

**TİNKAL CEVHERİNİN ZENGİNLEŞTİRİLMESİNDE
KULLANILACAK TEK KADEMELİ ÇÖZME HELEZONU TASARIMI****Design of a Single Stage Helical Extractor for Processing of Tincal Ore**

Nezahat EDİZ^(*)
Hüseyin ÖZDAĞ^(**)
Ahmet GÖRGÜLÜ^(***)

Anahtar Sözcükler : Tincal Cevheri, Bor Zenginleştirme, Helezon Taşıyıcı, Çözme Helezonu

ÖZET

Bor mineralleri modern teknolojide gübre sanayinden ilaç sanayine, temizlik maddesi yapımından nükleer endüstriye kadar çok çeşitli ve yaygın bir kullanıma sahiptir. Bor minerallerinin bu önemli ve vazgeçilmez konumu gelecekte de artarak devam edecektir.

Bu araştırmada bor cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılabilecek daha verimli bir yöntemin geliştirilmesine çalışılmıştır. Bu amaçla endüstride özellikle katı-sıvı ayırımı ve malzeme taşımak için kullanılan "helezon taşıyıcı", bor cevherlerinin zenginleştirilmesinde kullanılmak üzere yeniden tasarlanmış ve imal edilmiştir. "Tek Kademeli Çözme Helezonu" olarak isimlendirilen bu cihaz ile Etibor A.Ş. Kırka Boraks İşletmesi Konsantratör Tesisine beslenen (-25) mm cevherin (tincal) zenginleştirilmesi sağlanmıştır. Cihaz, değişik zenginleştirme şartlarında denenerek, tincal cevherlerinin doğrudan zenginleştirilmesinde kullanılabileceği saptanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda çözme helezonu için optimum çalışma şartları; (-4 +2,8) mm tane boyu, 70°C sıcaklık, 15° eğim, 7 d/dk devir hızı ve 1/8 katı/sıvı oranında elde edilmiştir.

ABSTRACT

Boron minerals have a wide and intensive usage in modern technology from fertilizer industry to pharmacy, detergent and nuclear industry. This important and indisputable position of boron minerals will remain the same in the future too.

In this research, an attempt has been made to develop a more efficient method for processing boron ores. For this purpose, a helical transporter, which is used for solid-liquid separation and material conveyance in industrial applications, has been re-designed and manufactured for processing boron ores. With the so called "single stage helical transporter" processing of boron ores (tincal) of (-25) mm, fed to the Concentrator in Etibor A.Ş. Kırka Mine, have been carried out. The efficient use of the transporter for processing tincal ores has been confirmed by testing it at various processing conditions. From the tests carried out, the optimum processing conditions for the helical extractor were obtained at particle size of (-4 +2.8) mm, helical angle of 15°, helical revolution of 7 rpm and solid/liquid ratio of 1/8.

<*) Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Seramik Mühendisliği Bölümü, Kütahya
<**) Prof.Dr., Osmangazi Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir
(...*) Dr., ETİ Gıda ve Sanayi A.Ş., Organize Sanayi Bölgesi, Eskişehir

1. GİRİŞ

Boratlar; önemli ölçüde B_2O_3 içeren borik asitlerin tuzları veya esterleri olarak tanımlanır ve endüstri tarafından borik asit sağlayan bileşikler olarak bilinir. Çok sayıda mineral bor-oksitler içerir, ancak ticari anlamda bunlardan ancak üç tanesi dünyada önemli sayılmaktadır. Bunlar; boraks (tinkal), üleksit ve kolemanittir. Bu mineraller ise birkaç ülkede çıkarılmaktadır. Bunlardan, ABD ve Türkiye dünya bor üretiminin yaklaşık %90'nını gerçekleştirmektedir (Lyday, 1991; Poslu ve Arslan 1995; Gülgönül, vd., 1997). Türkiye'de bor üretimi tamamen, bir kamu kuruluşu olan Etibor A.Ş. tarafından kontrol edilmektedir. Etibor A.Ş. Bigadiç ve Emet'teki yataklarından üleksit ve kolemaniti, Kırka yatağından ise boraksı üretmektedir.

ABD'de, bor ürünlerinin en önemli kullanım alanı izolasyon fiberleri olup, bunu tekstil fiberleri, borosilikat cam, deterjan ve seramik sanayii izlemektedir. Avrupa'da, deterjan sanayii en önemli bor kullanım alanı olmaya devam etmektedir. Japonyada ise tekstil fiberleri, bor bileşikleri kullanımının başında gelmektedir (Poslu ve Arslan, 1995; Sivrioğlu, 1996).

Bilindiği gibi tinkal cevheri, boyut küçültme işlemlerinden sonra yıkama hücrelerinde yıkanarak killerden ayrılmaktadır. Daha sonra cevher hidrosiklon ve sınıflandırıcılar yardımıyla çok ince taneli killerden arındırılıp santrifüj kurutucularda kurutulurken, konsantre tinkal elde edilmektedir. Konsantre tinkal ise 98°C de çözme tankında • çözüldürülerek basınçlı filtrelerde süzdürülmektedir. Çözünmeyenler ise flokülasyon ile çöktürülmekte ve berrak çözelti filtrelenerek kristalizatöre gönderilmektedir. Elde edilen temiz çözeltiden, kristalizatörde 66°C'ye soğutulurken "boraks pentahidrat"; 46°C'ye soğutulurken "boraks dekahidrat". kristalleri elde edilmektedir. Bu kristaller daha sonra kurutulup elenerek satışa sunulmaktadır (Sönmez, 1991; Ediz, 1999).

Bu araştırmada; ülkemiz için son derece önem taşıyan Etibor A.Ş.-Kırka tinkal cevherinin zenginleştirilmesinde kullanılabilecek yeni bir

yöntemin geliştirilmesine çalışılmıştır. Bu yöntem, endüstride özellikle katı-sıvı ayırımı ve malzeme taşımak için kullanılan "helezon taşıyıcının" (Demirsoy, 1984), tinkal zenginleştirmede kullanılabilecek şekilde yeniden tasarlanması ve imal edilmesini içermektedir. "Tek Kademeli Çözme Helezonu" olarak isimlendirilen bu cihaz ile daha sonra bir dizi zenginleştirme deneyi yapılmış ve başarılı sonuçlar alınmıştır (Ediz, 1999).

