



T.C.

NİĞDE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE BÖLGESİ JİPS CEVHERİNİN İNCE/ÇOK İNCE BOYUTLARA  
ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİ VE ÜRÜN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

BİLGE ÖKSÜZOĞLU

Mart 2015



T.C.  
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

NİĞDE BÖLGESİ JİPS CEVHERİNİN İNCE/ÇOK İNCE BOYUTLARA  
ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİ VE ÜRÜN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bilge ÖKSÜZOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Metin UÇURUM

Mart 2015

**Bilge ÖKSÜZOĞLU** tarafından **Doç.Dr. Metin UÇURUM** danışmanlığında hazırlanan "**Niğde Bölgesi Jips Cevherinin İnce/Çok İnce Boyutlara Öğütülebilirliği Ve Ürün Özelliklerinin Araştırılması**" adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Maden Mühendisliği** Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Doç.Dr. Metin UÇURUM (Niğde Üniversitesi)



Üye : Doç.Dr. Ö. Yusuf TORAMAN (Niğde Üniversitesi)



Üye : Doç. Dr. Adem TAŞDEMİR (Eskişehir Osmangazi Üniversitesi)

**ONAY:**

Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../20... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun .../.../20... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

.../.../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Bilge ÖKSÜZOĞLU

## ÖZET

### NİĞDE BÖLGESİ JİPS CEVHERİNİN İNCE/ÇOK İNCE BOYUTLARA ÖĞÜTÜLEBİLİRLİĞİ VE ÜRÜN ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖKSÜZOĞLU, Bilge

Niğde Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Metin UÇURUM

Mart 2015, 77 Sayfa

Ülkemiz kalitesi yüksek jips cevherleri açısından oldukça zengin olup, bu cevherlerin tamamı açık işletme yöntemiyle doğadan kazanıldıktan sonra çoğunlukla inşaat sektöründe (çimento, alçı vb.) kullanılmaktadır. Bu endüstriyel mineralin daha farklı alanlarda kullanılabilirliğinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Zira jips, beyaz boya, kimya, gübre, tıp, dolgu maddesi olarak kâğıt ve pamuklu tekstil maddeleri gibi sanayinin birçok alanında kullanılabilir. Jips cevherinin sayılan bu endüstri dallarında kullanılabilmesi için ince (<100 µm)/çok ince (<10 µm) boyutlara öğütülmesi gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında; Niğde Ulukışla bölgesi jips cevherinin konvansiyonel bilyeli değirmende kuru ortamda öğütülebilirliğine etki eden öğütme parametreleri sistematik olarak araştırılmış ve elde edilen mikronize jips ürünlerinin özellikleri ortaya konmuştur.

**Anahtar sözcükler:** Jips, bilyeli değirmen, öğütme parametreleri, mikronize ürün, ürün özellikleri

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF GRINDABILITY TO FINE/VERY FINE SIZE OF NIĞDE REGION GYPSUM ORE

ÖKSÜZOĞLU, Bilge

Niğde University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Supervisor: Associate Prof. Dr. Metin UÇURUM

March 2015, 77 pages

Our country has got important high quality of industrial minerals and gypsum is one of them and almost all of gypsum ores are produced by open pit mining. Generally, it is used in building industry (cement, plaster, etc.). This mineral is needed to investigate its usability in different areas. Gypsum is an industrial material used in many applications such as white paint, chemistry, fertilizer manufacture, medicine, paper and cotton textile as filler material. In order to use gypsum in these industries, it needs to be ground to fine (<100  $\mu\text{m}$ )/ultra-fine (<10  $\mu\text{m}$ ) sizes.

In this thesis, the effect of grinding parameters in grindability of gypsum ores from Niğde Ulukışla region were investigated systematically by conventional dry ball milling and the properties of micronized gypsum products obtained were determined.

**Keywords:** Gypsum, ball mill, grinding parameters, micronized products, product specifications

## ÖNSÖZ

Sunulan bu yüksek lisans tezinde; jips, ufalama ve sınıflandırma teknolojileri hakkında bilgi verdikten sonra, Niğde Bölgesi jips cevherinin laboratuvar ölçekli bilyeli değirmende ince/çok ince boyutlara öğütülebilirliğine etki eden öğütme parametreleri sistematik olarak çalışılmıştır. Tezin en son aşamasında ise optimum öğütme şartlarında elde edilen mikronize jips ürünlerinin özellikleri ortaya konulmuştur.

