 4.93 | 21.07 | 6.21 | 45.70 | 11.97 | 23.65 |

Aşındırıcı karıştırma ve şlam atma işlemlerinin ara ürün numunesinin flotasyonuna etkisinin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilen deney – 9 ve deney – 10'a ait koşullar Çizelge 3.27 ve Çizelge 3.29'da verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde şlam atmadan

gerçekleştirilen deney – 9’da daha yüksek Na- Oleat tüketimi olduğu görülmektedir. Deney sonuçlarını içeren Çizelge 3.28 ve Çizelge 3.30 incelendiğinde şlam atma işleminin elde edilen son ürünün kalitesi üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Aşındırıcı karıştırma ve şlam atma işlemi uygulanan deneyde daha yüksek SiO₂ ve daha düşük safsızlık değerine ulaşılabilirken, bu işlemin uygulanmadığı deneyin ürününde özellikle Al₂O₃ değeri daha yüksektir.

Çizelge 3.27. Flotasyon deney - 9 koşulları

| Deney - 9 | |
|------------------------|------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -500 µm |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500x4 |
| Yüzen - 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | Na - Oleat |
| Dozaj | 1000x6 |
| Yüzen - 3 | |
| pH | <2.8 |
| Toplayıcı | 3030C |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 100x3 |

Çizelge 3.284. Flotasyon deney - 9 sonuçları

| | | Tenör, % | | | | | | | |
|---------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|------|
| Flotasyon Deney - 9 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.08 | 3.19 | 3.08 | 0.18 | 0.58 | 0.54 | 0.56 | 0.84 |
| Yüzen - 1 | 3.14 | 25.44 | 4.24 | 31.49 | 0.90 | 9.08 | 3.59 | 0.62 | 7.23 |
| Yüzen - 2 | 6.25 | 42.50 | 8.45 | 23.73 | 0.81 | 3.54 | 1.88 | 0.85 | 5.56 |
| Yüzen - 3 | 2.79 | 63.81 | 19.57 | 1.56 | 0.30 | 0.29 | 0.35 | 7.16 | 1.30 |
| Batan | 87.83 | 95.47 | 2.26 | 0.65 | 0.11 | 0.08 | 0.34 | 0.33 | 0.26 |

| | | Verim, % | | | | | | | |
|---------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| Flotasyon Deney - 9 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Yüzen - 1 | 3.14 | 0.90 | 4.16 | 32.01 | 15.42 | 48.71 | 20.90 | 3.46 | 27.03 |
| Yüzen - 2 | 6.25 | 2.98 | 16.53 | 48.04 | 27.42 | 37.87 | 21.81 | 9.45 | 41.42 |
| Yüzen - 3 | 2.79 | 2.00 | 17.08 | 1.41 | 4.51 | 1.38 | 1.81 | 35.49 | 4.32 |
| Batan | 87.83 | 94.13 | 62.22 | 18.55 | 52.65 | 12.03 | 55.48 | 51.60 | 27.24 |

Çizelge 3.29. Flotasyon deney - 10 koşulları

| Deney - 10 | |
|------------------------|------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -500 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500x4 |
| Yüzen - 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | Na - Oleat |
| Dozaj | 1000x4 |
| Yüzen - 3 | |
| pH | <2.8 |
| Toplayıcı | 3030C |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 100x3 |

Çizelge 3.30. Flotasyon deney - 10 sonuçları

| | | Tenör, % | | | | | | | |
|----------------------|------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|----------------------|--------|--------|---------------------|--------|
| Flotasyon Deney - 10 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.94 | 2.96 | 2.69 | 0.18 | 0.50 | 0.51 | 0.53 | 0.67 |
| Şlam | 4.53 | 69.14 | 14.33 | 4.65 | 0.76 | 0.90 | 0.74 | 1.41 | 1.21 |
| Yüzen - 1 | 10.81 | 69.36 | 3.04 | 12.93 | 0.51 | 2.78 | 1.44 | 0.76 | 2.60 |
| Yüzen - 2 | 6.53 | 68.74 | 4.47 | 13.38 | 0.49 | 1.72 | 1.23 | 0.76 | 2.71 |
| Yüzen - 3 | 2.90 | 67.78 | 18.19 | 0.82 | 0.38 | 0.18 | 0.31 | 8.03 | 0.51 |
| Batan | 75.23 | 96.84 | 1.54 | 0.24 | 0.06 | 0.05 | 0.31 | 0.14 | 0.19 |
| | | Verim, % | | | | | | | |
| Flotasyon Deney - 10 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 4.53 | 3.48 | 21.98 | 7.85 | 19.34 | 8.24 | 6.55 | 11.96 | 8.18 |
| Yüzen - 1 | 10.81 | 8.34 | 11.13 | 52.02 | 30.89 | 60.54 | 30.43 | 15.37 | 41.89 |
| Yüzen - 2 | 6.53 | 4.99 | 9.86 | 32.47 | 18.05 | 22.58 | 15.68 | 9.29 | 26.32 |
| Yüzen - 3 | 2.90 | 2.18 | 17.84 | 0.88 | 6.19 | 1.05 | 1.75 | 43.67 | 2.20 |
| Batan | 75.23 | 81.00 | 39.20 | 6.77 | 25.53 | 7.59 | 45.59 | 19.71 | 21.40 |

Spiral ara ürün numunesine -150 µm tane boyunda yapılan flotasyon deney koşulları Çizelge 3.31’de verilmiştir. Çizelge 3.32’de verilen deney sonuçları incelendiğinde, Yüzen-1 aşamasında yani safsızlıkların uzaklaştırılması amacıyla yapılan ilk kademe

flotasyonda %65.44 verimle Fe₂O₃ uzaklaştırılmıştır. Aero 704 toplayıcısı ile yapılan aşamanın arkasından doğal pH'da eklenen Na-Oleat ile ise %16.25 verimle Al₂O₃, %11.35 verimle Aero 704'ün yuzdüremediği Fe₂O₃ ve %42.35 verimle TiO₂ yuzdürmüştür. Son aşamada H₂SO₄ ile pH 2.8'e düşürülmüş ve 3030C toplayıcı kullanarak flotasyon yapılmıştır. Bu aşamada % 18.64 verimle Al₂O₃ ve % 53.98 verimle K₂O uzaklaştırılmıştır. Deneyin sonucunda %97.93 SiO₂ içeriğine sahip ve Fe₂O₃ açısından %0.08 gibi düşük bir değerde, %75.35 verimle son ürün kazanılmıştır.

