



Orijinal Araştırma / Original Research

DÜŞÜK KALİTE KUVAR S KUMLARININ FLOTASYON VE OKSALİK ASİT LİÇİ İLE ZENGİNLEŞTİRİLMESİ

BENEFICIATION OF LOW QUALITY QUARTZ SAND BY FLOTATION AND OXALIC ACID LEACHING

Ş. Beste Aydın^{a,*}, Ceyda Nur Oğuz^{a,**}, Alim Gül^{a,***}

^a İstanbul Teknik Üniversitesi, Cevher Hazırlama Mühendisliği, İstanbul, TÜRKİYE

Geliş Tarihi / Received : 1 Ekim / October 2020

Kabul Tarihi / Accepted : 8 Ocak / January 2021

Anahtar Sözcükler:

Silis kumu,
Manyetik ayırma,
Flotasyon,
Oksalik asit liçi.

ÖZ

Bu çalışmada, Cam-İş Madencilik A.Ş. (Bilecik)'den temin edilen %82,03 SiO₂, %3,13 Al₂O₃, %0,48 Fe₂O₃ ve %0,17 TiO₂ içeren silis kuamlarının fiziksel ve kimyasal yöntemlerle zenginleştirme olanakları araştırılmıştır. Manyetik ayırma ile zenginleştirme deneyleri sonucunda uygun kimyasal bileşimde ve kullanılabilir nitelikte bir silis konsantresi elde edilememiştir. Aşındırıcı-yıkama işleminin ardından pH 9'da gerçekleştirilen flotasyon işleminde ise bastırıcı olarak Na₂SiO₃ ve kollektör olarak Derna 7 kullanılarak %96,30 SiO₂ ve %0,30 Fe₂O₃ içeren silis konsantresi elde edilmiştir. Flotasyon ile safsızlıklar yeterli derecede uzaklaştırılmadığı için oksalik asit liçi uygulanmıştır. Flotasyon sonrası elde edilen silis konsantresi üzerinde yapılan oksalik asit liçi sonucunda silis kumunda %97,18 SiO₂ ve %0,054 Fe₂O₃ içeriklerine ulaşılmıştır.

Keywords:

Silica sand,
Magnetic separation,
Flotation,
Oxalic acid leaching.

ABSTRACT

In this study, the enrichment possibilities of silica sands containing 82.03% SiO₂, 3.13% Al₂O₃, 0.48% Fe₂O₃, and 0.17% TiO₂ obtained from Cam-İş Madencilik A.Ş. (Bilecik) were investigated by physical and chemical methods. As a result of the magnetic separation enrichment tests, a silica concentrate in suitable chemical composition and usable quality could not be obtained. After the dispersion and classification process, the silica concentrate containing SiO₂ of 96.30% and Fe₂O₃ of 0.30% was obtained by using Na₂SiO₃ as depressant and Derna 7 as collector in the flotation process carried out at pH 9. Since impurities could not be removed sufficiently by flotation, oxalic acid leaching was applied. As a result of oxalic acid leaching carried out on the silica concentrate obtained with flotation, 97.18% SiO₂ and 0.054% Fe₂O₃ contents were reached in silica sand.

* Sorumlu yazar / Corresponding author: beste.aydin@itu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0003-3873-6593>

** ceydaoguz95@gmail.com • <https://orcid.org/0000-0003-3957-4805>

*** gulalim@itu.edu.tr • <https://orcid.org/0000-0002-1087-6589>

GİRİŞ

Kuvars kumu, kuvarsça zengin magmatik, metamorfik kayaların ayrışması sonucu oluşan silis (SiO_2), az miktarda kil, feldspat, demir oksitler ve karbonatlar içeren 2 mm'den küçük boyutlu ve beyaz renkli taneciklerdir. Demir içerikleri arttıkça renkleri pembeden kahverengiye kadar değişmektedir. Kuvars minerali ise saf halde %46,5 Si ve %53,3 O_2 içerir ve en çok mağmatik kayalarda bulunmaktadır. Kuvars kumlarının ana kullanım alanları cam ve döküm

sanayileri olup inşaat sanayinde, aşındırıcıların üretiminde, metalurji, deterjan, boya plastik, lastik, seramik sanayilerinde ve petrol üretiminde de kullanılmaktadır (DPT, 2001; Url-1). Kuvars kumu, kimyasal, fiziksel ve mineralojik özelliklerine göre farklı mineraller içermesinden dolayı kullanım alanları değişiklik göstermektedir. Endüstriyel kuvars kumunda aranan standartlar sektöre göre Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. Kuvars kumlarının kullanım alanlarına göre spesifikasyonları (DPT, 2001; Karagüzel, 2019)

Kullanım Alanları	Standart Özellikler
Cam Üretimi	Minimum %98 SiO_2 , maksimum %0,1 Fe_2O_3 içermesi ve tane boyut aralığının -0,5 +0,106 mm olması gerekmektedir.
Silika Tuğla	SiO_2 oranının %95-99, Fe_2O_3 oranının %0,3-1,3; Al_2O_3 içeriğinin %0,1-2,8; CaO içeriğinin %0,2-2,4; Na_2O ve K_2O içeriğinin ise %0,2- 1,5 olması gerekmektedir. Düşük kalitede silika tuğla üretimi ise %87-96 oranında SiO_2 içeren kuvars kumlarından yapılmaktadır.
Curuf yapıcı	SiO_2 oranı minimum %90, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranı maksimum %1,5; MgO ve CaO içeriği ise maksimum %0,2 olmalıdır.
Döküm	Kuvars kumunun -0,7+0,1mm boyutunda olması, dengeli dağılması ve 1500°C 'de sinterleşmemesi gerekir. SiO_2 içeriği minimum %95, CaO ve alkali toplamı minimum %0,6 olmalıdır.
Silikonferrosilikon üretimi	SiO_2 oranı minimum %96-98, Al_2O_3 ve Fe_2O_3 oranı en yüksek %0,2 olmalıdır.
Gaz Beton	SiO_2 oranının en az %75,5, yapı kumunda en az %95, pres tuğla yapımında ise en az %80 olması gerekmektedir.
Seramik Çamuru	SiO_2 içeriği %90-92; Al_2O_3 içeriği %6-8; Fe_2O_3 içeriği %0,5; TiO_2 oranı %0,45 olmalıdır. Frit ve sır üretiminde kullanılacak kuvars kumunun SiO_2 içeriği en az %99,4, Al_2O_3 oranı %0,01, Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO, MgO ve Na_2O içeriği %0,03 ve K_2O oranı %0,06 olmalıdır. Bu amaçla kullanılacak kuvars kumlarının; +0,032 mm boyut grubunda %8,0-26,5 ve 0,032 mm boyutunda ise %73,5-92,0 oranında malzeme olmalıdır.

Kuvars içeriğini artırmak için, kuvars kumundaki Al, Fe, Ti, K ve Na gibi safsızlıkların giderilmesi kritik önem taşımaktadır (Xuesong vd., 2020). Kuvars kumunda demir bileşiklerinin varlığı, optik fiber, cam, seramik ve refrakter malzemelerin üretimini engellemektedir (Taxiarchou vd., 1997). Demir kirliliklerinin fiziksel (Palaniandy, 2007; Mowla vd., 2008), fizikokimyasal, kimyasal (Taxiarchou vd., 1997; Veglio vd., 1999; Zhou, 2005; Shen ve Peng, 2008) ve biyolojik yöntemlerle (Styriaková vd., 2003; Arvamangala ve Natarajan, 2011) giderilmesi için çalışmalar yapılmıştır. Bazı durumlarda hem kirliliklerin giderilmesi hem de silis kumunun içeriğini yükseltmek için bu yöntemlerin çeşitli kombinasyonlarının uygulanması önerilmektedir (Banza vd., 2006; Al-Maghrabi, 2004). Fiziksel ve fizikokimyasal

yöntemler fiziksel olarak bağlanmış safsızlıkları uzaklaştırmak için uygun yöntemler olup, safsızlıkların mineral kafesi içerisinde yer alması veya kimyasal bağlarla bağlanmaları durumunda kimyasal yöntemler uygulanmaktadır (Loritsch ve James, 1991; Akçıl vd., 2007) En uygun yöntem cevherin mineralojik yapısına ve demirin cevher içindeki dağılımına bağlı olarak belirlenmelidir (Du vd., 2011).