Yüksek lisans eğitimimde ve tez çalışmamda bana yardımını esirgemeyen tez danışmanım Doç. Dr. Metin UÇURUM'a teşekkürlerimi bir borç bilirim. Ayrıca tez çalışmalarında kullanılan tüvenan jips cevherinin ve kimyasal analizlerin temininde yardımlarını esirgemeyen K Global Alçı Madencilik San. ve Tic. Ltd. Şirketi yetkililerinden Mehmet ÖRNEK'e çok teşekkür ederim. Tez çalışmamda; XRD çekimlerini yapan Yrd. Doç. Dr. Murat ÇİFTLİKLİ'ye, beyazlık ölçümlerini gerçekleştirdiğim NİDAŞ Ltd. Şti. yetkililerine ve özellikle Kimyager Fatih ÖZER'e, tane boyut dağılımı ölçümlerini yaptığım Aykal Madencilik Tic. ve San. A.Ş yetkilisi Ahmet DAĞLIOĞLU'na yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	i
SUMMARY .....	ii
ÖNSÖZ .....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	xi
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
BÖLÜM I GİRİŞ .....	1
BÖLÜM II JİPS .....	2
2.1 Jips ve Anhidrit Yataklarının Oluşumu .....	4
2.2 Ülkemizde ve Dünyada Jips Rezervi.....	5
2.3 Jips ve Anhidritin Kullanım Alanları.....	7
BÖLÜM III JİPS CEVHERİNİN UFALANMASI .....	11
3.1 Kırma.....	11
3.1.1 Çeneli kırıcılar .....	12
3.1.2 Jiroskopik döner (gyratory) kırıcılar .....	14

3.1.3 Primer darbeli kırıcılar .....	15
3.2 Sekonder Kırıcılar .....	16
3.2.1 Konik kırıcılar .....	16
3.2.2 Merdaneli kırıcılar .....	18
3.2.3 Darbeli kırıcılar .....	18
3.3 Öğütme ve Öğütücüler .....	19
3.3.1 Çubuklu değirmenler .....	20
3.3.2 Bilyeli değirmenler .....	23
3.3.3 Valsli değirmenler .....	25
3.3.4 Öğütme ile ilgili diğer hususlar .....	26
3.3.4.1 Kapasite .....	26
3.3.4.2 Maliyet .....	27
3.3.4.3 Ufalama oranı .....	27
3.3.4.4 Kritik hız .....	28
3.3.4.5 Öğütme yardımcısı kimyasal katkı maddeleri .....	30
3.4 Seperasyon .....	34
<b>BÖLÜM IV ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR .....</b>	<b>40</b>

BÖLÜM V MATERYAL VE METOT .....	44
5.1 Materyal .....	44
5.2 Metot .....	44
BÖLÜM VI BULGULAR VE TARTIŞMA .....	53
6.1 Değirmen Hızının Etkisi .....	53
6.2 Bilye Doluluk Oranının ( $J_b$ ) Etkisi .....	55
6.3 Bilye Boyut Dağılım Oranını Etkisi .....	57
6.4 Jips Doluluk Oranının ( $f_c$ ) Etkisi .....	59
6.5 Öğütme Yardımcısının Etkisi .....	61
6.6 Öğütme Süresinin Etkisi .....	63
6.7 Mikronize Jips Ürünlerinin Özellikleri .....	66
BÖLÜM VII SONUÇLAR .....	70
KAYNAKLAR .....	72
ÖZGEÇMİŞ .....	77

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Jips ve anhidritin fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	3
Çizelge 2.2. Türkiye'nin alçıtaşı potansiyeli .....	6
Çizelge 3.1. Değirmenlerin genel özellikleri .....	22
Çizelge 3.2. Bilyeli değirmenlerde L/D oranı .....	24
Çizelge 3.3. Valsli değirmen öğütme verileri .....	26
Çizelge 3.4. Öğütmede kullanılan yüzey aktif maddeler .....	33
Çizelge 5.1. Tüvenan jips cevherin kimyasal analiz sonuçları .....	44
Çizelge 6.1. Hız parametresinin çalışma şartları .....	53
Çizelge 6.2. Bilye doluluk oranı parametresinin çalışma şartları .....	55
Çizelge 6.3. Bilye boyut dağılım oranı parametresinin çalışma şartları .....	57
Çizelge 6.4. Jips doluluk oranı parametresinin çalışma şartları .....	57
Çizelge 6.5. Öğütme yardımcısı oranı parametresinin çalışma şartları .....	61
Çizelge 6.6. Öğütme süresi parametresinin çalışma şartları .....	63
Çizelge 6.7. Mikronize jips ürününe ait toplam yüzey alan değerleri .....	68
Çizelge 6.8. Besleme malı ve öğütme süresine bağlı olarak elde edilen mikronize jips ürünlerinin renk parametre değerleri ve toplam renk farkı .....	68