-500 µm ve -212 µm tane boyunda yapılan deney sonuçları sırasıyla çizelge 3.30 ve Çizelge 3.20'de verilmiştir. Deney- 11 ile bu deneyler kıyaslandığında SiO₂ tenörünün tane boyunun incilmesiyle yükseldiği Al₂O₃ değerlerinin ise düştüğü ancak bu değişimin anlamlı olmadığı, Fe₂O₃ içeriğinin ise -500 µm boyutunda elde edilen son üründe diğer iki ürüne kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.31. Flotasyon deney - 11 koşulları

| Deney - 11 | |
|------------------------|------------------------|
| Besleme | 320 g, Spiral Ara Ürün |
| Tane Boyu | -150 µm |
| Aşındırıcı Karıştırma | %70 katı, 20 dk |
| Yüzen - 1 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | A704 |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 500x5 |
| Yüzen - 2 | |
| pH | Doğal pH (7.7) |
| Toplayıcı | Na - Oleat |
| Dozaj | 1000x7 |
| Yüzen - 3 | |
| pH | <2.8 |
| Toplayıcı | 3030C |
| Toplayıcı Dozajı (g/t) | 100x5 |

Çizelge 3.32. Flotasyon deney - 11 sonuçları

| | | Tenör, % | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| Flotasyon Deney - 11 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 89.09 | 3.19 | 3.14 | 0.20 | 0.57 | 0.52 | 0.57 | 0.78 |
| Şlam | 15.33 | 82.43 | 6.39 | 4.26 | 0.34 | 0.76 | 0.67 | 0.77 | 0.84 |
| Yüzen - 1 | 5.40 | 21.95 | 4.16 | 37.98 | 0.58 | 7.33 | 3.33 | 0.65 | 7.36 |
| Yüzen - 2 | 7.09 | 79.58 | 7.30 | 5.02 | 1.21 | 0.41 | 0.58 | 0.74 | 1.30 |
| Yüzen - 3 | 3.56 | 70.13 | 16.67 | 0.54 | 0.14 | 0.15 | 0.27 | 8.57 | 0.45 |
| Batan | 68.62 | 97.83 | 1.27 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.28 | 0.08 | 0.21 |

| | | Verim, % | | | | | | | |
|-------------------------|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| Flotasyon Deney - 11 | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
| Besleme | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| Şlam | 15.33 | 14.18 | 30.73 | 20.81 | 25.35 | 20.55 | 19.55 | 20.84 | 16.58 |
| Yüzen - 1 | 5.40 | 1.33 | 7.05 | 65.44 | 15.48 | 69.76 | 34.31 | 6.21 | 50.96 |
| Yüzen - 2 | 7.09 | 6.33 | 16.25 | 11.35 | 42.35 | 5.12 | 7.83 | 9.27 | 11.85 |
| Yüzen - 3 | 3.56 | 2.80 | 18.64 | 0.61 | 2.38 | 0.94 | 1.83 | 53.98 | 2.06 |
| Batan | 68.62 | 75.35 | 27.34 | 1.79 | 14.43 | 3.63 | 36.48 | 9.70 | 18.56 |

3.3.2.3. Yüksek Alan Şiddetli Yaş Manyetik Ayırma Deneyleri

Flotasyon deneylerinin batan ürünlerine ugulanan yaş manyetik ayırma deneylerinin sonuçları Çizelge 3.33'te verilmektedir. Flotasyon deneylerinde yüzmeyen Fe₂O₃ içerikli safsızlıkların ayırımı için gerçekleştirilen deneylerin sonuçları incelendiğinde, deneylerin çoğunda ürün içerisindeki demir miktarının dikkate değer şekilde düştüğü görülmektedir.