Tinkal cevherinin doğrudan zenginleştirilmesi amacıyla tasarlanan tek kademeli çözme helezonu, Etibor A.Ş. Kırka Boraks İşletmesinde deneme üretimi yapılan "çözme oluğuna" benzer bir sistemdir. Bu çözme oluğu biri yatay ve diğeri eğimli olmak üzere iki adet oluktan (yarım helezon) oluşmaktadır. Sistemde (-25) mm cevher besleme oranı ayarlanabilen bir bant konveyör ile yatay oluğa beslenmektedir. Yatay olukta çözünmenin gerçekleşmesi için katı besleme ile zayıf çözelti aynı yönde beslenmektedir (tek kademeli çözme helezonunda ise katı ve çözme suyu ters akım prensibine göre beslenmektedir). Oluktaki mile bağlı spiral kanatların dönmesi ile hem karıştırma hem de yatay taşınma gerçekleşmektedir. Yatay oluğun üst taşıyıcı (çözelti) doymuş çözelti tankına, alt kısmı ise (çözünmeyen katı) bir ara helezon ile eğimli oluğa beslenmektedir. İkinci oluk yaklaşık 20°'lik bir eğime sahip olup yatay olukta çözünmeyen cevherin ikincil çözünmesini ve katı atığın tesis dışına taşınmasını sağlamaktadır. Eğimli oluğun çözeltisi ise ayrı bir çözelti tankına alınarak tinkal cevherinin doğrudan zenginleştirilmesi sağlanmaktadır (Cebi, vd., 1996).

2. HELEZON TAŞIYICILAR VE ÇÖZME HELEZONU TASARIMI

2.1. Helezon Taşıyıcı Hakkında Genel Bilgi

Helezon taşıyıcılar, yaklaşık 2200 yıl önce *Archimedes* tarafından sulamada kullanılmak üzere pompa olarak geliştirilmiştir. Günümüzde helezonlu taşıyıcılar, çok değişik amaçlar için ve değişik malzemelerin taşınmasında kullanılan sürekli ileticilerdir (Demirsoy, 1984). Genelde

bir helezon taşıyıcı, ayaklar üzerinde oturan, giriş ve boşaltma ağızları bulunan bir tekne ve teknenin içinde yataklanmış olan boru mil üzerine helezon şeklinde sarılmış iletici kanatlardan oluşmaktadır. Mil, bir tahrik sistemi tarafından (motor, kavrama, dişli kutusu) tahrik edilmektedir. Teknenin içine dökülen iletim malı ise, kendi ağırlığı ve sürtünme ile teknenin altına oturmakta ve kanatlar vasıtasıyla daima ileriye doğru itilmektedir. Yatay, eğik ve hatta özel durumlarda dik iletimler için de kullanılan helezon taşıyıcılar, aynı zamanda katı-sıvı ayırımı da yapmaktadır. Bu özellikleri nedeniyle başlıca; çimento, kireç, şeker, bira fabrikalarında, un değirmenlerinde, şekerleme endüstrisinde ve çeşitli kimya proseslerinde kullanılırlar.

Standartlarda, bir helezon taşıyıcıda taşınacak malzemenin tane büyüklüğü, helezonun dış çapı (D) ile orantılandırılmakta ve tane büyüklüğü Eşitlik 1 ile belirlenmektedir.

$$a_{\max} = (0,08-0,25)xD \quad (1)$$

Helezon taşıyıcıları ile ilgili diğer tasarım parametreleri ise aşağıda verilmiştir.

İletim miktarı (Q), ton/h olarak Eşitlik 2'de verilmiştir (Demirsoy, 1984):

$$Q = (C \cdot (7U \cdot D^2 / 4) \cdot h \cdot n \cdot y \cdot e \cdot k) \cdot 60 \quad (2)$$

burada;

- C : helezon faktörü,
- D : helezon çapı (m),
- h : hatve (m),
- n : devir sayısı (devir/dk),
- Y : yoğunluk (ton/m³),
- e : doldurma derecesi (%),
- k : eğim faktörü,

İletim hızı (V), m/sn olarak aşağıdaki gibi hesaplanır (Eşitlik 3):

$$V = (n \cdot h) / 60 \quad (3)$$

2.2. Çözme Helezonu Tasarımında Kullanılan Parametreler

Bu çalışmada tinalar cevherinden bor minerallerini çözerek elde etmek amacıyla, ters akımlı ve tek kademeli bir "tam helezon" tasarlanmıştır. Bu amaçla öncelikle, cevherin çözünme şartları ile ilgili laboratuvar çalışmaları yapılmış ve elde edilen optimum parametreler çözme helezonu tasarımında kullanılmıştır (Ediz, 1999). Bunlar:

Helezon debisi : 50 - 250 gr/dk olarak imalat tekniği açısından kabul edilmiştir.

Helezon açılan : 5°, 10° ve 15° olarak kabul edilmiştir.

- Helezon devri : 7 d/dk, 12 d/dk ve 17 d/dk olarak hesaplardan ve mevcut dişli kutusu ile elektrik motoru özelliğinden dolayı kabul edilmiştir.

- Tane boyutu : (-4 +2,8) mm, (-2,8 +2) mm ve (-2 +1) mm olarak ön deneylerden kabul edilmiştir.

Katı/Sıvı oranı; 1/4, 1/6 ve 1/8 olarak ön deneylerden kabul edilmiştir.

- Çözme suyu sıcaklığı; 100°C'ye çıkabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Cidar suyu sıcaklıkları; 100°C'ye çıkabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Çözünme süreleri; 1 - 3,5 dk olarak deneysel sonuçlardan kabul edilmiştir.

3. PROTOTİP HELEZON TASARIMI

Yukarıda verilen tasarım parametreleri ve kabuller doğrultusunda bir prototip helezon imal edilmiştir (Şekil 1). Ancak prototip helezon ile yapılan deneylerde bir takım aksaklıklar yaşanmış ve bu aksaklıkları gidermek amacıyla bazı değişiklikler yapılmıştır. Yapılan bu değişiklikler aşağıda özetlenmiştir:

Cidar boşluğu 1 mm'ye yükseltilmiştir.

Çözme suyu girişi (D), çıkış boğazından (A) 50 mm geriye alınmıştır.

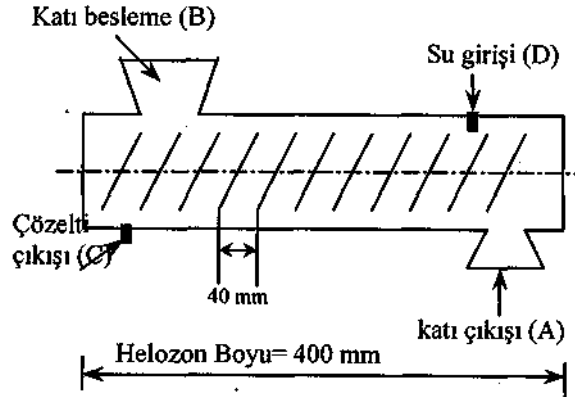
Katı girişine sabit debide cevher besleyebilmek için bir besleme haznesi yapılmıştır.