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Jips cevheri .....	3
Şekil 2.2. Epimetamorf triyas serileri içindeki jips yataklarının jeolojik kesiti. Semmering, Avusturya .....	4
Şekil 2.3. Alçı üretimi akım şeması .....	10
Şekil 3.1. Çeneli kırıcı mafsallanma şekilleri .....	12
Şekil 3.2. Çift istinat kollu blake tipi çeneli kırıcı .....	13
Şekil 3.3. Tek istinat kollu blake tipi çeneli kırıcı .....	14
Şekil 3.4. Jiroskopik döner kırıcı .....	15
Şekil 3.5. Darbeli kırıcı .....	16
Şekil 3.6. Döner ve konik kırıcı kesitleri .....	17
Şekil 3.7. Standart ve kısa kafalı döner kırıcılar .....	17
Şekil 3.8. Konik kırıcı kırma aralıkları .....	17
Şekil 3.9. Merdaneli kırıcı .....	18
Şekil 3.10. Darbeli ve çekiçli kırıcı .....	19
Şekil 3.11. Çubuklu değirmen .....	21
Şekil 3.12. Bilyeli değirmen .....	24

Şekil 3.13. Bilyeli değirmenlerde boşaltma şekilleri .....	25
Şekil 3.14. Öğütme ruloları .....	25
Şekil 3.15. Değirmen içindeki tam şarjın hareketi.....	28
Şekil 3.16. Değirmen içindeki şarjın düşme açıları .....	29
Şekil 3.17. Şarj, kritik hız ve düşme açısı arasındaki ilişki .....	29
Şekil 3.18. Şarj ve hıza bağlı olarak değirmen içindeki hareket.....	30
Şekil 3.19. Kesikli küçültme sistemlerinde ulaşılan dinamik dengenin gösterilişi .....	34
Şekil 3.20. Havalı sınıflandırıcı kesiti .....	36
Şekil 3.21. Statik havalı ayırıcı kesit görünümü.....	37
Şekil 3.22. Altı rotorlu yatay yataklı dinamik ayırıcı .....	38
Şekil 3.23. Yatay yataklı dinamik ayırıcı kullanılan basit öğütme devresi .....	39
Şekil 5.1. Tüvenan jips cevherinin XRD analiz sonuçları .....	45
Şekil 5.2. Öğütme besleme malı cevherin elek analizi .....	47
Şekil 5.3. CIEL*a*b* renk düzlemi.....	51
Şekil 6.1. Farklı değirmen hızlarının kümülatif elek altı eğrileri .....	54
Şekil 6.2. Çalışılan değirmen hızlarına ait $d_{80}$ değerleri .....	54
Şekil 6.3. Bilye doluluk oranlarına ( $J_b$ ) ait kümülatif elek altı eğrileri .....	56

Şekil 6.4. Çalışılan bilye doluluk oranlarına ait $d_{80}$ değerleri.....	56
Şekil 6.5. Bilye boyut dağılım oranının kümülatif elek altı eğrileri .....	58
Şekil 6.6. Bilye boyut dağılımı oranının $d_{80}$ değerleri .....	58
Şekil 6.7. Jips doluluk oranlarına ait kümülatif elek altı eğrileri .....	60
Şekil 6.8. Jips doluluk oranlarına ait $d_{80}$ değerleri.....	60
Şekil 6.9. Öğütme yardımcısı miktarına ait kümülatif elek altı eğrileri .....	62
Şekil 6.10. Öğütme yardımcısı oranlarına ait $d_{80}$ değerleri.....	62
Şekil 6.11. 5 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı .....	63
Şekil 6.12. 10 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı .....	64
Şekil 6.13. 15 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı .....	64
Şekil 6.14. 20 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı .....	65
Şekil 6.15. 30 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı .....	65
Şekil 6.16. Öğütme sürelerine ait $d_{80}$ değerleri.....	66
Şekil 6.17. Mikronize jips ürünlerine ait $d_{50}$ değerleri .....	67
Şekil 6.18. Öğütme sürelerine ait SF değerleri.....	67
Şekil 6.19. 30 dakika öğütme ürünü mikronize jipsin XRD sonuçları .....	69

## **RESİMLER DİZİNİ**

Resim 5.1. X-Ray difraktometre cihazı .....	45
Resim 5.2. Deneyleerde kullanılan çeneli kırıcının genel görünüşü .....	46
Resim 5.3. Deneyleerde kullanılan bilyeli değirmenin genel görünüşü.....	46
Resim 5.4. Deneyleerde kullanılan eleklerin genel görünüşü .....	47
Resim 5.5. Deneysel çalışmalarda kullanılan Sympatec cihazı.....	49
Resim 5.6. Deneysel çalışmalarda kullanılan Datacolor Elrepho 450xcihazı .....	49

## KISALTMALAR DİZİNİ

$d_{80}$ : Tane boyutunun %80'nin geçtiği elek açıklığı

$d_{50}$ : Tane boyutunun %50'sinin geçtiği elek açıklığı

ppm: Milyonda bir

gr/t : Gram/Ton

kg : Kilogram

$\mu\text{m}$ : Mikron metre

XRD: X-Işını Difraktometrisi

SF: Diklik Faktörü (steepness factor)