Çizelge 3.33. Manyetik ayırma deneyi sonuçları

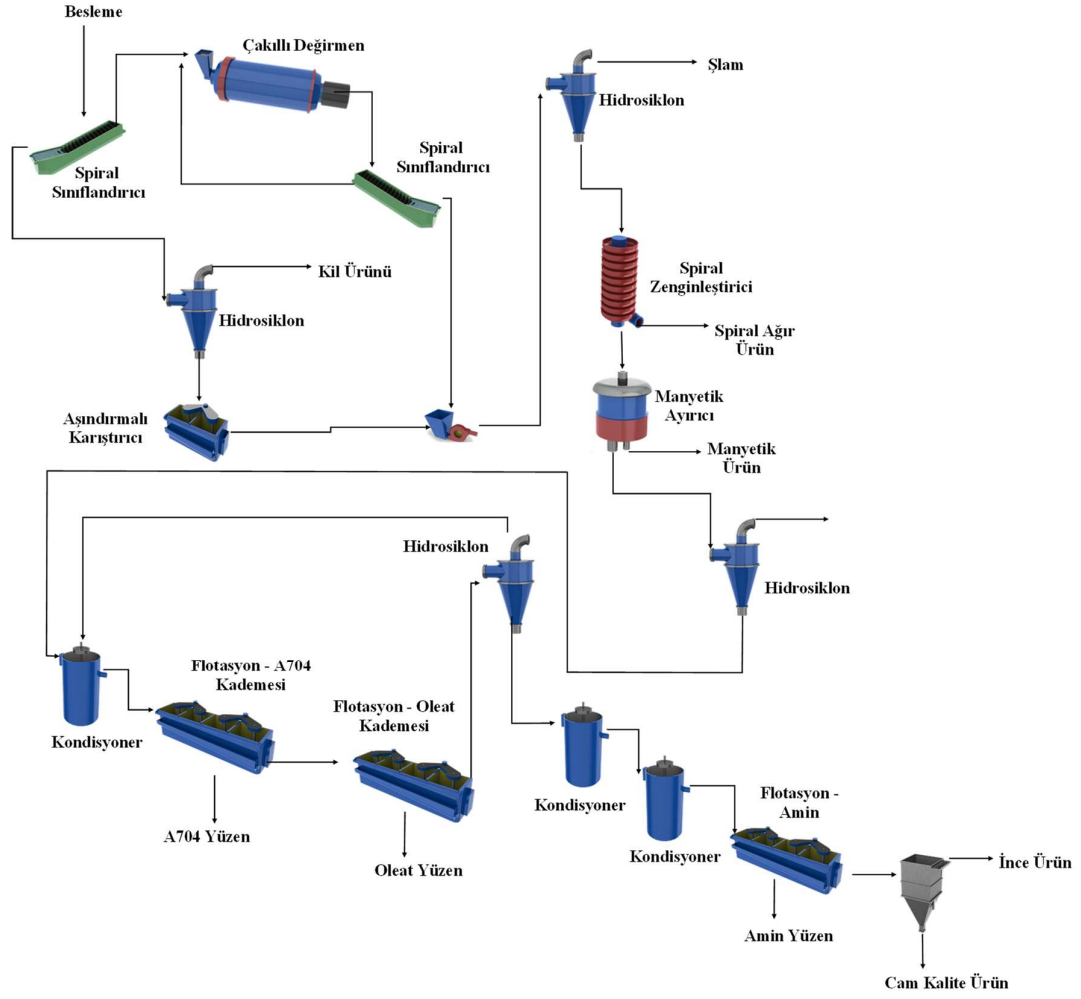
| Deneysel Ürün | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | K ₂ O, % | C, % |
|-----------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|------------------------|---------|
| Deneysel - 1 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 93.530 | 2.680 | 1.233 | 0.125 | 0.180 | 0.360 | 0.510 | 0.300 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 96.110 | 2.250 | 0.098 | 0.069 | 0.070 | 0.280 | 0.450 | 0.220 |
| Deneysel - 2 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 93.720 | 2.370 | 1.182 | 0.087 | 0.240 | 0.370 | 0.500 | 0.330 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 95.440 | 2.630 | 0.158 | 0.077 | 0.050 | 0.270 | 0.560 | 0.210 |
| Deneysel - 3 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 95.370 | 2.530 | 0.300 | 0.100 | 0.050 | 0.280 | 0.520 | 0.190 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 96.050 | 2.280 | 0.086 | 0.075 | 0.040 | 0.270 | 0.490 | 0.170 |
| Deneysel - 4 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 95.710 | 2.490 | 0.128 | 0.074 | 0.040 | 0.270 | 0.500 | 0.230 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 95.930 | 2.410 | 0.107 | 0.074 | 0.030 | 0.270 | 0.510 | 0.180 |

| | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Deney - 5 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 97.660 | 1.390 | 0.087 | 0.052 | 0.040 | 0.270 | 0.080 | 0.170 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 97.490 | 1.460 | 0.081 | 0.050 | 0.020 | 0.270 | 0.100 | 0.170 |
| Deney - 6 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 95.450 | 2.450 | 0.303 | 0.107 | 0.050 | 0.280 | 0.490 | 0.200 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 96.050 | 2.280 | 0.080 | 0.075 | 0.040 | 0.270 | 0.470 | 0.180 |
| Deney - 7 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 93.240 | 3.340 | 0.671 | 0.150 | 0.110 | 0.330 | 0.650 | 0.470 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 95.050 | 2.680 | 0.163 | 0.099 | 0.050 | 0.280 | 0.600 | 0.330 |
| Deney - 8 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 97.170 | 1.540 | 0.112 | 0.057 | 0.040 | 0.280 | 0.110 | 0.310 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 97.300 | 1.560 | 0.088 | 0.061 | 0.060 | 0.290 | 0.090 | 0.290 |
| Deney - 9 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 95.470 | 2.260 | 0.651 | 0.110 | 0.080 | 0.340 | 0.330 | 0.260 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 96.560 | 1.930 | 0.161 | 0.080 | 0.050 | 0.290 | 0.290 | 0.200 |
| Deney - 10 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 96.740 | 1.640 | 0.242 | 0.062 | 0.050 | 0.310 | 0.140 | 0.190 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 97.490 | 1.490 | 0.107 | 0.054 | 0.040 | 0.280 | 0.110 | 0.190 |
| Deney - 11 | | | | | | | | |
| Batan Ürün | 97.770 | 1.330 | 0.082 | 0.043 | 0.030 | 0.280 | 0.080 | 0.210 |
| Manyetik Olmayan Ürün | 97.930 | 1.290 | 0.058 | 0.043 | 0.030 | 0.270 | 0.070 | 0.190 |

4. TESİS TASARIMI

Elde edilen deneysel verilerin ışığında, mevcut kil yıkama tesisine, kapasite artışı amacıyla yapılacak olan yeni yatırım sonucunda ortaya çıkacak olan yıllık 140,000 ton atığın %85 emre amadelik ile işlenebileceği bir tesis tasarlanması amacıyla çalışmalar yürütülmüştür. Akım şeması Şekil 4.1'de görülen tesiste, kil yıkama tesisi atıkları öncelikle bir spiral sınıflandırıcıya beslenmekte ve besleme içerisinde bulunan öğütme boyundan ince taneler ayrılmaktadır. Spiral sınıflandırıcının ince ürünü, içerisinde kalan kilin kazanımı amacıyla bir hidrosiklona beslenmekte ve hidrosiklonun üst akımı kil yıkama tesisine geri döndürülmektedir. Hidrosiklonun alt akımı ise tanelerin yüzeyinde kalan kilin açılması amacıyla bir aşındırıcı karıştırıcıya beslenmektedir.