Çözelti çıkışından katı gelişini engellemek için bir filtre konulmuş ve bu bölümdeki helezon kanatçıkları iptal edilmiştir.

Helezon hatvelerindeki blokajı engellemek ve çözeltinin geri akışını kolaylaştırmak için kanatlar parçalanmış ve delinmiştir.

Çözme suyu debisini ölçmek için dijital flowmetre adaptasyonu yapılmıştır.

Cidar ve çözme suyu sıcaklığını hassas olarak kontrol edebilmek için sıcaklık kontrol ünitesi adaptasyonu yapılmıştır.



Şekil 1. Prototip çözme helezonu

Aksaklıkların bazılarının giderilmesi ile prototip helezon ile deneyler sürdürülmüş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Ancak daha etkin çözme ve temiz çözelti (katı oranı düşük) sağlayabilmek amacıyla, elde edilen veriler doğrultusunda daha uygun yeni bir helezon tasarlanmasına ve imaline karar verilmiştir.

4. NİHAİ HELEZONUN TASARIMI

Tek kademeli çözme helezonu, bor cevherlerini zenginleştirmede kullanılmak üzere geliştirilen ve Kırka Boraks İşletmesinde pilot çapta denenilen, "çözme oluşuna" benzeyen yeni bir sistemdir. Bu sistem;

Özel tasarlanmış kapalı tam bir helezon,
Ayarlanabilir eğim,
Ayarlanabilir helezon devri,
Ayarlanabilir sıcaklıklarda çözme suyu,
Ayarlanabilir sıcaklıkta ısıtma ünitesinden oluşmaktadır.

Sistemde cevher; yükselen bir açıda yukarı doğru transfer edilirken, çözme suyu ters yönde ve düşen açı doğrultusunda hareket etmektedir. Böylece ters akım yardımıyla etkin bir çözme işlemi gerçekleşmekte ve aynı anda katı-sıvı ayırımı da yapılmaktadır. Nihai helezonun tasarım hesapları aşağıda verilmiştir.

$$Q = (C \cdot (7t \cdot D^2 / 4) \cdot h \cdot n \cdot y \cdot e \cdot k) \cdot 60$$

V_{max}	18×10^3 ton/h
D	54×10^{-3} m
h_1	$= 28 \times 10^{-3}$ m (sık hatve)
h_2	$= 40 \times 10^{-3}$ m (seyrek hatve)
γ	$1,71$ t/m ³ (cevher için)
e	0,30 (hafif aşındıran, küçük taneli yığın mallar için)
C	1,0 (tam helezon için)
k	0,7 (15° eğim için)

Çift hatveli helezon milinin, sık kanatlı ve seyrek kanatlı bölümleri için devir sayısı Eşitlik 2 yardımıyla aşağıdaki gibi hesaplanır:

Sık kanatlı bölüm için devir sayısı:

$$18 \cdot 10^{-3} = (1 \cdot (r \cdot (54 \cdot 10^{-3})^2 / 4) \cdot 28 \cdot 10^{-3} \cdot 1,71 \cdot 0,3 \cdot 0,7) \cdot 60$$

$$n_s = 13,04 \text{ d/dk}$$

Seyrek kanatlı bölüm için devir sayısı:

$$18 \cdot 10^{-3} = (1 \cdot (r \cdot (54 \cdot 10^{-3})^2 / 4) \cdot 40 \cdot 10^{-3} \cdot 1,71 \cdot 0,3 \cdot 0,7) \cdot 60$$

$$n_2=9, Ud/dk$$

Deneylerde önceden belirlenen debideki malzemeyi transfer etmek için, tek kademeli çözme helezonuna 0-20 d/dk arasında ayarlanabilen bir motor redüktör monte edilmiştir. Yukarıdaki hesaplar ve prototip helezondan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, nihai helezon aşağıdaki şekilde yeniden tasarlanmıştır (Şekil 2):

Helezon boyu uzatılmıştır (istenilen debi, çözme süresi ve çözme verimi için).

Cidar boşluğu 1 mm'de tutulmuştur.

Çözme suyu için,, çıkış boğazına 4 farklı uzaklıkta giriş manşonları konulmuştur.

Sabit debide su beslemek için tank suyuna bir devir-daim pompası konulmuştur.

Tıkanmayı engellemek için; giriş bölümü daha sık, çıkış bölümü ise daha geniş hatveli olan, bir helezon imal edilmiştir (Şekil 3).

Cidarda daha etkin bir ısıtma ve gerektiğinde buhar vermek için tesisat eklenmiştir.

Cidar ve çözme sıcaklığının daha hassas kontrolü için hassas sıcaklık kontrol ünitesi adaptasyonu yapılmıştır.

Helezon yataklar, blokajı engellemek için mühendislik plastiğinden yapılmıştır.

Cevherin istenen oranda beslenebilmesi için bir vibratörlü besleyici, katı besleme kısmına monte edilmiştir.

Vibratörlü besleyici debisinin sabitliğini sağlamak için voltaj değişimini önleyecek bir UPS (kesintisiz güç kaynağı) cihazı montajı yapılmıştır.

Cidar ısı kayıplarını minimize etmek için helezon gövdesi izole edilmiştir.

Çözelti çıkışındaki katı partikülleri tutmak için filtre konulmuştur.

Şekil 4 helezon gövdesinin teknik resmini, Şekil 5 tek kademeli çözme helezonunun komple resmini vermektedir. Şekil 2'den görüldüğü gibi çözme helezonu aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır.

Helezon tahrik ünitesi (C): Değişik debilerde etkin çözünmeyi sağlamak için helezon devri bir frekans değiştirici ile 0-20 d/dk (0-400 gr/dk) arası ayarlanabilmektedir. Devir, sertifikalı (TSE SOJUZTEST) ve 0,01 skalalı bir takometre (LUTRON marka) ile hassas ölçülmüş ve her bir frekansa karşılık, devir sayıları belirlenmiştir. Bu frekans ve karşılığı helezon devirleri aşağıda verilmiştir:

Çizelge 1. Frekans ile Helezon Devir Sayısı Arasındaki İlişki

Frekans (Hz)	Helezon Devri (d/dk)
17,2	7
29,5	12
41,8	17

Frekans değiştirici, normal şebeke frekansını (50 Hz) 8 kata (400 Hz) çıkararak, motoru nominal devri üzerindeki devirlerde çalıştırmaktadır. Tahrik ünitesi motor ve dişli- kutusu ile akuple bir sistemden oluşmakta ve helezona bir elastik kaplinle bağlanmaktadır (YILMAZ REDÜKTÖR, N=20; n=917 d/dk; i=1/45,85; M=35,8Nm).