Silis içerisindeki safsızlıkların giderilebilmesi amacıyla kullanılan en bilinen fiziksel yöntemler aşındırıcı yıkama, gravite, manyetik ve elektrostatik ayırmadır. Bu yöntemler flotasyon ve kimyasal yöntemlere göre çevresel etkileri ve üretim maliyetleri açısından daha avantajlıdır. Ancak tane serbestleşmesinin çok ince olduğu

durumlarda demiroksit ve kil gibi safsızlıkların giderilmesinde fiziksel zenginleştirme yöntemleri etkili olmamaktadır.

Silis kumlarının zenginleştirilmesinde flotasyon yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle silis kumu içerisindeki Al, Fe ve Ti gibi safsızlıkların giderilmesinde tane serbestleşme boyutunun çok ince olmasından dolayı yıkama ve gravite ile zenginleştirme yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Bu amaçla yapılan flotasyon işlemi ile kuvars kumunda daha az miktarda bulunan safsızlıklar yüzdürülerek ters flotasyon yapılmaktadır. Kuvars kumu içerisinde bulunan manyetit, hematit, götit, siderit ve limonit gibi demir oksit mineralleri yağ asitleri, sabunlar, sülfonatlar, ve hidroksamatlar gibi anyonik kollektörler ile yüzdürülmektedir (Pattanaik ve Venugopal, 2018).

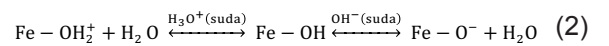
Yağ asitleri ve sabunlar karboksil grubuna ait anyonik oksidril tipi kollektörlerdir. Karboksilatların apolar grubu hidrojen ile bağ yaptığından yağ asidi, alkali metallere bağ yaptığından ise sabun olarak adlandırılır. Oleik asit, sentetik yağ asitleri, tall yağları (%30 oleik asit, %45 linoleik asit ve %14 pinoleik asit karışımı) ve bazı oksitlenmiş petrol türevleri demir flotasyonunda kullanılan yağ asitlerini oluşturmaktadır. Sodyum oleat ve sodyum lorat ise sabunlara örnek olarak gösterilebilir. Yağ asitlerinin etkinliğini arttırmak için sodyum silikat gibi bir dağıtıcı kullanımı ve yüksek pülpte katı oranında kondüsyonlanma gerekebilmektedir (Bulatovic, 2007; Nakhaei ve Irannajad, 2018). Sodyum oleat, oleik asit ve lorik asitin hematit yüzeyinde kimyasal olarak adsorplandığı tespit edilmiştir (Peck vd., 1966; Han vd., 1973; Kulkarni ve Somasundaran, 1975; Buckland vd., 1980). Oleik asidin protonları mineral yüzeyinde bulunan hidroksil grupları ile kolaylıkla nötrale olabilmekte ve bu durum oleik asitin adsorpsiyonunu kolaylaştırmaktadır (Somasundaran ve Huang, 2000). Lorik asit ile hematit üzerinde yapılan flotasyon deneylerinde ise en yüksek verimin pH 6,7-8,5 arasında elde edilebileceği belirlenmiştir (Pattanaik ve Venugopal, 2018).

Sülfonatlar, petrol fraksiyonlarının sülfirik asit ile muamelesinin ardından sülfonat ekstraksiyonu ve saflaştırılması işlemleri sonucunda üretilmektedir (Bulatovic, 2007). Mowla vd. (2008) tarafından silis kumu cevherinden hematit mineralinin flote edilerek uzaklaştırılması için sülfonat tipi

kollektörlerin (Aero-800) etkisi incelenmiştir. Sülfonatlar kuvvetli bir asit ile kuvvetli bir bazın tuzu olmalarından dolayı suda tamamen çözünürler ve bu sebeple sabun flotasyonunun aksine sülfonatlar ile asidik ortamda flotasyon yapılabilmektedir (Atak, 2017).

Hidroksilin N-alkali türevi olan hidroksamatlar, şelat yapıcı reaktiflerdir. Metal kompleksleşmesine olan ilgilerinden ve diğer toplayıcılara kıyasla seçicilikleri daha yüksek olduğundan dolayı oksit minerallerinin flotasyonunda kollektör olarak yaygın kullanım alanına sahiptirler. Çözeltide yağ asitleri gibi davranan bu kollektörlerin karbonatlara karşı selektiflikleri çok yüksektir. İnce tanelere duyarlılıklarından dolayı kondüsyonlanmadan önce ortamdaki şlamın uzaklaştırılması gerekmektedir (Nakhaei ve Irannajad, 2018). Hidroksamatlar ile flotasyon için optimum pH değeri 9'dur. Doğal demir oksitin sıfır yük noktası pH 6,7 olduğu için bu kollektörler kimyasal olarak adsorplanmaktadır (Bulatovic, 2007).

Çözeltinin pH'ı değiştiği zaman demir oksitin yüzey yükü hidroksil grubunun protonasyon ve deprotonasyonuna bağlıdır. Bir çok çalışmada demir oksitlerin çoğu için, pH 7 sıfır yük noktası olarak bildirilmiştir. Eşitlik 1 ve 2'de görüldüğü gibi demir oksitlerin yüzey yükünün belirlenmesinde potansiyeli tayin eden iyonların (H⁺ ve OH⁻) adsorpsiyonu ve desorpsiyonu önemli rol oynamaktadır. Hematit mineralinin sıfır yük noktası bağlı olduğu silikat ve diğer gang tipi minerallere bağlı olarak 5,98 ile 7,01 arasında değişmektedir. Eğer hematit taneleri yeterince serbestleşmemiş ise sıfır yük noktası kuvarsa daha yakın olacaktır. pH<2 olduğu durumda silikatların yüzeyi pozitif, pH=2'de nötr ve pH>2'de ise negatif yüklüdür (Pattanaik ve Venugopal, 2018). Su içerisinde kuvarsin yüzeyindeki kırılmış bağlar su molekülleri ile reaksiyona girerek yüzeyde silisik asit tabakası oluşmaktadır. Silisik asitin iyonlaşması kuvarsin yüzey yükünde değişimlere sebep olmaktadır (Rao vd., 2011).

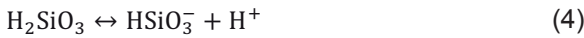
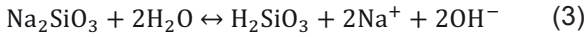


(Pozitif yüklü yüzey) (Yüzey yükü sıfır) (Negatif yüklü yüzey)

Kuvarsin ters flotasyonunda en önemli sorun, çözelti içerisinde bulunan toprak alkali metaller,

kurşun, çinko, bakır ve demir tuzlarının hidrolize olması ile ortaya çıkan metal-hidroksit kompleks iyonlarının kuvarsın canlandırılmasına sebep olmasıdır. Canlandırılmış kuvarsın bastırılmasında çözeltideki metal iyonlarını azaltıcı soda, sodyum silikat ve kalgon gibi maddeler kullanılmaktadır (Atak, 2017).

Ca⁺², Ba⁺², Mg⁺², Al⁺³ ve Fe⁺² gibi iyonlar kuvars üzerine adsorplanarak kuvarsın yüzey yükünü değiştirir ve anyonik kollektörler ile flote edilmesine neden olmaktadır. Fuerstenau vd. (1963) kuvarsın asidik pH'ta Fe⁺³ tarafından canlandırılarak kuvars üzerindeki kollektör adsorpsiyonunu ve dolayısıyla kuvars flotasyonunu arttırdığını bulmuşlardır. Srdjan (2007), yüzey yükü değişmiş kuvars mineralinin demir oksitler ile yüzmesini önlemek için kullanılan sodyum silikatın (Na₂SiO₃) eşitlik 3, 4 ve 5'de gösterildiği gibi suda OH⁻, HSiO₃⁻ ve SiO₃⁻² gibi anyonik türleri oluşturduğunu belirtmiştir. OH⁻ iyonlarının ortamın pH değerini arttırdığını, HSiO₃⁻ ve SiO₃⁻² iyonlarının ise silikat dağıtıcısı ve bastırıcısı olarak görev aldığını ileri sürmüştür.