Spiral sınıflandırıcının iri ürünü ikinci bir spiral sınıflandırıcıyla kapalı devre çalışan çakıllı değirmene beslenmektedir. Değirmeni kapalı devre çalıştıran spiral sınıflandırıcının ince ürünü ise aşındırıcı karıştırmadan geçmiş akışla birleşerek şlam atma amacıyla bir hidrosiklona beslenmektedir. Şlam atma sonrası cevher, ağır minerallerin ayrımı için spiral zenginleştiriciye beslenmekte ve spiral zenginleştiricinin hafif ürünü manyetik alınganlığa sahip minerallerin ayrımı için bir manyetik ayırıcıya gitmektedir. Manyetik ayırma işleminin arkasından koşullandırma amacıyla susuzlandırma siklonu yardımıyla katı içeriği artırılan palp flotasyon kademesine beslenmektedir. A704 ve Oleat ile yapılan iki kademe flotasyon işleminden sonra susuzlandırma işlemi gerçekleştirilmekte ve koşullandırma işlemlerinin arkasından feldispat flotasyonu uygulanmaktadır. Feldispat flotasyonunun batan ürünü olan son ürün ise, cam kalitedeki ürünlerin tane boyu spesifikasyonunu sağlayabilmek amacıyla bir kabaran yataklı ayırıcıya beslenmektedir. Kabaran yataklı ayırıcının alt akımından cam kalite ürün elde edilirken üst akımından da ince boyutta kuvars ürünü kazanılmaktadır.



Şekil 4.1. Basitleştirilmiş Tesis Akım Şeması

4.1. Kullanılan modeller ve Simülasyon Çalışmaları

İnce ve iri kumun eşit miktarlarda ortaya çıktığı bilindiğinden, tesise beslenen boyut dağılımı olarak bu iki boyut dağılımının ortalaması kullanılmıştır.

Spiral sınıflandırıcıların ve hidrosiklonların modellenmesi için Whiten tarafından geliştirilen verimlilik eğrisi (partition curve) yaklaşımı kullanılmıştır [31]. Modelin denklemi Eşitlik 1 de verilmektedir.

$$E_{OA} = C \left[\frac{e^{(\alpha)} - 1}{e^{(\alpha x)} + e^{(\alpha)} - 2} \right] \quad (1)$$

Burada

C = Üst akışa giden su oranı

α = verimlilik eğrisinin eğimi ile ilişkili model paramatresi

x = d_i/d_{50c}

Çakıl (flint) değirmenin modellenmesi için mükemmel karıştırma (perfect mixing) yaklaşımı kullanılmıştır [31]. Modelin denklemi Eşitlik 2 de verilmektedir.

$$f_i + \sum_{j=1}^i \left[\frac{a_{ij} r_j p_j}{d_j} \right] = p_i + \frac{r_i p_i}{d_i} \quad (2)$$

Burada

f_i = değirmen beslemesinde bulunun i fraksiyonu miktarı

a_{ij} = j boyundaki malzemenin kırılması sonucunda oluşan i boyundaki malzeme miktarı

r_i = i boyutunun kırılma hızı

p_j = değirmen çıkışında bulunan j boyutundaki malzeme miktarı

d_j = j boyutunun taşınma hızı

p_i = değirmen çıkışında bulunan i boyutundaki malzeme miktarı

r_i = i boyutunun kırılma hızı

p_i = değirmen çıkışında bulunan i boyutundaki malzeme miktarı

d_i = i boyutunun taşınma hızı

$$d_i = d_i^* 4Q(D^2L) \quad (3)$$

Burada

Q = Hacimsel değirmen beslemesi

D = Değirmen Çapı

L = Değirmen Boyu

$$\frac{r/d^*_{SIM}}{r/d^*_{FIT}} = \left(\frac{D_{SIM}}{D_{FIT}}\right)^{0.5} \left(\frac{1-LF_{SIM}}{1-LF_{FIT}}\right) \left(\frac{LF_{SIM}}{LF_{FIT}}\right) \left(\frac{CS_{SIM}}{CS_{FIT}}\right) \left(\frac{WI_{FIT}}{WI_{SIM}}\right) \quad (4)$$

Burada

D = Değirmen Çapı

LF = Değirmen Doluluk Oranı

C_s = Kritik Hız

WI = İş indeksi

FIT = Baz koşul

SIM = Simüle edilmiş koşul

Modelleme için gerekli ana parametre olan r/d değerleri, başka bir tesiste çalışmada endüstriyel çakıl değirmeninden elde edilen verilerden ölçeklendirilerek belirlenmiştir. Zenginleştirme işlemlerinin modellenmesi için zenginleştirme testinde elde edilen kütle bölünme oranı (mass splitt) yaklaşımı kullanılmıştır. Kütle bölünme oranı; ekipmana giren katı ve suyun ürünlere bölünme oranı olarak tanımlanabilir.

Simülasyon çalışmalarında, JKSimMet yazılımı kullanılarak tesis akımşeması bilgisayar ortamında oluşturulmuş ve %5 nem içeriğine sahip 20 ton/saat besleme ve boyut dağılımı girdi verisi olarak kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır.