Vibratörlü besleyici (A): Helezona, belirli debide cevher beslemek için bir vibratörlü besleyici (FRITSCH) bağlanmıştır. Bu besleyicinin vibrasyon şiddeti değiştirilerek, debi hassas olarak ayarlanabilmektedir. Voltaj değişikliklerinin debiyi etkilememesi için, besleyici bir UPS cihazına bağlanmıştır.

Sıcak su tankı (G[^]): Helezon ceketini ısıtmak ve çözme suyunu belli sıcaklıklarda beslemek için elektrik-rezistans ısıtıcılı (1,5 kW), termoçiftli (PT-100 ELİMKO) ve dijital sıcaklık-kontrol ünitesi (OMRON) bir sıcak su tankı kullanılmıştır. Tanktaki su, sıcaklık kontrol ünitesi ile istenen sıcaklığa getirilip, devir-daim

pompası ile helezon ceketinde dolaştırılmakta, helezona ise bir flowmetreden geçirilerek beslenmektedir. Su debisi; tank dışına monte edilen, ölçekli bir çizelge ve kronometre ile de kontrol edilebilmektedir.

Helezon şasisi ve açılış ünitesi (K): Bu bölüm, sistemi üzerinde taşıyan bir şasi ve helezona eğim verebilen bir düzenekten oluşmaktadır. Katı-sıvı ayırımı ve çözme verimini arttırmak için helezona ayarlanabilen bir açılı (0°-25°) verilebilmektedir.

Frekans konvertörü (D): Helezonda, 0-20 d/dk arasında istenilen devir hızını verebilecek şekilde, AC motor devrini ayarlayan bir frekans konvertörü kullanılmıştır. Bu konvertör, frekansı 0-400 Hz arası değiştirerek motor nominal devrini 8 katı bir devre ulaştırabilmektedir. Frekans, cihaz üzerindeki bir potansiyometre ile ayarlanmaktadır.

Sirkülasyon pompası (H): Çözme suyunu sabit debide helezona beslemek için, tank çıkışına bir devir-daim pompası ve kısma vanası monte edilmiştir. Böylece su debisi, ayarlanan bir değerde sabit olarak beslenebilmektedir.

Flowmetre (F): Çözme suyunun debisini belirleyebilmek amacıyla, pompa çıkışına bir flowmetre (KOBOLT) monte edilmiştir. Flowmetre, kullanım öncesinde değişik kademelerde deneyerek kalibre edilmiştir.

Sıcaklık kontrol sistemi (E): Su tankındaki sıcaklığı okuyan bir termociftten gelen bilgiler, sıcaklık kontrol ünitesi tarafından, verilen set değerleri içerisinde değerlendirilip ısıtıcı devreye sokulmaktadır. Sıcaklık kontrol ünitesine, 3 ayrı sıcaklık değeri verilebilmektedir. Bunlar; normal set değeri, üst alarm değeri ve alt alarm değeridir. Set edilen bir sıcaklık, ayarlanan üst alarm değerine ulaştığında, ısıtıcı devreden çıkmaktadır. Alt alarm değerine düştüğünde ise ısıtıcı yeniden devreye sokulmaktadır. Sistemde alarm ve set değerleri, 0,1 °C aralıklarla ayarlanabilmektedir.

Analog termometre: Sadece okuduğu sıcaklığı bilgi olarak verebilen, bir analog termometre yardımı ile sıcaklık, ikincil bir kontrolden geçirilmektedir.

Elektrikli ısıtıcı: Çözme suyunun sıcaklığını istenilen seviyede tutmak için 1,5 kW gücünde (380 V) bir elektrikli ısıtıcı, su-tankına monte edilmiştir. Isıtıcı, deney şartlarına göre sıcaklık kontrol ünitesi ve termocift aracılığı ile devreye sokulup çıkartılabilmektedir.

5. DENEYSEL SONUÇLAR

İmalatı gerçekleştirilen tek kademeli çözme helezonu ile tıkalı cevherinin zenginleştirilmesi ve cihazın optimum çalışma şartlarının belirlenmesi için bir dizi deney yapılmıştır. Deneyler esnasında, ön çalışmalarda belirlenen bazı parametreler kabul olarak kullanılmıştır. Bu parametreler aşağıda verilmiştir:

Helezonun taşıma kapasitesinin; malzemenin cinsi, tane boyu, devir hızı ve eğime bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir. Sistemdeki tıkanmaları önlemek için cevherde maksimum taşıma kapasitesinin %75'i besleme oranı olarak kullanılmıştır.

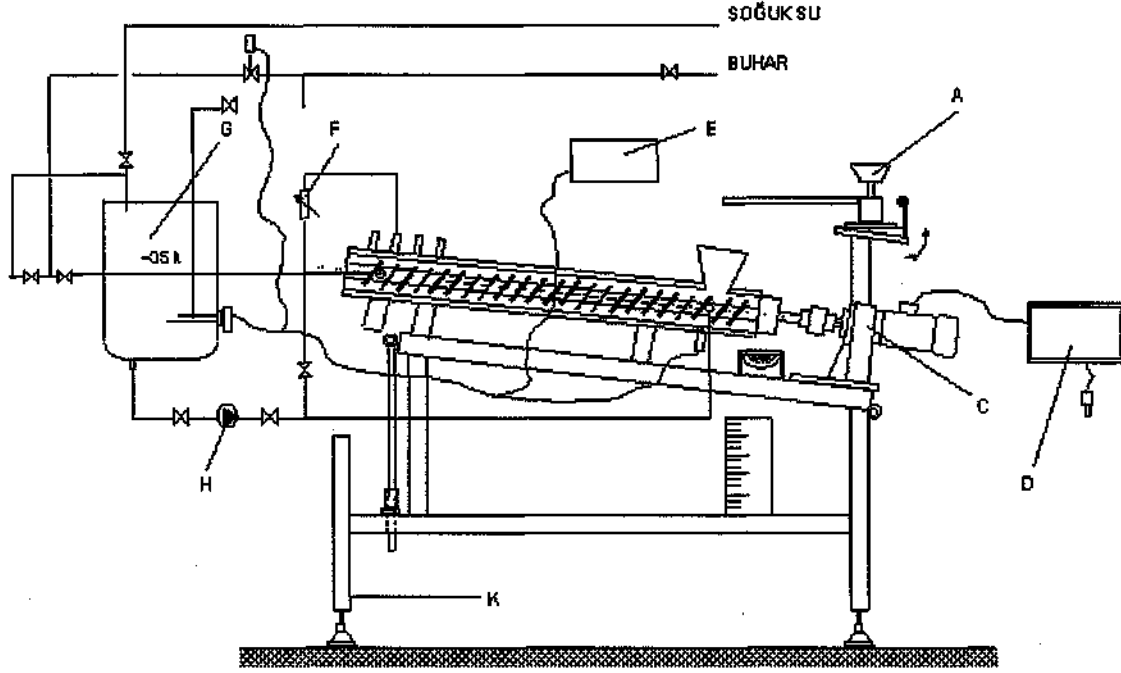
Tane boyu-zenginleştirme deneyleri dışında, deneylerde (-4 +2,8) mm tane boyut aralığı olarak kullanılmıştır.