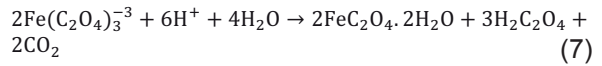
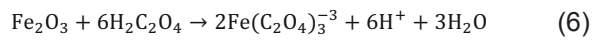


Liu ve Sun (2011) sodyum silikatın demir ile aktive olan kuvars için etkili bir bastırıcı olduğunu tespit etmiştir. Sodyum silikatın hidrolizi sonucunda negatif yüklü koloidal silikat ve SiO(OH)⁻³ oluştuğunu, oluşan bu yapıların kuvars üzerinde adsorbe olduğunu ve bu nedenle yüzey hidrofobikliğin azaldığını öne sürmüşlerdir. Bununla birlikte sodyum silikat pülp içerisinde ilave edildiğinde (Si_xO_y)^{-z} iyonları ile Ca⁺² ve Ba⁺² iyonları karmaşık iyonlar oluşturur ve böylece bu iyonların ince taneler üzerindeki topaklanma ve şlamla kaplama gibi olumsuz etkileri de engellenmiş olmaktadır (Çilek, 2006).

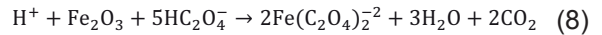
Kimyasal yöntemler, inorganik ve organik asitlerin kullanılarak demirin çözündürülmesi işlemini içermektedir. En yaygın olarak kullanılan inorganik asitler sülfürik (Veglio, 1997) ve hidroklorik (Patermarakis ve Paspaliaris, 1989; Lanyon vd., 1999) asitlerdir. Ancak bu asitler genellikle maliyetli olduklarından ve kullanımları sonrasında ortaya çıkan çevreye zarar veren kimyasal kirleticilerden dolayı tercih edilmemektedir. Bu nedenle daha etkili ve çevre

dostu olabilecek alternatif yöntemlerin arayışına girilmiş ve oksalik, askorbik ve sitrik asit gibi organik asitlerle çözündürme prosesi üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda, oksalik asidin diğer organik asitlere kıyasla asit gücü, iyi kompleks oluşturma özelliği ve yüksek indirgeme gücü nedeniyle iyi sonuçların alındığı belirtilmiştir (Ambikadevi ve Lalithambika, 2000).

Eşitlik 6 ve 7'de verilen tepkimelere göre pH 2-3'de oksalik asit ile Fe (III) iyonları kompleks oluşturabilir ya da pH<1,5'da oksalik asit demir oksidi indirgeyebilmektedir (Veglio, 1997; Akçıl vd., 2007).



Lee vd. (2007), Eşitlik 8'de de gösterildiği gibi oksalik asitin pH 2,5-3 aralığında HC₂O₄⁻ formunda bulunduğundan HC₂O₄⁻ oksitlenirken Fe₂O₃'ün indirgenerek Fe(II) oksalat oluştuğunu ileri sürmüşlerdir.



Ortam Eh-pH koşullarına, demir ve oksalik asit konsantrasyonlarına bağlı olarak mineral yüzeyinde mineralin pasifleşmesine ve düşük demir çözünme verimlerine sebep olan FeC₂O₄ oluşumu gözlemlenebilir. Bu bakımdan FeC₂O₄ oluşumunu engellemek için liç sırasında Eh-pH koşullarının kontrol edilmesi gerekmektedir (Lee vd., 2007; Akçıl vd., 2007).

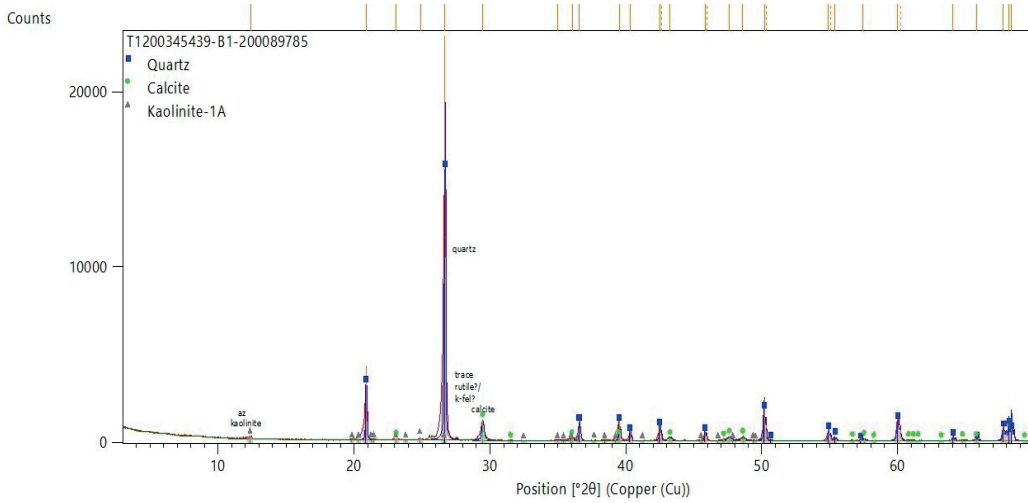
Veglio vd. (1999) kuvars kumundan demir giderimi için 80°C sıcaklıkta 160 µm tane boyutunda, %10 pülp katı oranında, 3 saat liç süresinde ve 3 g/L oksalik asit ile çözündürme işlemi yaparak %45-50 oranında demir giderimi sağlamışlardır. Du vd. (2011) 95°C sıcaklıkta, 500 rpm karıştırma hızında, 150 W ultrason gücünde ve 4 g/L oksalik asit ilavesi ile gerçekleştirdikleri demir liçinde, liç verimleri %75,4'e ulaşmıştır. Tuncuk ve Akçıl (2016) kuvars kumundan demir giderimi için %20 pülp katı oranında, 0,5 M H₂SO₄ ve 10 g/L oksalik asit ilavesi ile 90°C sıcaklıkta ve 120 dk liç süresinde kimyasal çözündürme uygulayarak %98,9 Fe₂O₃ giderimi sağlamışlardır. Özer vd. (2018) cam kumu zenginleştirme tesislerinden elde edilen -100 µm boyutundaki yan üründen kil uzaklaştırma işlemi ile ön konsantre elde

etmişlerdir. Bu ön konsantre üzerinde 0,4 M oksalik asit konsantrasyonu, 1/4 katı-sıvı oranı, 80°C sıcaklık ve 2 saat liç süresi şartlarında gerçekleştirilen oksalik asit ile çözündürme deneyleri sonucunda; %99,16 SiO₂; %0,04 Fe₂O₃; %0,53 Al₂O₃ kimyasal içeriğine sahip bir silis konsantresi üretmişlerdir. Kuvars numunesindeki Fe₂O₃ miktarı 37,8 ppm'e düşürülerek %88,72 Fe₂O₃ giderim verimi, TiO₂ miktarı ise 374,6 ppm'e düşürülerek %32,54 TiO₂ giderim verimi elde edilmiştir.

Bu çalışmada düşük SiO₂ içeriğine sahip kuvars kumunun safsızlıklarından uzaklaştırılarak sektörel bazda kullanımı için uygun yöntemlerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu bakımdan fiziksel, ve kimyasal yöntemlerin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

1. MALZEME ve YÖNTEM

Çalışma kapsamında Camişi Madencilik A.Ş' den temin edilen Bilecik bölgesine ait kuvars kumu numunesi kullanılmıştır. -0,5+0,074 mm boyut aralığında gönderilen numuneye öncelikle minerolojik ve kimyasal analizler yapılmıştır. Numunenin minerolojik analizi XRD (X-ışını Kırınım Yöntemi- Panalytical, X Pert pro), kimyasal analizi ise XRF (X-ışını floresans spektrometresi) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de gösterilen XRD sonuçlarına göre malzemenin büyük çoğunluğunu kuvars oluştururken az miktarda kalsit ve kaolinit minerallerinin de bulunduğu tespit edilmiştir. Çizelge 2'de gösterilen kimyasal analiz sonuçlarına göre ise, malzemenin %82,03 SiO₂ ve %0,48 Fe₂O₃ içeriğine sahip olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1. Kuvars numunesinin XRD analiz sonuçları

Çizelge 2. Numunenin kimyasal analiz sonuçları

Bileşim	İçerik, %
SiO ₂	82,03
Al ₂ O ₃	3,13
Fe ₂ O ₃	0,48
TiO ₂	0,17
CaO	6,84
MgO	0,09
Na ₂ O	0,02
K ₂ O	0,60
Kızdırma Kaybı	6,64

Kuvars kumunun sektörde hammadde olarak kullanılabilmesi için maksimum SiO₂ içeriğine ulaşmak ve demir içeriğini de mümkün olduğu kadar düşürebilmek için zenginleştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 30 kg olarak temin edilen malzeme numune bölücü ve karelej yöntemi kullanılarak hazırlanmıştır. Zenginleştirme çalışmalarında fiziksel işlem olarak manyetik ayırma, fizikokimyasal işlem olarak flotasyon ve kimyasal işlem olarak da liç yöntemi uygulanmıştır. Manyetik ayırma deneyleri için yüksek alan şiddetli PERMROLL marka Rems tipi manyetik ayırıcı kullanılmıştır.