Öğütme sınıflandırma devresinde, değirmende ince oluşumunu en aza indirmek üzere Boy/Çap oranı 1 olacak şekilde istenen ürün boyut dağılımı ve devreden yük elde edilene kadar değirmen boyutları değiştirilmiştir. Sınıflandırma model parametreleri olarak benzer uygulamalarda elde edilen model parametreleri kullanılmıştır. Öğütme-sınıflandırma devresi tamamlandıktan sonra, ekipmanların çalıştığı uygun besleme % katı

değerleri ayarlanarak tüm tesisin simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Tesisin simülasyonla belirlenen kütle denkliği Şekil 4.2’de verilmektedir.

4.2. Ekipmanların boyutlandırılması

Çakıllı değirmen boyutları ve çalışma koşulları simülasyonla belirlenmiş ve Çizelge 4.1’de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Çakıllı değirmen boyutları ve çalışma koşulları

| | |
|--|---------|
| Değirmen çapı – astardan astara(m) | 2 |
| Değirmen uzunluğu – aynadan ızgaraya (m) | 2 |
| Kritik Hızı (%) | 68 |
| Doldurma Oranı | 0.4 |
| Bond İş İndeksi [kWh/t] | 15 |
| Flint Taşı Boyutları (mm) | 160-180 |
| Değirmenin Beklenen Güç Çekişi (kWh) | 47 |
| Değirmen Gücü (kW) | 55 |

Spiral sınıflandırıcı için Reed tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır [32]. Ekipman etrafındaki kütle denkliği kullanılarak üst akım için gerekli havuz alanı ve yeterli koyulukta iri ürün alabilmek için gerekli alan belirlenerek seçim yapılmıştır. Buna göre Metso firması kataloğundan uygun çalışma parametreleri ve boyutlar seçilmiştir. Her iki spiralin boyutlarının aynı olacağı belirlenmiştir. Buna göre belirlenen spiral sınıflandırıcı boyutları Çizelge 4.2’de verilmektedir.

Çizelge 4.2. Spiral sınıflandırıcı boyutları

| | |
|----------------------------------|-----|
| Spiral Sayısı | 2 |
| Spiral Çapı (mm) | 600 |
| Spiral Uzunluğu (m) | 4 |
| Spiral Dönüş Hızı (devir/dakika) | 10 |
| Havuz Alanı - m ² | 1.5 |

Hidrosiklonların seçimi için Heiskanen tarafından verilen ve Plitt modeline dayanan bir yaklaşım kullanılmıştır [33]. Belirlenen hidrosiklon boyutları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.35. Hidrosiklon boyutları

| | Spiral ince ürünü için kullanılan | Spiral zenginleştirici öncesi kullanılan | Feldspat flotasyonu öncesi kullanılan | Susuzlandırma Siklonu |
|------------------------------------|---|---|--|--------------------------|
| Çalışan siklon sayısı | 1 | 2 | 1 | 1 |
| Siklon çapı (mm) | 245 | 150 | 150 | 150 |
| Giriş çapı (mm) | 60 | 50 | 50 | 50 |
| Girdap kılavuzu çapı (mm) | 61 | 45 | 50 | 50 |
| Alt çıkış çapı (mm) | 45 | 20 | 30 | 30 |
| Silindirik kısmın uzunluğu (mm) | 245 | 150 | 150 | 150 |
| Koni açısı | 20 | 6 | 10 | 10 |
| Basınç (kPa) | 60 | 68 | 50 | 50 |

Zenginleştirme ekipmanları, ekipman etrafında kütle denkliliğine bağlı olarak kataloglardan seçilmiştir. Spiral zenginleştirici olarak, Multotec HX5 spiralinden 4 adet kullanılması yeterli olmaktadır.

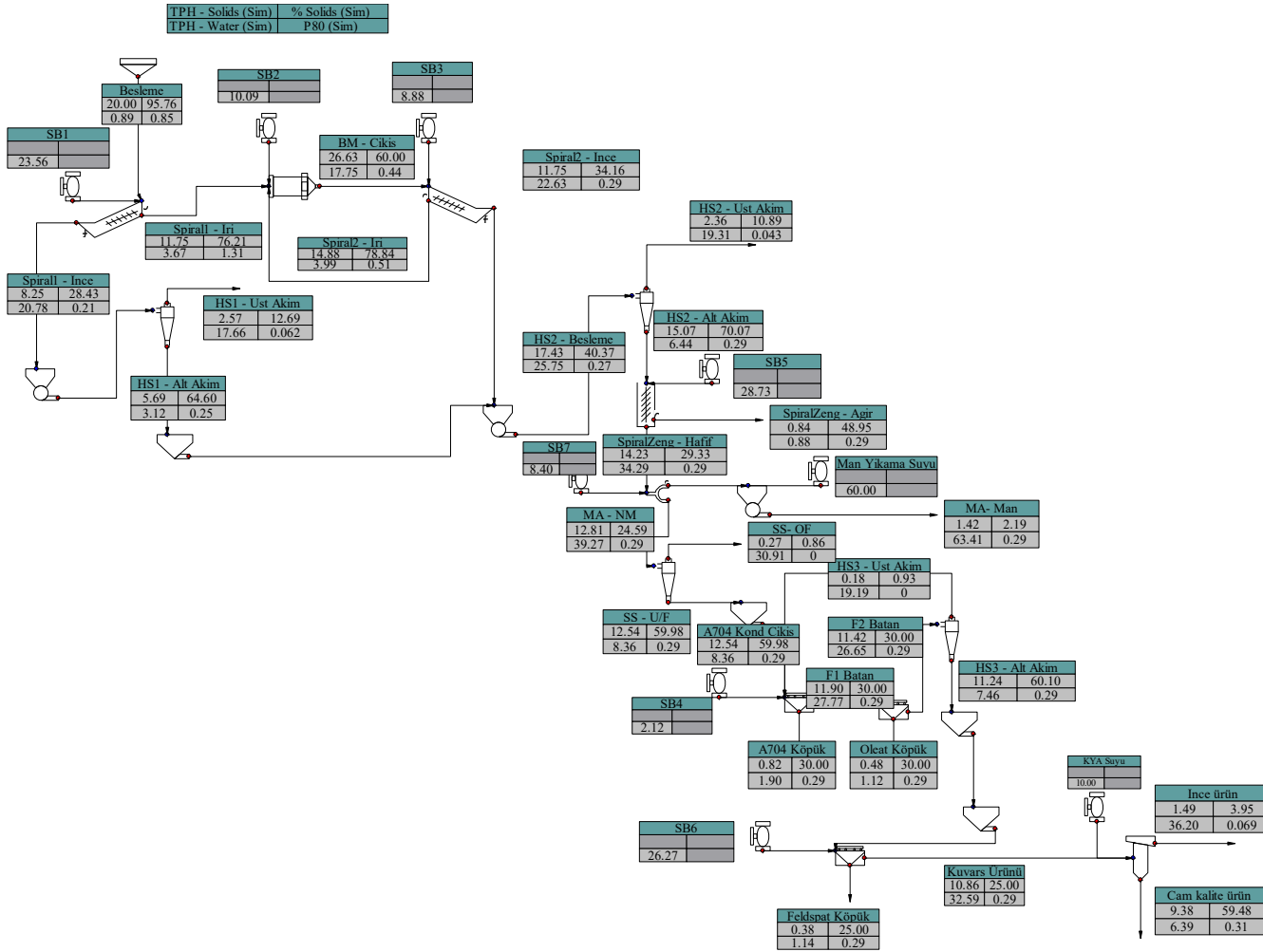
Yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı olarak kütle denkliliği verileri kullanılarak Metso Outec firmasının 1500 mm çaplı Slon manyetik ayırıcısı seçilmiştir.