Helezonun devir hızları 7 d/dk, 12 d/dk ve 17 d/dk arasında değiştirilmiştir.

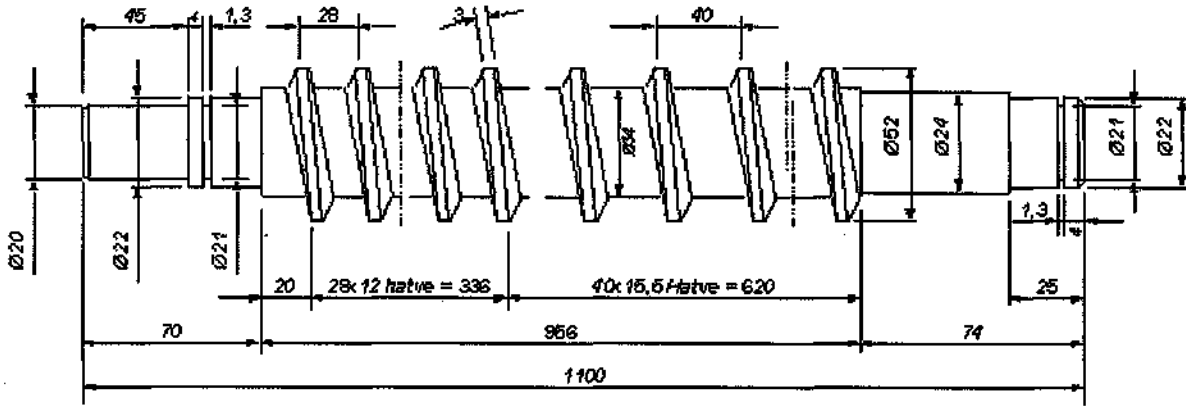
Helezon eğimleri ise 5°, 10° ve 15° arasında değiştirilmiştir.

Katı/sıvı oranı 1/4, 1/6 ve 1/8 olarak seçilmiştir.

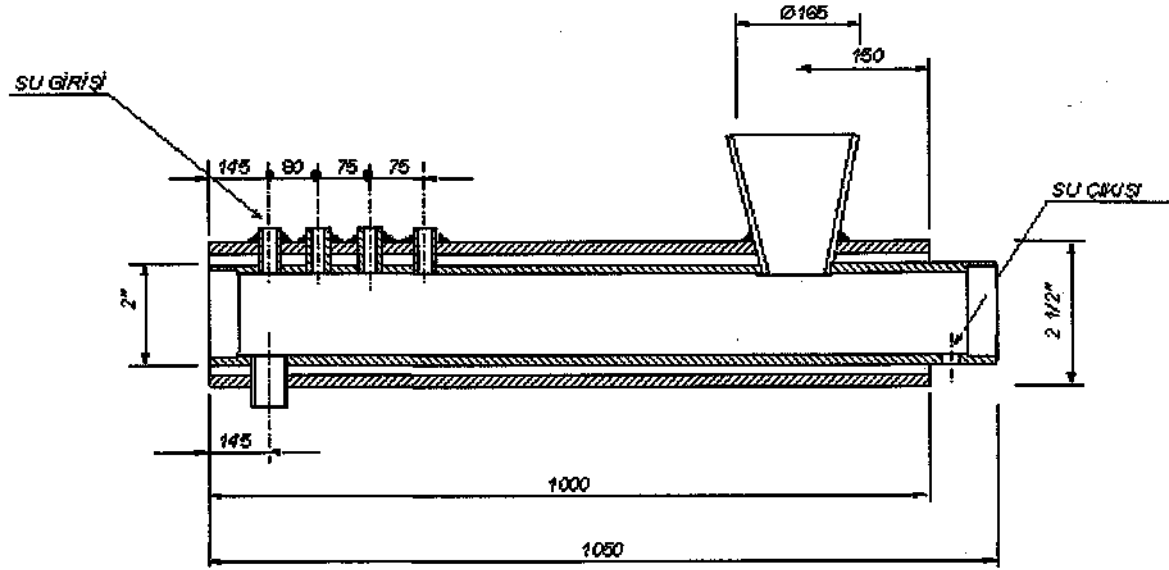
- Çözme sıcaklığı olarak 35°C, 50°C, 60°C ve 70°C kullanılmıştır.
- 4 farklı helezon boyundan (musluk girişi), 2 nolu musluk en uygun bulunmuştur.



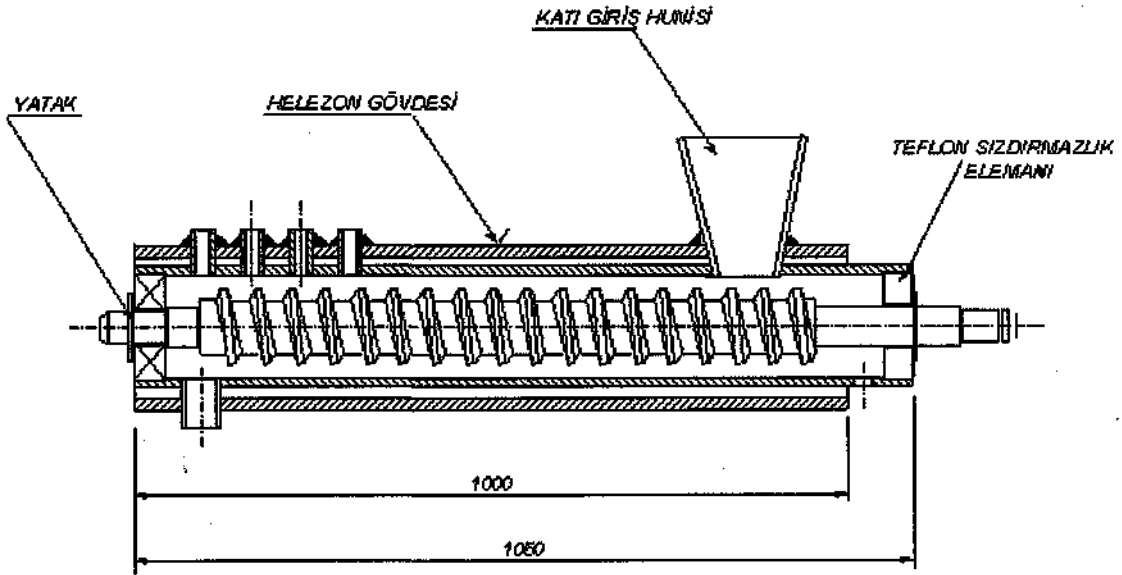
Şekil 2. Tek kademeli çözme helazonu ve deney setinin şematik görünümü