Flotasyon deneylerinde ters flotasyon yöntemi uygulanarak demir minerallerinin yüzdürülmesi

amaçlanmıştır. Deneyler, Denver marka D12 model laboratuvar tipi flotasyon makinasında 500 g malzeme ile 1,7 L'lik flotasyon hücrelerinde 1300 dev/dk karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Deneylerde bastırıcı olarak %10'luk derişimde Na_2SiO_3 , kollektör olarak %1'lik derişimde R801+R825, PA3+RS100 ve Derna7 kullanılmıştır. Silikat bastırıcısı olarak kullanılan sodyum silikat (Na_2SiO_3) ilk kademe ilave edildikten sonra pülp 5 dk kondüsyonlanmıştır. Her kademe için pülpün kollektörler ile kondüsyonlanma süresi ve flotasyon süresi 2'şer dk'dır. Scrubber kullanılarak yapılan aşındırma yıkama işlemi 900 dev/dk'da, %60 pülpde katı oranında ve 30 dk süre ile gerçekleştirilmiştir. İşleminin ardından çok ince boyutlu kil ve demir oksitleri ayırmak için pülp halindeki malzeme 0,106 mm elekten elenerek sınıflandırma yapılmıştır.

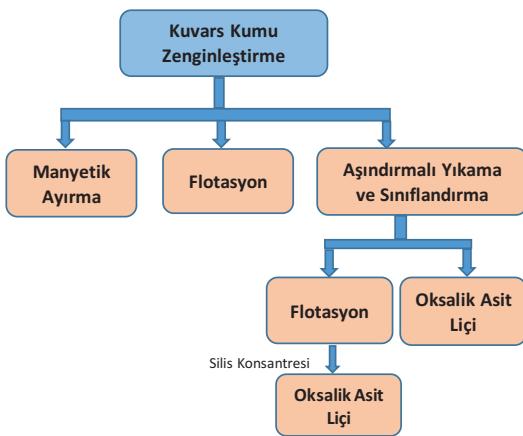
Liç işlemi ise IKA RCT Basic marka anlık sıcaklık göstergeli manyetik karıştırıcı ile 0,5 L silindirik cam reaksiyon hücrelerinde, 600 dev/dk karıştırma hızında, 2 saatlik liç süresinde, 1/4 katı-sıvı oranında, 0,5 M oksalik asit ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) konsantrasyonunda ve 20-80°C arası sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Liç işleminden sonra vakumlu filtre yardımıyla katı-sıvı ayırımı yapılarak elde edilen liç kekinin kimyasal analizi yapılmıştır. Demir çözündürme verimleri, liç kekinin kimyasal analiz sonuçları ve kuvars kumunun başlangıç içerikleri dikkate alınarak Eşitlik 9'da gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ Çözündürme Verimi, \%} = \frac{A-B}{A} \times 100 \quad (9)$$

A=Beslenen malzemedeki % Fe_2O_3

B= Liç Kekindeki % Fe_2O_3

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen deneylerin genel akım şeması Şekil 2' de gösterilmiştir.



Şekil 2. Deneylerin akım şeması

2. BULGULAR VETARTIŞMALAR

2.1. Manyetik Ayırma ile Zenginleştirme

Manyetik ayırmaya beslenecek olan -0,5 +0,074 mm boyut aralığındaki malzeme, -0,5+0,2 mm ve -0,2+0,074 mm olarak iki ayrı boyut fraksiyonunda hazırlanmıştır. Manyetik ayırma sonucunda, ayırıcıda bulunan ve değişen açılarda ayarlanabilen bir bölücü bıçak yardımıyla non-manyetik, manyetik ve kuvvetli manyetik ürünler elde edilmiştir. Her iki boyut fraksiyonunda rulo dönüş hızı 100 dev/dk olarak sabit tutulmuştur. Bıçak açıları, -0,5+0,2 mm boyut grubunda 100-90° (1. ve 2. bıçak açıları), -0,2+0,074 mm boyut grubunda ise 115-90° (1. ve 2. bıçak açıları) olarak belirlenmiştir. İlk kademe manyetik ayırmadan sonra elde edilen non-manyetik ürünler bir kez daha manyetik ayırıcıya beslenmiştir. Manyetik ayırma deney sonuçları Çizelge 3'de ve her iki boyut fraksiyonu için birleştirilmiş sonuçlar Çizelge 4'de verilmiştir. 0,5+0,2 mm boyut grubunda gerçekleştirilen manyetik ayırma deneyinde non-manyetik ürünlerdeki Fe_2O_3 içeriği %0,25, SiO_2 içeriği ise %85,13 olarak elde edilmiştir. -0,2+0,074 mm boyut grubunda manyetik olmayan kısımda demir içeriği %0,29 iken silis içeriği %81,51'dir. Demir ve silis içerikleri esas alındığında manyetik ayırma ile çok etkin bir ayırma yapılamadığı ve diğer yöntemlerin incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

2.2. Flotasyon ile Zenginleştirme

2.2.1. Kollektör Cinsine Bağlı Olarak Bastırıcı İlavasının Etkisi

Silis kumunun zenginleştirilmesinde ters flotasyon uygulanarak fazla miktarda bulunan silisli bileşikler yerine az miktarda bulunan demirli bileşikler yüzdürülmüştür. Deneyler kapsamında ilk önce silis için bastırıcı ilave edilmeden sülfonat tipi kollektörler olan R801+R825, yağ asidi türevleri olan PA3+RS100 ve Derna 7 kollektörlerinin etkisi incelenmiştir. Bölüm 2'de belirtilen deney koşullarına ek olarak R801+R825 kollektörleri ile deneyler pH 2,5'da, PA3+RS100 ile pH 7'de ve Derna 7 ile pH 9'da gerçekleştirilmiştir. 7 kademeli yapılan flotasyon deneylerinde her kollektörden 200+200+200+200+200+300+300 g/t ilave edilmiştir. Numunenin kimyasal analizleri ve mineralojik incelemeleri gözönüne alındığında kum içerisinde bulunan kaolin, kalsit ve demir

Çizelge 3. Manyetik ayırma deney sonuçları

Tane Boyutu mm	Ürünler	Miktar %	İçerik, %				Verim, %	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
-0,5+0,2	Non-Manyetik 1	59,2	85,13	2,17	0,25	0,10	61,3	34,6
	Manyetik 1	6,7	73,68	5,14	0,96	0,45	6,0	15,0
	Kuvvetli Manyetik 1	0,7	74,58	5,43	4,24	0,85	0,6	6,9
-0,2+0,074	Non-Manyetik 2	21,4	81,51	3,27	0,29	0,10	21,2	14,5
	Manyetik 2	8,9	74,98	5,48	0,70	0,25	8,1	14,6
	Kuvvetli Manyetik 2	3,1	74,11	6,55	1,98	0,91	2,8	14,3
Toplam		100,0	82,26	3,06	0,42	0,17	100,0	100,0

Çizelge 4. Boyut fraksiyonlarının birleştirilmesi ile elde edilen manyetik ayırma sonuçları

Ürünler	Miktar, %	İçerik, %				Verim, %	
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
Non-Manyetik	80,6	84,17	2,46	0,26	0,10	82,5	49,1
Manyetik	15,6	74,42	5,33	0,81	0,33	14,1	29,6
Kuvvetli Manyetik	3,8	74,19	6,34	2,39	0,90	3,4	21,3
Toplam	100,0	82,26	3,06	0,42	0,17	100,0	100,0

oksit minerallerinden kaynaklanan Al³⁺, Ca²⁺ ve Fe²⁺ iyonlarının silis canlandırmasını engellemek için diğer şartlar sabit tutularak 1000 g/t Na₂SiO₃ ilavesi ile de deneyler yapılmıştır. R801+R825 kollektörleri ile bastırıcı ilaveli ve ilavesiz yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 5’de gösterilmektedir. Deney sonuçları incelendiğinde batan üründeki SiO₂ içeriğinin %96’lara yükseldiği görülmektedir. Bastırıcı ilaveli yapılan deneyde silis içeriklerine bakıldığında ise sodyum silikatın önemli bir fark yaratmadığı gözlemlenmiştir. Demir içerikleri

açısından da istenilen değerlere ulaşamamıştır. pH 2,5’da yapılan deneylerde malzeme içerisinde bulunan kalsit mineralleri sebebi ile sülfürik asit tüketimi çok fazla miktarda olmuştur. Fazla asit sarfiyatından ötürü yağ asitleri ile nötr veya hafif alkali ortamda çalışılması gerekmiştir. PA3+RS100 kollektörleri ile pH 7’de bastırıcı ilaveli ve ilavesiz yapılan deneylerin sonuçları Çizelge 6’da, Derna 7 ile pH 9’da bastırıcı ilaveli ve ilavesiz yapılan deneylerin sonuçları ise Çizelge 7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5. R801 ve R825 kollektörleri ile bastırıcı ilaveli ve ilavesiz yapılan deneylerin sonuçları