Aşındırıcı karıştırıcı, flotasyon koşullandırma tankları ve flotasyon hücrelerinin hacimlerinin belirlenmesinde Kenneth tarafından önerilen yaklaşım kullanılmıştır [34].

Belirlenen hacimler ve seçilen tanklar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Aşındırıcı karıştırıcı, flotasyon koşullandırma tankları ve hücre hacimleri

| | Katı tonajı - t/s | Debi- m ³ /h | Durma Süresi dakika | Gerekli Net Hacim-m ³ | Seçilen |
|------------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|
| Aşındırıcı karıştırıcı | 5.69 | 5.22 | 20.00 | 1.741 | 4×0.5 m ³ |
| A704 koşullandırma | 12.54 | 13.01 | 5.00 | 1.084 | 1×1 m ³ |
| A704 flotasyon hücreleri | 12.54 | 33.90 | 8 | 13.961 | 5×3 m ³ |
| Oleat koşullandırma | 11.90 | 32.18 | 5.00 | 2.682 | 1×3 m ³ |
| Oleat flotasyon hücreleri | 11.90 | 32.18 | 10 | 16.564 | 6×3 m ³ |
| Feldspat 1 .Kondisyoner | 11.24 | 11.63 | 3.00 | 0.581 | 1×1 m ³ |
| Feldspat 2 .Kondisyoner | 11.24 | 11.63 | 10.00 | 1.938 | 2×1 m ³ |
| Feldspat 3 .Kondisyoner | 11.24 | 11.63 | 5.00 | 0.969 | 1×1 m ³ |
| Feldspat flotasyon hücreleri | 11.24 | 30.40 | 4.00 | 7.748 | 3×3 m ³ |



Şekil 4.2. Tesis kütle denklığı

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. Genel Değerlendirmeler

Çalışmaya konu olan atıklar mevcut tesiste susuzlandırılarak, bant konveyörle taşınmakta ve stok sahasında depolanmaktadır. İşletme sınırlarında bu alanın dar olması nedeniyle atıklar düzenli olarak maden sahalarına kamyonlarla taşınmaktadır. En yakın maden 8 km en uzak maden ise 36 km uzaklıktadır. Planlanan %75 kapasite artışı gerçekleştiğinde bu durumun içinden çıkılmaz hale gelme tehlikesi bulunmaktadır.

Bu çalışma ile üretilecek atığının yarısına yakın bir kısmının kuvars ürünü olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

Kurulacak tesiste bazı atık akışlarının kimyasal bileşimi Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.5. Bazı atıkların kimyasal bileşimi

| | Ağırlık, % | SiO ₂ , % | Al ₂ O ₃ , % | Fe ₂ O ₃ , % | TiO ₂ , % | CaO, % | MgO, % | Na ₂ O, % | K ₂ O, % | C, % | A,Z, % |
|---|---------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|-------------------------|------------------------|---------|-----------|
| Spiral besleme öncesi atılan şlam | 5.36 | 63.16 | 20.14 | 3.48 | 0.773 | 0.77 | 0.71 | 0.26 | 1.28 | 1.27 | 9.38 |
| Feldspat Köpüğü | 1.9 | 69.62 | 17.16 | 0.539 | 0.136 | 0.15 | 0.27 | 1.71 | 8.60 | 0.45 | 1.77 |

Spiral zenginleştirme öncesi uzaklaştırılan şlamın bileşimi incelendiğinde, çimento üretiminde farin bileşiminde rahatlıkla kullanılacak bir ürün elde edilebileceğini göstermektedir.

Flotasyonun son aşamasında ayrılan feldspat köpüğü, seramik sanayiinde potasyum feldspat olarak kullanılmaya oldukça yakın bir bileşime sahiptir. Bölüm 2'de verilen kil zenginleştirme akım şemalarında ayrılan atıkların yararlı ürünlere dönüştürülmesi sürdürülebilir madencilik açısından önemli görülmektedir.