Şekil 3. Çift hatveli helazon milinin teknik resmi



Şekil 4. Helezon gövdesinin teknik resmi



Şekil 5. Çözme helezonunun komple resmi

Yukarıdaki kabuller doğrultusunda, tek kademeli çözme helezonu ile tane boyu-çözünürlük, sıcaklık-çözünürlük, helezon eğimi-çözünürlük, devir hızı-çözünürlük ve katı-sıvı oranı-çözünürlük deneyleri yürütülmüştür. Deneylerde tek kademeli çözme helezonuna cevher vibratör besleyici ile, su ise bir flowmetre ile istenen katı-sıvı oranlarında düzenli olarak beslenmiştir. Belirli şartlarda helezon ile çözünme sağlandıktan sonra, hem katı hemde sıvı çıkışından 1'er dakika ara ile 3 örnek alınmıştır. Daha sonra alınan örneklerin B₂O₃ analizleri yapılarak, ortalamaları alınmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

5.1. Tane Boyu-Çözünme Deney Sonuçları

Bu deneylerde tek kademeli çözme helezonu ile cevher içerisindeki B₂O₃ çözünmesinin tane boyutu ile olan ilişkisi araştırılmıştır. Sonuçlar Çizelge 2'de özetlenmiştir.

Çizelge 2. Tane Boyu-Çözünme Deney Sonuçları

Deney Koşulları T=35°C, D=7 d/dk, K/S=1/6, ot=5°, Musluk No=2		
Tane Boyu, ram	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözümlenmiş Kil Oranı, %
(-4 +2,8)	50,56	5,48
(-2,8+2)	54,28	8,27
(-2+1)	61,05	9,76

Çizelge 2'den görüldüğü gibi, cevherdeki B₂O₃ çözünürlüğü tane boyutu küçüldükçe artmaktadır. Bu sonuç, ince tanelerde borun suyla temasının artması ve böylece çözünmesinin kolaylaşması ile açıklanabilir.

5.2. Sıcaklık-Çözünme Deney Sonuçları

Bor çözünürlüğünün sıcaklıkla değiştiği bilinmektedir. Bu grup deneyler ile, "tek kademeli çözme helezonu" kullanarak sıcaklık ile bor çözünme oranlarının değişimi belirlenmeye

çalışılmıştır. Başlangıç sıcaklık değeri olarak, ortam sıcaklığının biraz üstünde bir değer, yani 35°C seçilmiştir. 50°C'de yapılan deney sonuçlarının önemli artışlar göstermesi nedeniyle, sıcaklık aralıkları azaltılmış ve 60°C ile 70°C'de deneyler yürütülmüştür. 70°C'de, hem çözünme oranlarının oldukça yüksek olması, hem de bu sıcaklığın üstünde sistemde ısı kayıplarının artması ve sabit sıcaklık deney şartlarının sağlanmasının zorlaşması nedeniyle deneyler yapılamamıştır. Deney sonuçları ve koşullar Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi cevher için özellikle 50°C ve üzerinde çözünme oranında önemli bir artış gözlenmektedir. 70°C'de bor çözünme oranı %88,66 gibi oldukça yüksek bir değere ulaşmıştır. Bu nedenle, enerji ekonomisi sağlamak amacıyla helezon ile zenginleştirmede, ortam sıcaklıklarının 50°C-70°C arasında seçilmesi uygun bulunmuştur.

Çizelge 3. Sıcaklık-Çözünme Deney Sonuçları

Deney Koşulları Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, D=7 d/dk, K/S=1/8, cc=15°, Musluk No=2		
Sıcaklık, °C	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözümlenmiş Kil Oranı, %
35	69,30	5,44
50	78,44	7,07
60	85,04	9,29
70	88,66	13,94

5.3. Helezon Boyu-Çözünme Deney Sonuçları

Helezon üzerinde, istenildiği gibi seçilebilen ve aralarında 7,5 cm mesafe bulunan 4 adet musluk yerleştirilmiştir. Bu muslukların su tankına bağlantıları değiştirilerek, sıvı besleme yeri, dolayısıyla helezonda çözme prosesinin gerçekleştiği uzunluk değiştirilebilmektedir. Bu grup deneylerde amaç; mevcut helezonun tasarımını değiştirmeden, çözünme olayının en iyi geliştiği helezon boyu ve sıvı besleme yerinin belirlenmesidir. Çizelge 4 deney sonuçlarını vermektedir.

Çizelge 4. Helezon Boyu-Çözünme Deney Sonuçları

Deney Koşulları Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, D==7 d/dk, K/S=1/4, oc=5°			
Musluk No	Helezon Boyu, cm	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	DeneySEL Sonuçlar
1	85,5	39,72	Su kaçağı fazla
2	77,5	41,03	Su kaçağı az, çözünme iyi
3	70,0	38,73	Çözünme az
4	62,5	36,44	Çözünme az

Çizelgeden görüldüğü gibi, en uygun musluk yeri veya helezon çözme uzunluğu, 2-numaralı musluk kullanıldığında ortaya çıkmaktadır.

5.4. Katı/sıvı Oranı-Çözme Deney Sonuçları

Bu grup deneylerde devir hızlarına bağlı olarak belirlenen optimum katı besleme miktarlarına karşılık gelen sıvı besleme miktarları, farklı oranlar alınarak değiştirilmiştir. Amaç; "tek kademeli çözme helezonu" ile çalışmada optimum katı/sıvı oranlarını belirlemek olmuştur. Deney Şartları ve sonuçlar Çizelge 5-7'de özetlenmiştir.