Bastırıcı	Ürünler	Miktar %	İçerik, %				Verim, %		
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
-----	Demir Atığı	46,0	72,54	4,55	0,78	0,24	14,33	39,0	77,0
	Silis Konsantresi	54,0	96,57	1,45	0,20	0,09	0,35	61,0	23,0
	Toplam	100,0	85,51	2,88	0,47	0,16	6,78	100,0	100,0
Na ₂ SiO ₃	Demir Atığı	42,8	86,40	4,79	0,64	0,25	14,63	36,8	70,2
	Silis Konsantresi	57,2	96,78	1,47	0,20	0,11	0,17	63,2	29,8
	Toplam	100,0	87,57	2,90	0,39	0,17	6,37	100,0	100,0

Çizelge 6. PA3+RS100 kollektörleri ile bastırıcı ilaveli ve ilavesiz yapılan deneylerin sonuçları

Bastırıcı	Ürünler	Miktar, %	İçerik, %					Verim, %	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
-----	Demir Atığı	70,9	78,78	3,48	0,53	0,19	9,89	67,4	81,6
	Silis Konsantresi	29,1	92,75	2,03	0,29	0,12	0,67	32,6	18,4
	Toplam	100,0	82,82	3,05	0,46	0,17	7,20	100,0	100,0
Na ₂ SiO ₃	Demir Atığı	62,8	77,01	4,01	0,59	0,22	10,80	58,0	83,0
	Silis Konsantresi	37,2	94,29	1,48	0,20	0,08	0,33	42,0	17,0
	Toplam	100,0	83,44	3,07	0,45	0,17	6,90	100,0	100,0

Çizelge 7. Derna 7 kollektörleri ile bastırıcı ilaveli ve ilavesiz yapılan deneylerin sonuçları

Bastırıcı	Ürünler	Miktar, %	İçerik, %					Verim, %	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
-----	Demir Atığı	68,4	78,17	3,65	0,55	0,18	10,35	64,3	84,1
	Silis Konsantresi	31,6	94,02	1,61	0,23	0,15	0,31	35,7	15,9
	Toplam	100,0	83,17	3,01	0,45	0,17	7,18	100,0	100,0
Na ₂ SiO ₃	Demir Atığı	42,3	68,32	4,63	0,68	0,17	17,02	34,8	67,4
	Silis Konsantresi	57,7	94,15	1,45	0,24	0,15	0,36	65,2	32,6
	Toplam	100,0	83,21	2,80	0,43	0,16	7,41	100,0	100,0

Bastırıcı ilavesiz PA3+RS100 kollektörleri ile yapılan deneyde malzemenin %29,1'i %92,75 SiO₂ ve %0,29 Fe₂O₃ içeriği ile batan ürün yani silis konsantresi olarak elde edilmiştir. Silisin büyük çoğunluğu demiroksitler ile beraber yüzmüştür. Sodyum silikat ilavesi ile batan üründe SiO₂ içeriği %94,29'a yükselirken Fe₂O₃ içeriği ise %0,20'ye düşmüştür. Sonuçlar göz önüne alındığında PA3+RS100 kollektörlerinin demiroksitlerin flote edilmesi için uygun olmadığı ve ilave edilen sodyum silikat miktarının da yetersiz kaldığı belirlenmiştir. Derna 7 ile yapılan bastırıcı ilavesiz ve ilaveli deneylerde SiO₂ ve Fe₂O₃ içerikleri açısından önemli bir iyileştirme gerçekleşmemiştir. Ancak SiO₂ verimi %65,2'ye ulaştığından Derna 7 uygun kollektör olarak belirlenmiştir.

2.2.2. Na₂SiO₃ Miktarının Etkisi

Derna 7 ile 1000 g/t Na₂SiO₃ kullanılarak yapılan deneyde %94,15 SiO₂ ve %0,24 Fe₂O₃ içeriğine sahip silis konsantresi elde edilmiştir. 2000 g/t sodyum silikat kullanılarak batan üründeki SiO₂ içeriğini arttırmak ve Fe₂O₃ içeriğini düşürmek amaçlanmıştır. pH 9'da 200+200+200+200+200+300+300 g/t Derna 7 kullanılarak gerçekleştirilen deneyin 1000 g/t sodyum silikat ile karşılaştırmalı sonuçları Çizelge 8'de verilmiştir. Çizelge 8'de görüldüğü üzere 2000 g/t Na₂SiO₃ kullanımı ile SiO₂ verimi %65,2'den %72,6'ya yükselmiştir. SiO₂ içeriği %96,18'e ulaşmıştır. Ancak demiroksit içeriklerinde değişim olmamıştır. Sonuçlar incelendiğinde silis yüzeylerinin kil ve demir oksit

Çizelge 8. Na₂SiO₃ miktarının etkisi

Na ₂ SiO ₃ Miktarı g/t	Ürünler	Miktar, %	İçerik, %					Verim, %	
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
1000	Demir Atığı	42,3	68,32	4,63	0,68	0,17	17,02	34,8	67,4
	Silis Konsantresi	57,7	94,15	1,45	0,24	0,15	0,36	65,2	32,6
	Toplam	100,0	83,21	2,80	0,43	0,16	7,41	100,0	100,0
2000	Demir Atığı	34,7	67,70	5,17	0,73	0,14	20,90	27,4	59,8
	Silis Konsantresi	65,3	96,18	1,58	0,26	0,18	0,42	72,6	40,2
	Toplam	100,0	86,45	2,84	0,42	0,17	7,55	100,0	100,0

ile kaplı olabileceği ve bu sebeple yüksek SiO_2 ve düşük Fe_2O_3 içerikli bir silis konsantresi elde edilemediği belirlenmiştir.

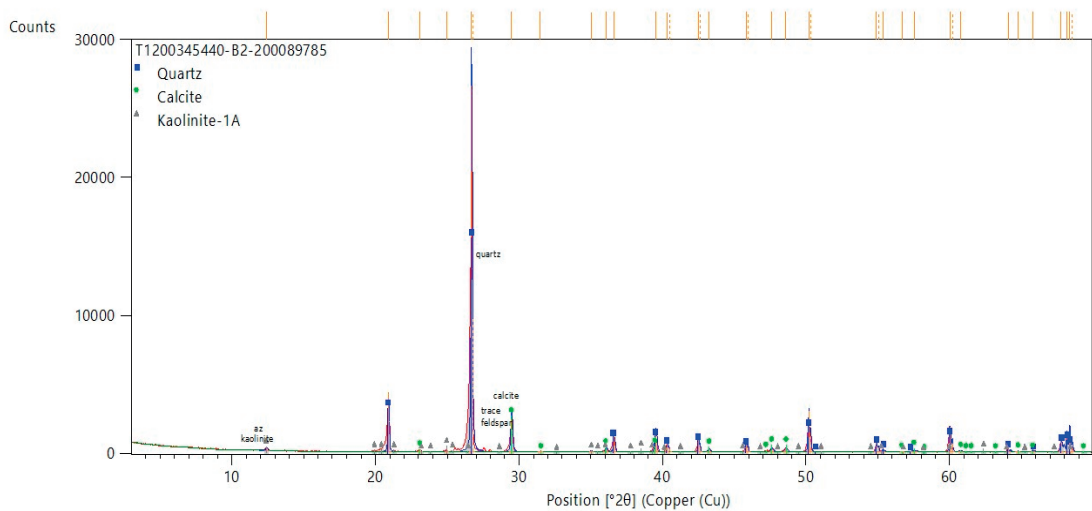
2.2.3. Aşındırılmalı Yıkama ve Sınıflandırmanın Flotasyona Etkisi

Bastırıcı olarak sodyum silikat ilave edilen deneylerde satılabilir nitelikte bir silis konsantresi üretilmemiştir. Silis kumu yüzeyinin alümina

silikatlar ve demir oksitler ile kaplı olabileceği ve bu nedenle aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırma işleminin gerekli olduğu belirlenmiştir. Sınıflandırma sonucunda elde edilen malzemenin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 9'da, XRD sonucu ise Şekil 3'de gösterilmiştir. Çizelge 9'da yer alan analiz sonuçları incelendiğinde malzemedeki çok ince boyutlu kil ve demir oksitler uzaklaştırılarak alüminyum ve demir içeriklerinde düşüşler sağlandığı görülmektedir.