5.2. Zenginleştirme Testleriyle ilgili Değerlendirmeler

5.2.1. Yerçekimiyle Zenginleştirme

Çizelge 3.2 ve 3.3'te verilen ağır sıvı sonuçları incelendiğinde, -8+1mm fraksiyonunda kömürün yerçekimiyle uzaklaştırılabileceğini göstermektedir. Yapılan jig testi de bunu doğrulamaktadır. Buna karşın, yapılan zenginleştirme testlerinde kömür uzaklaştırılabildiğinden, akım şemasını karmaşıktırmamak ve su kullanımı artırmamak amacıyla nihai önerilen akım şemasına dahil edilmemiştir.

Bu çalışmada spiral zenginleştirme tek aşamalı uygulanmış, ancak deney sonucu incelendiğinde spiral ara ürününde önemli miktarda demir bulunduğu (Fe_2O_3 , %3.49) belirlenmiştir. Bu nedenle bu ürünün bir kademe daha spirallerle zenginleştirilebileceği ve bu şekilde flotasyona daha düşük demir içeriğinde besleme yapılarak kullanılacak reaktif miktarının azaltılması beklenebilir. Sallantılı masada alınan sonuçlar bu savı doğrulamaktadır (Çizelge 3.8 – 3.9). Spiral yerine sallantılı masa kullanılarak, daha kontrollü ve kaliteli bir hafif ürün elde edilmesi mümkün görünmektedir. Buna karşın tesiste kaplayacağı alan ve su kullanımı sebebiyle önerilen akım şemasında yer almamıştır.

5.2.2. Manyetik Ayırma

Çizelge 3.5'te verilen +1 mm fraksiyonuna uygulanan yüksek alan şiddetli kuru manyetik ayırma sonuçları incelendiğinde demir içeriğinin önemli ölçüde düşürülebildiği görülmektedir. Buna karşın, bu yöntemin kurutma gerektirmesi ve alınan ürünün doğrudan kullanılabilir olmaması nedeniyle akım şeması için göz önüne alınmamıştır.

Şekil 4.1'de verilen akım şeması incelendiğinde, spiral hafif ürününe yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırıcı uygulaması yapılmaktadır. Bu uygulamanın amacı, fiziksel yöntemlerle ayrılabilir demirin baştan uzaklaştırılarak kimyasal sarfiyatının azaltılmasıdır. Buna karşı deneysel çalışmalarda laboratuvar ölçekli manyetik ayırıcının kapasite düşüklüğü sebebiyle, önce flotasyon, arkasından manyetik ayırma deneyi yapılmıştır.

5.2.3. Flotasyon

Kuvarstan demir içeren safsızlıkların flotasyonu için, uzun yıllardır başarıyla kullanılan yöntem olan, asidik ortamda flotasyonun cevher içerisinde bulunan sideritin çözünmesi nedeniyle bu çalışmada doğrudan uygulanması mümkün olmamıştır. Deneylede kullanılan toplayıcı miktarı, yüzen ürün gelmeyene kadar reaktif eklenmesi nedeniyle oldukça yüksek olmuştur. Endüstriyel uygulamada bu miktarların tesis şartlarında optimize edilmesi gerekmektedir. Üç farklı tane boyunda yapılan flotasyon testlerinde demir içeriği ince boya gittikçe düşürülebilmesine karşın Al_2O_3 değerleri -0.5mm konsantrede %1.49 olurken, -0.150mm malzemedede %1.29 olmuştur. Konsantre bileşimi üzerinden yapılan hesaplamalar ve ateş zayıyatı değerleri, son ürün içerisinde gözeneklere hapsolmuş bir miktar kil varlığına işaret etmektedir. Bu konunun elektron mikroskobu destekli verilerle daha detaylı araştırılması gerekmektedir.

5. YORUM

Bu çalışmada, aşağıda bileşimleri verilen kil atık malzemesinden, aynı tabloda verilen ve Camiř Madenciliđin ürettiği ürünlere benzer veya daha iyi kalitede ürünler alınmıştır.

Yıllık üretilecek atığın %51'inin ürün olarak kazanılabileceği ve buna bağlı olarak da atık miktarının aynı oranda azaltılabileceği bulunmuştur.

Simülasyonun, laboratuvar zenginleştirme test sonuçları kullanılarak, tesis madde denkliğinin oluşturulmasında yararlı bir araç olduğu gösterilmiştir.

Bu rnl elde edilirken ara aşamalarda elde edilen atıkların değerlendirilmesi için daha fazla deneysel çalışma yapılması önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] Harvey, C.C. and Murray, H. H., "Clays", Industrial Minerals And Rocks, 7 th Edition, Society Of Mining Engineers, New York, **2006**.
- [2] Bergaya, F. and Lagaly, G., General Introduction: Clays, Clay Minerals, and Clay Science. In: Bergaya, F., Theng, B.K.G. and Lagaly, G., Eds., Handbook of Clay Science: Developments in Clay Science, Vol. 1, Elsevier, Amsterdam, 1-18. **2006**.
- [3] Malayođlu, U. ve Akar, A., Killerin Sınıflandırılmasında ve Kullanım Alanlarının Saptanmasında Aranan Kriterlerin İrdelenmesi, 1. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, Köse ve Kızıl, Ed., İzmir, S.125-133, **1995**.
- [4] Emission Test Report: Thiele Kaolin, Sandersonville, Georgia, EMB-78-NMM-7, Emission Measurement Branch, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, March **1979**.
- [5] Yücel, M.B. Gül, Ö., Dünyada ve Türkiye’de Bentonit, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama, **2018**.
- [6] Grim, R.E., Technical Properties and Applications Of Clay And Clay Minerals, Pages 719-721, Proceeding of the International Clay conference, Madrid, **1972**.
- [7] Calciners And Dryers In Mineral Industries - Background Information For Proposed Standards, EPA-450/3-85-025a, U. S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC, October **1985**.
- [8] Murray, H. H., Applied Clay Mineralogy: Occurrences, Processing and Applications of Kaolins, Bentonites, Palygorskite-Sepiolite, and Common Clays. In H. H. Murray (Ed.). Developments in Clay Science (Vol. 2, 180 p). Amsterdam: Elsevier, **2007**.
- [9] Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001. Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri III (Kuvars kumu, Kuvarsit, Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, 37s., **2001**.
- [10] Akçıl, A., Tuncuk, A., Deveci, H., 2007. Kuvarsın Saflaştırılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemlerin İncelenmesi. Madencilik, 46 (4), 3-10, **2007**.
- [11] Product ranges and applications of high purity quartz,
<https://www.sibelco.com/iota-high-purity-quartz> (Erişim tarihi :**16 Aralık 2021**)