Çizelge 5-7'den görüldüğü gibi, sistemde su oranı arttıkça, B₂O₃ çözünürlüğü artmaktadır. Bu sonuç; katı ile temas eden su miktarının artmasına bağlı olarak çözünmenin artması ile açıklanabilir. Ayrıca su oranının artması, helezon içinde suyun daha hızlı akmasına ve cevher üzerindeki killi yüzeylerin yıkanmasını sağlayarak, borun daha çok çözünmesine neden olmaktadır. Ancak özellikle düşük eğimlerde ve yüksek devirlerde, yüksek su oranları katı çıkış kısmından suyun kaçmasına neden olmaktadır. Genelde, helezon eğimi arttıkça, daha yüksek çözünürlük elde etmek için, su oranının artırılabilirliği görülmektedir.

Çizelge 5. Katı/sıvı Oranı ve Çözünme Deney Sonuçları (Eğim=5°)

Deney Koşulları Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Katı/sıvı Oranı	Devir Hızı, d/dk	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözültideki Kil, %
1/4	7	41,03	7,55
1/6	7	50,56	5,48
1/8	7	49,27 (sulu)	4,56
1/4	12	34,29 (sulu)	7,86
1/6	12	33,26 (sulu)	7,46
1/8	12	katısı çok sulu, yapılmadı	-
1/4	17	25,41 (sulu)	11,64
1/6	17	Katısı çok sulu, yapılmadı	"
1/8	17	Katısı çok sulu, yapılmadı	"

Çizelge 6. Katı/sıvı Oranı ve Çözünme Deney Sonuçları (Eğim= 10°)

Deney Koşulları Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Katı/sıvı Oranı	Devir Hızı, d/dk	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözültideki Kil, %
1/4	7	42,15	8,08
1/6	7	51,35	6,13
1/8	7	54,40	4,12
1/4	12	37,01	9,09
1/6	12	42,60	6,36
1/8	12	47,12	4,58
1/4	17	32,51 (sulu)	7,03
1/6	17	katısı çok sulu, yapılmadı	-
1/8	17	katısı çok sulu, yapılmadı	-

Çizelge 7. Katı/sıvı Oranı ve Çözünme Deney Sonuçları (Eğim=15°)

Deney Koşulları Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Katı/sıvı Oranı	Devir Hızı, d/dk	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözültideki Kil, %
1/4	7	44,75	10,69
1/6	7	59,76	7,43
1/8	7	69,30	5,44
1/4	12	39,46	10,92
1/6	12	53,26	7,57
1/8	12	55,04	5,70
1/4	17	35,03	11,38
1/6	17	44,32	7,74
1/8	17	46,07	5,96

Sonuçlardan, gerek katı çıkış kısmındaki su kaçağının azlığı ve çözültideki kil oranının düşüklüğü, gerekse yüksek çözünürlük göz önüne alındığında, 15° eğim ve 7 d/dk devir hızında, en uygun katı/sıvı oranının 1/8 olduğu görülmektedir.

5.5. Helezon Devir Hızı-Çözme Deney Sonuçları

En uygun devir hızını belirlemek için yapılan bu grup deney sonuçları Çizelge 8-10'da özetlemektedir.

Çizelge 8. Helezon Devir Hızı ve Çözünme Deney Sonuçları (Eğim=5°)

Deney Koşulları			
Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Devir Hızı, d/dk	Katı/sıvı Oranı	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözültideki Kil, %
7	1/4	41,03	7,55
12	1/4	34,29 (sulu)	7,86
17	1/4	25,41 (sulu)	11,64
7	1/6	50,56	5,48
12	1/6	33,26 (sulu)	7,46
17	1/6	Katısı sulu, yapılmadı	
7	1/8	49,27	4,56
12	1/8	katısı sulu, yapılmadı	
17	1/8	katısı çok sulu, yapılmadı	-

Çizelge 9. Helezon Devir Hızı ve Çözünme Deney Sonuçları (Eğim=10°)

Deney Koşulları			
Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Devir Hızı, d/dk	Katı/sıvı Oranı	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözültideki Kil, %
7	1/4	42,15	8,08
12	1/4	37,01	9,09
17	1/4	32,51 (sulu)	7,03
7	1/6	51,35	6,13
12	1/6	42,60	6,36
17	1/6	katısı sulu, yapılmadı	-
7	1/8	54,40	4,12
12	1/8	47,12	4,58
17	1/8	katısı çok sulu, yapılmadı	-

Çizelge 10. Helezon Devir Hızı ve Çözünme Deney Sonuçları (Eğim=15°)

Deney Koşulları			
Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Devir Hızı, d/dk	Katı/sıvı Oranı	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözültideki Kil, %
7	1/4	44,75	10,69
12	1/4	39,46	10,92
17	1/4	35,03	11,38
7	1/6	59,76	7,43
12	1/6	53,26	7,57
17	1/6	44,32	7,74
7	1/8	69,30	5,44
12	1/8	55,04	5,70
17	1/8	46,07	5,96

Çizelge 8-10'dan görüldüğü gibi, helezon devir hızı arttıkça çözünme azalmaktadır. Bu sonuç, devir hızı yükseldikçe katınm helezon içinde kalma süresinin kısılması, böylece katının su ile temasının ve çözünmesinin azalması ile açıklanabilir. Ayrıca, yüksek devir hızlarında killer daha fazla dağılarak çözültideki kil oranını yükseltmiştir. Dolayısıyla, çözme helezonunda düşük devir hızlarının kullanılması daha uygun olacaktır.

Sonuç olarak; gerek çözültide yüksek B₂O₃ oranı ve düşük kil miktarı, gerekse katı çıkışındaki su kaçağı azlığı göz önüne alındığında, cevher için 15° eğim ve 1/8 katı/sıvı oranında en uygun devir hızının 7 d/dk olduğu görülmektedir.

5.6. Helezon Eğimi-Çözme Deney Sonuçları

Tek kademeli çözme helezonunun belirli şartlarda en uygun çalışma eğiminin belirlenmesi önemlidir. Çünkü helezon eğimi; katının taşınmasını ve sıvının aşağı hareketini sağlayacak, aynı zamanda en iyi zenginleştirme şartlarını oluşturacak şekilde seçilmelidir. Bu grup deney sonuçları Çizelge 11-13'de özetlenmiştir.