Çizelge 9. Aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırma sonrası elde edilen malzemenin kimyasal analiz sonuçları

Boyut Grubu mm	İçerik, %								
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	KK
-0,5 +0,106	87,15	2,21	0,36	0,15	6,77	0,10	0,01	0,51	2,76
-0,106	72,84	8,79	1,33	0,31	8,48	0,19	0,08	1,11	6,87
Beslenen	82,03	3,13	0,48	0,17	6,84	0,09	0,02	0,60	6,64



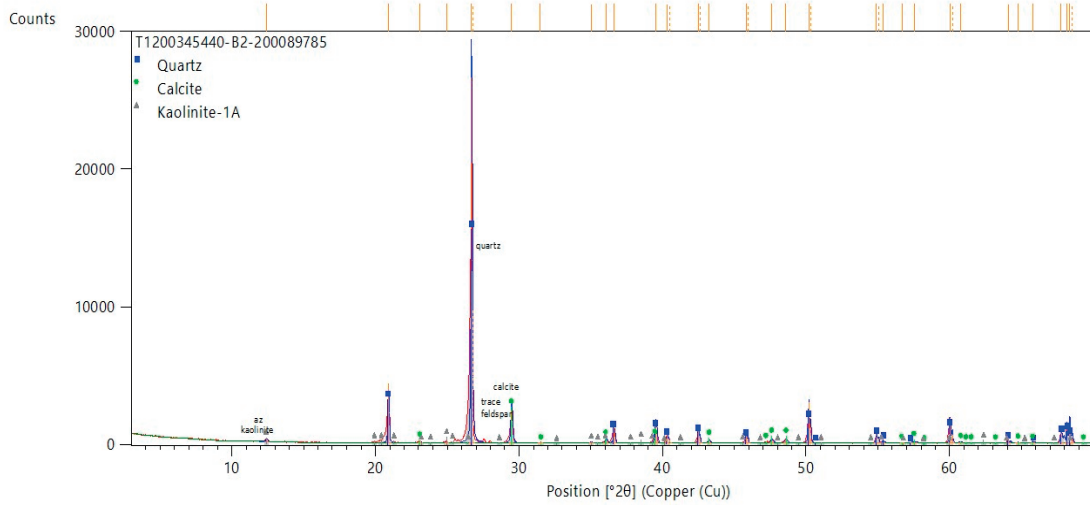
Şekil 3. Aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırma sonunda elde edilen -0,5+0,106 mm boyut grubundaki malzemenin XRD analiz sonuçları

Aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırma işleminin ardından malzemeye pH 9'da, bastırıcı olarak 2000 g/t Na_2SiO_3 , kollektör olarak Derna 7 (200 +200+200+200+200+300+300+300 g/t) ilavesi ile flotasyon işlemi uygulanmıştır. Çizelge 10'da gösterilen deney sonuçlarına göre %96,30 SiO_2

ve %0,30 Fe_2O_3 içerikli silis konsantresi elde edildiği görülmektedir. Şekil 4'de verilen XRD analizine göre de kalsitin büyük çoğunluğunun flote edilerek malzemeden uzaklaştırıldığı ancak demiroksitler için uygun sonuçların elde edilemediği belirlenmiştir.

Çizelge 10. Aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırmanın flotasyona etkisi

Ürünler	Miktar, %	İçerik, %					Verim, %	
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	CaO	SiO_2	Fe_2O_3
Demir Atığı	33,5	69,76	3,55	0,57	0,11	21,00	26,8	49,2
Silis Konsantresi	66,5	96,30	1,58	0,30	0,19	0,25	73,2	50,8
Toplam	100,0	87,40	2,24	0,39	0,16	7,21	100,0	100,0

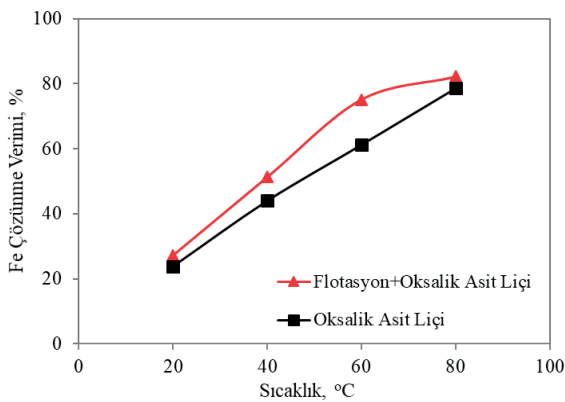


Şekil 4. Aşındırılmalı yıkama, sınıflandırma ve flotasyon sonunda elde edilen batan ürüne ait XRD analiz sonuçları

2.3. Kimyasal Çözündürme ile Zenginleştirme

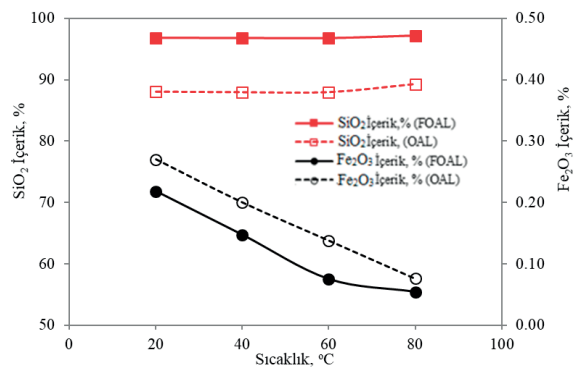
Gerek manyetik ayırma gerekse flotasyonla yeterli demir uzaklaştırma verimine ulaşamadığından oksalik asit liçi ile demir uzaklaştırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırmanın ardından 2000 g/t Na_2SiO_3 , kolektör olarak Derna 7 (200 +200+200+200+200+300+300+300 g/t) ilavesi ile gerçekleştirilen flotasyonda elde edilen silis konsantrisine oksalik asit liçi yapılmıştır. Ayrıca aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırmadan sonra flotasyon yapılmadan doğrudan oksalik asit liçi yapılarak flotasyonun gerekliliği incelenmiştir. Her iki malzeme için yapılan oksalik asit liçi 1/4 katı sıvı oranında, 0,5 M oksalik asit konsantrasyonunda ve 600 dev/dk karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Çözündürme deneylerinde sıcaklığın etkisi incelenerek, 20, 40, 60 ve 80°C'de deneyler yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen demir çözünme verimleri Şekil 5'de, SiO_2 ve Fe_2O_3 içerikleri ise Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 5. Kimyasal çözündürme sonrası demir çözünme verimleri

Deney sonuçlarına göre, sıcaklık arttırıldıkça demir oksit çözünme verimleri de artmış ve optimum sonuçlar 80°C'de elde edilmiştir. Flotasyon+oksalik asit liçi uygulanarak demir uzaklaştırma verimi %82,2'ye; sadece oksalik asit liçi ile ise %78,6'ya ulaşmıştır. Flotasyon+oksalik asit liçi sonrası elde edilen liç kekinde SiO_2 içeriği %97,18 ve Fe_2O_3 içeriği %0,054'tür. Doğrudan oksalik asit liçi sonrası ise liç kekinde SiO_2 içeriği %89,24 ve Fe_2O_3 içeriği ise %0,076 olarak elde edilmiştir. Flotasyon+oksalik asit liçi ve doğrudan oksalik asit liçinden elde edilen liç keklerine kimyasal analizin yanısıra XRD analizleri de yapılarak sonuçlar sırasıyla Şekil 7 ve 8'de gösterilmiştir.