- [12] Baoqi, S., Zhengbing, Ch., Chemical purification of industrial minerals. Proceedings of the XIX International Mineral Processing Congress, vol. 2, Ch. 39, pp. 207 – 211, **1995**.
- [13] Schulz, G., Kohl, S., New Approaches in the Beneficiation of Glass Sands. Proceedings of the XVII International Mineral Processing Congress, Dresden, September 23–28, vol. IV, pp. 361 – 372, **1991**.
- [14] Taxiarchou, M., Panias, D., Douni, I., Paspaliaris, I., Kontopoulos, A., Dissolution of hematite in acidic oxalate solutions. Hydrometallurgy 44, 287 – 299, **1997a**.
- [15] Bulatovic, S. M., Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice, Volume 3: Flotation of Industrial Minerals, **2014**.
- [16] Haghi, H.; Noaparast, M.; Ghorbani, A. Reduction of Iron Content from Silica Sand by Scrubbing Process. In Proceedings of the 11th International Mineral Processing Symposium, Belek-Antalya, Turkey, 21–23 October, pp. 259–265, **2008**
- [17] Özgen, S., Silikatların Flotasyonunda Mineral Özelliklerinin Flotasyon Başarısına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 112 s., **2008**.
- [18] Lv, H., Peng, Z., Tong, X., Chen, L., Chen Y., Pulsating High Gradient Magnetic Separation for Purification of Quartz, Physicochem. Probl. Miner. Process. 53(1), 617–627, **2017**.
- [19] Haghi, H.; Noaparast, M., Iron Removal from Relatively Low Grade Silica Using Magnetic Separation, XXVII International Mineral Processing Congress (IMPC 2014), Chapter 18, Magnetic Separation and Urban Mining, pp 84-93, At: Santiago, Chile, **2014**.
- [20] Al-Maghrabi, M.N.H., Improvement of Low Grade Silica Sand Deposits in Jeddah Area, Engineering Sciences, Cilt.15, No. 2, s. 113-128. **2004**.
- [21] Hearn, S., Sadowski, J., Advances In the Application of Spiral Concentrators For Production Of Glass Sand, Advances In Gravity Concentration (Eds: Honaker, R.Q. And Forrest, W.R.), SME, Pages 179-187, **2003**.
- [22] Wotruba, H., Sensor Sorting Technology – is the Minerals Industry Missing a Chance, XXIII International Mineral Processing Congress Proceedings, Vol.1, Eylül 3-8, **2006**.
- [23] Richards A., 2001. Exploring the Electromagnetic Spectrum With Imaging Technology (Editors: Austin Richards, Alien Visio), SPIE Press, 160, **2001**.

- [24] Haghi, H., Noaparast, M., Ghadyani, A., Ghorbani, A., Reduction of Iron Content from Shenin Silica Mine by Reverse Flotation, Proceedings of the XII International Mineral Processing Symposium (IMPS2010), Nevsehir, Turkey, pp 465-474, **2010**.
- [25] Kalyon, D., Gülsoy, Ö., Feldspat Kuvars Ayırımında Hidroflorik Asit Kullanılmayan Flotasyon Yöntemlerinin Karşılaştırılması, *Yerbilimleri (Earth Sciences)*, 26, 1, 49-59, **2005**.
- [26] Bayraktar, İ., Ersayın, S., Gülsoy, Ö.Y., Upgrading Titanium Bearing Na-Feldspar by Flotation Using Sulphonates, Succinamate and Soaps of Vegetable Oils. *Minerals Engineering*, 1, 12, 1363-1374, **1997**.
- [27] Hacıfazlıoğlu H., Silis Kumunun Zenginleştirilmesinde Kullanılan Yöntemler Ve Flotasyon İle Manyetik Ayırma Yöntemlerinin Demir Giderimi Bakımından Karşılaştırılması, *Madencilik Dergisi*, 50(3), 35-48, **2011**.
- [28] Banza A.N., Quindt, J and Gock, E., 2006, Improvement of the Quartz Sand Processing at Hohenbocka, *International Journal of Mineral Processing*, 79, 76-82, **2006**.
- [29] Denver Equipmant Company, *Mineral Processing Flowsheets*, Denver Colorado, **1962**.
- [30] Bond, F.C., The Third Theory of Comminution, *Transactions of the American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineers*, Vol.193, pp. 484-494, **1952**.
- [31] Napier-munn, T.J., Morrell, S., Morrison, R.D., Kojovic, T., *Mineral Comminution Circuits: Their Operation and Optimisation*, Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre (JKMRC), University of Queensland, **1996**.
- [32] Reed, M.W., Sizing and Application of Gravity Classifiers, in *Proceedings of Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control*, Editors: Mular, A.L., Halbe, D. And Barratt, D.J., Vol. 1, 867-879, **2002**.
- [33] Heiskanen, K.G.H., *Particle Classification*, Chapman&Hall, London, **1993**.
- [34] Kenneth, R.W, Flotation Equipment Selection and Plant Layout, in *Proceedings of Mineral Processing Plant Design, Practice, and Control*, Editors: Mular, A.L., Halbe, D. And Barratt, D.J., Vol. 1, 1204-1238, **2002**.