Çizelge 11. Helezon Eğimi-Çözünme Denev Sonuçlan (Devir=7 d/dk)

Denev Koşulları			
Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Helezon Eğimi,	Katı/Sıvı Oranı	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözeltildeki Kil, %
5	1/4	41,03	7,55
10	1/4	42,15	8,08
15	1/4	44,75	10,69
5	1/6	50,56	5,48
10	1/6	51,35	6,13
15	1/6	59,76	7,43
5	1/8	49,27 (sulu)	4,56
10	1/8	54,40	4,12
15	1/8	69,30 -	5,44

Çizelge 12. Helezon Eğimi-Çözünme Denev Sonuçlan (Devir=12 d/dk)

Denev Koşulları			
Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2			
Helezon Eğimi,	Katı/Sıvı Oranı	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözeltildeki Kil, %
5	1/4	34,29 (sulu)	7,86
10	1/4	37,01	9,09
15	1/4	39,46	10,92
5	1/6	33,26 (sulu)	7,46
10	1/6	42,60	6,36
15	1/6	53,26	7,57
5	1/8	katısı sulu, yapılmadı	
10	1/8	47,12	4,58
15	1/8	55,04	5,70

Çizelge 10-12'den görüldüğü gibi, cevher için eğim arttıkça bor çözünürlüğü artmaktadır. Bu sonuç; cevherin yüksek eğimlerde, helezonda kalış süresinin artmasına ve cevher tanelerinin helezon kanatlarında hareket ederken düşük devirlerde yuvarlanma hareketi, yüksek

Çizelge 13. Helezon Eğimi-Çözünme Denev Sonuçları (Devir=17 d/dk)

Denev Koşulları				
Tane Boyu=(-4 +2,8) mm, T=35°C, Musluk No=2				
Helezon Eğimi,	Katı/Sıvı Oranı	B ₂ O ₃ Çözünürlüğü, %	Çözeltildeki Kil, %	
5	1/4	25,41 (sulu)	11,64	
10	1/4	32,51 (sulu)	7,03	
15	1/4	35,03	11,38	
5	1/6	katısı çok sulu, yapılmadı		
10	1/6	katısı sulu, yapılmadı		
15	1/6	44,32	7,74	
5	1/8	katısı çok sulu, yapılmadı		
10	1/8	katısı sulu, yapılmadı		
15	1/8	46,07	5,96	

devirde ise düşme hareketi yapmasına bağlı olarak daha iyi çözünme ortamına sahip olmasıyla açıklanabilir. Bir başka deyişle, yüksek eğimlerde cevher tanelerinin yuvarlanma ve düşme hareketleri, cevherin yüzeyindeki killerden kurtulmasına ve suyla daha fazla temas ederek çözünürlüğün artmasına neden olmaktadır. Genelde helezon eğimi arttıkça, çözeltildeki kil oranının yükseldiği gözlenmiştir.

Sonuç olarak; gerek çözeltilde yüksek B₂O₃ oranı, gerekse katı çıkışındaki su kaçağı azlığı göz önüne alındığında, 7 d/dk ve 1/8 katı/sıvı oranında en uygun helezon eğiminin 15° olduğu görülmektedir.

6. SONUÇLAR

Bu araştırmada; tinal cevherinin doğrudan zenginleştirilmesinde kullanılabilecek "tek kademeli çözme helezonunun" tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Çözme helezonu ile yapılan zenginleştirme deneylerinde; helezonun boyu, eğimi, devir hızı, ortam sıcaklığı, katı/sıvı besleme oranları, malzeme tane boyu değiştirilerek cihazın en uygun çalışma şartları belirlenmiştir.

Bu araştırmanın en önemli sonucu; geliştirilen tek kademeli çözme helezonunun, tinkal cevherinin doğrudan zenginleştirilmesinde kullanılabilirliği. Yapılan deneyler sonucunda; gerek katı çıkış kısmındaki su kaçağının azlığı ve çözeltideki kil oranının düşüklüğü, gerekse elde edilen yüksek B_2O_3 çözünürlüğü göz önüne alındığında; (-4 +2,8) mm tane boyu, 70°C sıcaklık, 15° eğim, 7 d/dk devir hızı ve 1/8 katı/sıvı oranı, çözme helezonu için optimum çalışma şartları olarak belirlenmiştir (Ediz, 1999).

Sönmez, E., 1991; "Kırka Tinkal Cevheri ve Konsantresinin Zenginleştirilme Olanaklarının Araştırılması", Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, 108 s.

KAYNAKLAR

Cebi, H., Delice, S., Özkan, Ş., Neslioğlu, V., Poslu, K., Demircan, E., 1996; "A new Approach to Borax Pentahydrate Production", Proceedings of the 6th International Mineral Processing Symposium, Kuşadası, s. 373-376.

Demirsoy, M., 1984; Transport Tekniği, Birsen Yayınevi, İstanbul, 439 s.

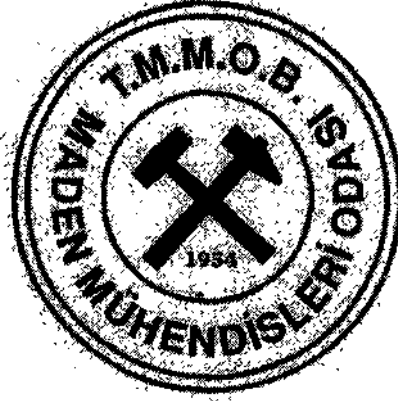
Ediz, N., 1999; "Tinkal Cevherinin Zenginleştirilmesi ve Borlu Suların Arıtılmasında Tek Kademeli Çözme Helezonunun Kullanımı", Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 171 s.

Gülgönül, İ., Çelik, M.S., Çınar, M., 1997; "Üleksit Flotasyonunda Şlamin Etki Mekanizması", 2. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s 70-75.

Lyday, P.A., 1991; Boron-1990, Mineral Commodity Summaries, US Bureau of Mines, 9 s.

Poslu, K., Arslan, İ.H., 1995; "Dünya Bor Mineralleri ve Bileşikleri Üretiminde Türkiye'nin Yeri", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, s 33-42.

Sivrioğlu, İ., 1996; Bor Mineralleri ve Bor Bileşikleri Üretiminde Etibank'ın Çalışmaları ve İleriye Dönük Planları, Bor Bileşikleri Üretim Teknolojileri Araştırmaları Danışma Toplantısı, TÜBİTAK-MAM, Gebze, 9 s.



TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI

1954 yılında 6235 sayılı yasayla kurulmuş kamu niteliği taşıyan bir meslek örgütüdür.

- 6500 Üye
- 4 Şube
- 39 Temsilcilik

ile ülkemizin her yerinde örgütlenmiştir.

Düzenlediği Madencilik ve Kömür Kongreleri, birçok sempozyum, seminer ve panellerle madencilik sektörü ve maden mühendislerinin sorunlarına çağdaş bir yaklaşımla çözüm arayan madencilik sektörünün en önemli sivil toplum örgütüdür.

Adres :

Selânik Cad. Yeşim Apt. No: 19/3
06650 Kızılay / ANKARA

Tel : 0.312.425 10 80

: 0.312.418 36 57

Fax : 0.312.417 52 90

WEB <http://www.mining-eng.org.tr>

e-mail : maden@mining-eng.org.tr