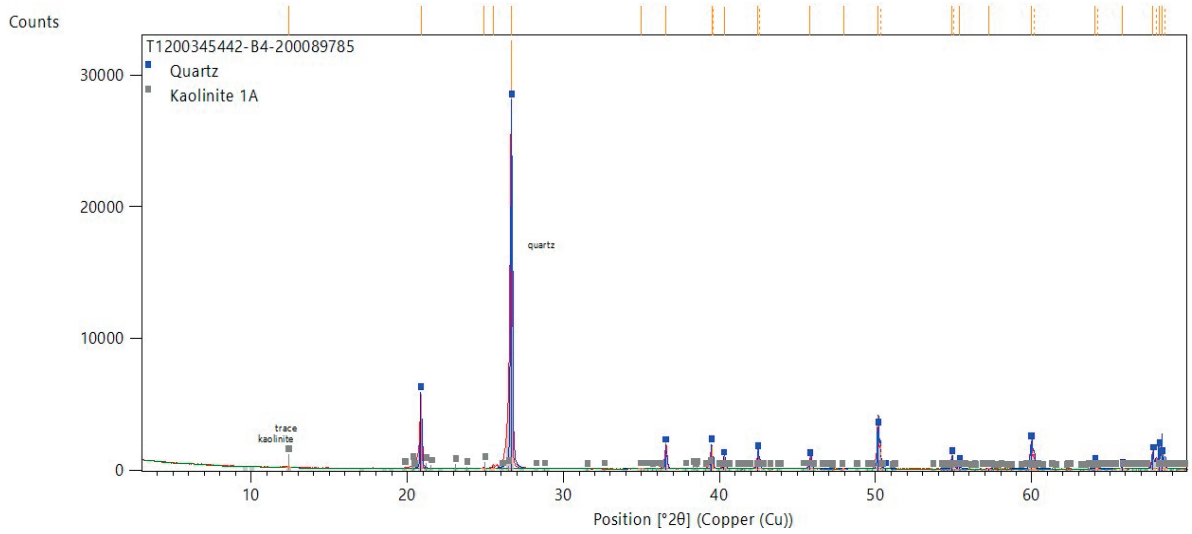
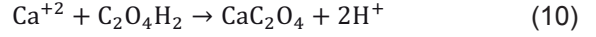


Şekil 6. Kimyasal çözündürme sonrası SiO_2 ve Fe_2O_3 içerikleri (FOAL: Flotasyon +Oksalik Asit Liçi, OAL: Oksalik asit Liçi)

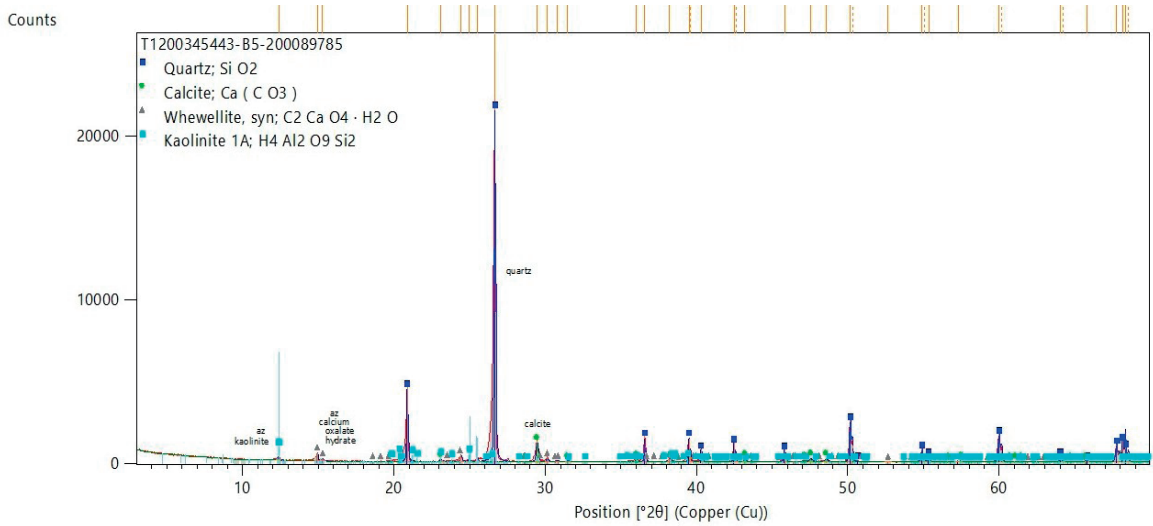
Şekil 7 ve Şekil 8'de ki XRD sonuçları incelendiğinde flotasyon+oksalik asit liçi sonucunda elde edilen ürünün çoğunluğunun kuvarsdan oluştuğu görülmektedir. Öncesinde

yapılan aşındırma yıkama ve sınıflandırma işlemi ile kaolinin çoğunluğu, flotasyon işlemi ile de kalsit mineralleri yüzdürülerek uzaklaştırılmıştır. Böylelikle oksalik asit liçi sistemine çoğunluğu kuvars ve az miktarda da demir oksit minerallerini içeren malzeme beslenmiştir. Oksalik asit doğrudan Fe_2O_3 ile reaksiyona girerek Fe_2O_3 içeriğinin %0,30'dan %0,054'e düşürülmesini sağlamıştır. Aşındırma yıkama ve sınıflandırma işleminden sonra doğrudan oksalik asit liçi uygulanan malzemede

kalsit mineralleri de bulunduğu ortamdaki Ca^{+2} iyonları oksalik asit ile reaksiyona girmiş ve Eşitlik 10'da gösterildiği gibi kalsiyum oksalat oluşumu gerçekleşmiştir. Bu sebeple doğrudan oksalik asit liçi ile yüksek kaliteli ve düşük demir içerikli silis kumu konsantresi elde edilemeyeceği, öncesinde flotasyon yönteminde uygulanması gerektiği belirlenmiştir.



Şekil 7. Flotasyon+Oksalik asit liçi sonrası elde edilen ürünün XRD analiz sonucu



Şekil 8. Oksalik asit liçi sonrası elde edilen ürünün XRD analiz sonucu.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada düşük SiO_2 içerikli kuvars kumunun katma değer kazanması ve uygun kullanım alanlarında değerlendirilebilmesi için Camiş Madencilik'e ait Bilecik bölgesinden temin edilen %82,03 SiO_2 , %3,13 Al_2O_3 , %0,48 Fe_2O_3 içeren silis kumu üzerinde fiziksel ve kimyasal yöntemler uygulanmıştır. Deney sonuçlarına göre;

1) 0,5+0,074 mm boyut grubunda gerçekleştirilen manyetik ayırma deneyinde non-manyetik üründeki Fe_2O_3 içeriği %0,26, SiO_2 içeriği ise %84,17 olarak elde edilmiştir.

2) Kollektör olarak Derna 7 ve bastırıcı olarak sodyum silikatın (Na_2SiO_3) ilave edildiği ters flotasyon deneylerinde elde edilen silis konsantrisinde %94,15 SiO_2 ve %0,24 Fe_2O_3 içeriklerine ulaşılmıştır. Sodyum silikat miktarının 1000 g/t'dan 2000 g/t'a artırılması durumunda Fe_2O_3 içeriğinde değişiklik olmaz iken SiO_2 içeriği %96,18'e yükselmiştir.

3) Aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırmanın ardından yapılan ters flotasyon deneyi sonucunda silis konsantrisinde SiO_2 ve Fe_2O_3 içerikleri açısından önemli bir iyileştirme olmamıştır.

4) Aşındırılmalı yıkama, sınıflandırma ve ters flotasyon deneyi sonucunda elde edilen silis konsantrisine 80°C'de uygulanan oksalik asit liçi ile SiO_2 içeriği %97,18'e yükselirken, Fe_2O_3 içeriği %0,054'e düşmüştür.

5) Aşındırılmalı yıkama ve sınıflandırma işleminin ardından doğrudan yapılan oksalik asit liçinde ise 80°C'de %89,24 SiO_2 ve %0,076 Fe_2O_3 içeriğine sahip kuvars kumu elde edilmiştir. Malzemenin yüksek kalsiyum içeriği sebebiyle oksalik asit katı formdaki kalsiyum oksalat oluşumuna sebep olmuştur. Bu durum oksalik asitin demir çözünmesi üzerindeki etkisini azaltırken malzemedeki safsızlıkların uzaklaştırılarak SiO_2 içeriğinin artmasını engellemiştir.

6) Satılabilir bir silis konsantrisi için tek bir zenginleştirme yönteminin yeterli olmadığı, sırasıyla aşındırılmalı yıkama, sınıflandırma, flotasyon ve oksalik asit liçi yöntemlerinin uygulanması gerektiği belirlenmiştir. Bu yöntemlerin uygulanması sonucunda üretilen %97,18 SiO_2 , %0,054 Fe_2O_3 , %1,32 Al_2O_3 , %0,171 TiO_2 , %0,19 CaO , %0,04 MgO , %0,01 Na_2O ve %0,29 K_2O içeriğine sahip silis konsantrisi silika

tuğla, gaz beton, silikon ve ferrosilikon üretiminde, döküm sanayinde, seramik çamurunda ve curuf yapıcı olarak kullanılabilir.

7) Uygulanan yöntemler maliyet açısından değerlendirildiğinde elde edilen konsantre, cam sanayi ve uç ürün sektöründe kullanılmayacağından yüksek sıcaklıkta oksalik asit liçinin ekonomik olmadığı görülmektedir. Bu bakımdan aşındırılmalı yıkama, sınıflandırma ve flotasyon işlemi ile elde edilen silis konsantrisi ancak daha nitelikli bir kum numunesi ile paçal yapılarak kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada numune temininde ve kimyasal analizlerde destek sağladıkları için Camiş Madencilik A.Ş.'ye, XRD analizleri için ise Esan Eczacıbaşı Endüstriyel Hammaddeler San. ve Tic. A.Ş. firmalarına çok teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Akçıl, A., Tuncuk, A., Devci, H., 2007. Kuvarsın Saflaştırılmasında Kullanılan Kimyasal Yöntemlerin İncelenmesi. Madencilik, 46 (4), 3-10.

Atak, S. 2017. Flotasyon Cevher Hazırlamada 100 Yıl. İTÜ Vakfı Yayınları.

Al-Maghrabi, M.N.H., 2004. Improvement of Low-grade Silica Sand Deposits in Jeddah Area. Engineering Science, 15, 113-128.

Ambikadevi, V. R., Lalithambika, M., 2000. Effect of Organic Acids on Ferric Iron Removal from Iron-Stained Kaolinite. Applied Clay Science, 16, 133-145.

Arvamangala, H., Natarajan, K. A., 2011. Microbially Induced Flotation of Alumina, Silica/calcite from Hematite. International Journal of Mineral Processing, 99, 70-77.

Banza, A. N., Quindt, J., Gock, E., 2006. Improvement of the Quartz Sand Processing at Hohenbocka. International Journal of Mineral Processing, 79, 76-82.

Buckland, A. D., Rochester, C. H., Topham, S. A., 1980. Infrared Study of the Adsorption of Carboxylic Acids on Hematite and Goethite Immersed in Carbon Tetrachloride. Faraday Trans., 176, 302-313.

Bulatovic, S. M., 2007. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory, and Practice, Amsterdam: Elsevier.

- Çilek, E. C., 2006. Mineral Flotasyonu. Süleyman Demirel Üniversitesi Yayın No:59, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Isparta.
- DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, 2001; Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Toprak Sanayii Hammaddeleri III (Kuvars kumu, Kuvarsit, Kuvars) Çalışma Grubu Raporu, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.
- Du, F., Li, J. S., Li, X. X., Zhang, Z. Z., 2011. Improvement of Iron Removal from Silica Sand Using Ultra-Assisted Oxalic Acid. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 389-393.
- Han, K. N., Healy, T. W., Fuerstenau, D. W., 1973. The Mechanism of Adsorption of Fatty Acids and Other Surfactants at the Oxide-Water Interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, 44, 407-414.
- Karagüzel, C., 2019. Endüstriyel Silikatlar, Özellikleri ve Zenginleştirme Yöntemleri; Genel Bakış. Aydın Maden Potansiyelinin Değerlendirilmesi Çalıştayı. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayını.
- Kulkarni, R. D., Somasundaran, P., 1975. Kinetics of Oleate Adsorption at the Liquid/Air Interface and its Role in Hematite Flotation. *AIChE Symp.*, 71, 124-133.
- Lanyon, M. R., Lwin, T., Merritt, R. R., 1999. The Dissolution of Iron in the Hydrochloric Acid Leach of an Ilmenite Concentrate. *Hydrometallurgy*, 51, 299-323.
- Lee, S. O., Tran, T., Jung B. H., Kim, S. J., Kim, M.J., 2007. Dissolution of Iron Oxide Using Oxalic Acid. *Hydrometallurgy*, 87, 91-99.
- Liu, F., Sun, C. Y., 2011. The Effects of Inorganic Anions and Collector's Different Addition Orders for the Flotation of Silicate Minerals with Dodecylamine as Collector. *China Mining Magazine* 20 (5), 71-74.
- Loritsch, K. B., James, R. D., 1991. Purified Quartz and Process for Purifying Quartz. United States Patent, Patent Number: 4,983,370.
- Mowla, D., Karimi, G., Ostadnezhad, K., 2008. Removal of Hematite from Silica Sand Ore by Reverse Flotation Technique. *Separation Purification Technology*, 58, 419-423.
- Nakhaei, F. Irannajad, M. 2018. Reagents Types in Flotation of Iron Oxide Minerals: A Review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 39 (2), 89-124.
- Özer, M., Başkurt, B., Burat, F., Baştürkcü, H., 2018. Ön Zenginleştirme Sonrasında Oksalik Asit Kullanımı ile Cam Kumu Tesisi Yan Ürününden Düşük Demir İçerikli Mikronize Kuvars Üretimi. *Madencilik*, 57 (2), 109-116.
- Palaniandy, S., Azizli, K. A. M., Hussin, H., Hashim, S. F. S., 2007. Study on Mechno-chemical Effect of Silica for Short Grinding Period. *International Journal of Mineral Processing*, 82, 195-202.
- Patermarakis, G. Paspaliaris, Y. 1989. The Leaching of Iron Oxides in Boehmitic Bauxite by Hydrochloric Acid. *Hydrometallurgy*, 23, 77-90.
- Pattanaik, A., Venugopal, R., 2018. Investigation of Adsorption Mechanism of Reagents (Surfactants) System and its Applicability in Iron Ore Flotation – An Overview. *Colloid and Interface Science Communications*, 25, 41-65.
- Peck, A. S., Raby, L. H., Wadsworth, M. E., 1966. An Infrared Study of the Flotation of Hematite with Oleic Acid and Sodium Oleate. *Trans. Metall. Soc. AIME* 235, 301-307.
- Rao, H., Dwari, K., Lu, R. K., Vilinska, S., Somasundaran, A. S., 2011. Mixed Anionic/nonionic Collectors in Phosphate Gangue Flotation from Magnetic Fines. *Open Mineral Processing Journal*, 14-24.
- Shen, X. M., Peng, Z. S., 2008. Study on Removal of Iron from Gaoping Quartz. *J. Xiangtan Univ., (Nat. Sci.)* 30, 78-79.
- Somasundaran, P., Huang, L., 2000. Adsorption and Aggregation of Surfactants and Their Mixtures at Solid/liquid Interfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 88, 179-208.
- Srdjan, M., 2007. *Handbook of Flotation Reagents*. Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 1-144.
- Styriaková, I., Štyriak, I., Kraus, I., Hradil, D., Grygar, T., Bezdička, P., 2003. Biodestruction and Deferritization of Quartz Sands by Bacillus species. *Miner. Eng.*, 16, 709-713.
- Taxiarchou, M., Panias, D., Douni, I., Paspaliaris, I., Kontopoulos, A., 1997. Removal of Iron from Silica Sand by Leaching with Oxalic Acid. *Hydrometallurgy*, 46, 215-227.
- Tuncuk, A., Akçıl, A., 2016. Iron Removal in Production of Purified Quartz by Hydrometallurgical Process. *International Journal of Mineral Processing*, 153, 44-50.
- URL-1, www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kuvars-kumu. 15 Ağustos 2020.

Xuesong, J., Jian, C., Mengnan, W., Feifei, L., Boyuan, B., Jingwei, L., 2020. Effect of Impurity Content Difference Between Quartz Particles on Flotation Behavior and Its Mechanism. *Powder Technology*, 375, 504-512.

Vegliò, F., 1997. Factorial Experiments in the Development of a Kaolin Leaching Process Using Thiourea in Sulphuric Acid Solutions. *Hydrometallurgy*, 45, 181-197.

Veglió, F., Passariello, B., Abbruzzese, C., 1999. Iron Removal Process for High-Purity Silica Sands Production by Oxalic Acid Leaching. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 38, 4443-4448.

Zhou Y. H., 2005. Acidic Leaching Experiments of Highly Pure Quartz. *Sand. Miner. Rock*, 25, 23-26.