$N_c$ : Kritik Hız

$J_b$ : Bilye Doluluk Oranı

$f_c$ : Jips Doluluk Oranı

CIE: Uluslararası Aydınlatma Komisyonu

PSD: Boyut Dağılım Eğrisi

MTA: Maden Tetkik Arama

DPT: Devlet Planlama Teşkilatı

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), kimyasal bileşimi kalsiyum sülfat olan bir mineraldir. Bileşiminde iki molekül kristal suyu bulundurmaktadır. Susuz kalsiyum sülfat ise anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) olarak adlandırılmaktadır. Ülkemiz kalitesi yüksek jips cevherleri açısından oldukça zengin olup, bu cevherlerin hepsi açık işletme yöntemiyle doğadan kazanıldıktan sonra genellikle inşaat sektöründe (çimento, alçı vb.) kullanılmaktadır. Bu endüstriyel mineralin daha farklı alanlarda kullanılabilirliğinin araştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Zira jips, beyaz boya, kimya, gübre, tıp ve dolgu maddesi olarak kâğıt ve pamuklu tekstil ürünleri gibi sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Jips cevherinin söz konusu bu endüstri dallarında kullanılabilmesi için ince/çok ince boyutlara öğütülmesi gerekmektedir.

Özellikle Türkiye’de endüstriyel minerallerin mikronize boyutlarda öğütülmesinde en fazla kuru olarak çalıştırılan konvansiyonel bilyeli değirmenler kullanılmaktadır. Söz konusu değirmen havalı bir seperatörle kapalı devre çalıştırılarak ince/çok ince boyutlarda ürünler üretilmektedir. Ülkemizde konvansiyonel bilyeli değirmenlerin çok geniş olarak kullanılmasının temel nedenleri ise, teknolojisinin bilinmesi dolayısı ile yerli üretiminin yapılabilmesi ve yüksek kapasiteye sahip olmalarıdır.

Bu çalışmada; Türkiye’nin en kaliteli jips rezervlerinden olan Niğde Ulukışla bölgesi cevherlerinin ince ( $<100 \mu\text{m}$ )/çok ince ( $<10 \mu\text{m}$ ) boyutlara konvansiyonel bilyeli değirmende öğütülebilirliği ve ürün özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, öncelikli olarak cevher -2 mm boyutuna kırılmak sureti ile öğütme çalışmaları için besleme malı elde edilmiştir. Daha sonra laboratuvar ölçekli bilyeli değirmende öğütme parametrelerinin (öğütme hızı, bilye doluluk oranı, bilye dağılım oranı, jips doluluk oranı, öğütme yardımcısı miktarı, öğütme süresi) jipsin mikronize boyutlara öğütülmesine etkileri ortaya konulduktan sonra optimum öğütme şartlarında farklı öğütme süreleri kullanılarak elde edilen mikronize jips ürünlerinin özellikleri (tane boyut dağılımı, diklik faktörü, renk özellikleri ve mineralojik yapısı) belirlenmiştir.

## BÖLÜM II

### JİPS

Alçıtaşı (Jips) iki molekül su içeren kalsiyum sülfattır ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). Doğal anhidritin ( $\text{CaSO}_4$ ) milyonlarca yıl içerisinde hidratize olması sonucu oluştuğu kabul edilir (Bates, 1969). İkincil ürün olmasına karşın alçıtaşı doğal anhidritten daha yaygın olarak tanınır ve kullanılır (İstanbuluoğlu, 1997). Jips ve Anhidrit ekonomik rezerv oluşturan alçıtaşı mineralleridir. Birbirlerinden sertlik ve özgül ağırlıkları ile kolayca ayırt edilebilirler. Taneli jips kristalleri jips kayaçlarını oluşturur, tane çapları safsızlıkla orantılıdır ve yabancı madde etrafında oluşan kristalleri iri taneli olurlar. Jipse göre daha yoğun olan anhidrit minerali de, anhidrit kayacı olarak, jips yataklarında bulunur.  $20^\circ\text{C}$ ' de 100 gr suda 0.27 gr anhidrit çözülür (Sarıiz ve Nuhoğlu, 1992). Kayaç içerisinde jips genellikle beyaz, renksiz veya gri renkte bulunmaktadır. Ayrıca kahverengi, bej, turuncu, pembe, sarı ve yeşil renkler de göstermektedir. Birçok değişik şekle sahiptir. Yassı kristaller şeklinde, prizmatik, iğnemsiz, lifsi, pulsu, merceksi, gül biçimli, masif, mükemmel balık kuyruğu veya kırlangıç kuyruğu ikizleri oluşturan çiftler şeklinde bulunmaktadır. Kristalleri bükülmüş olabilir. Renksiz, levhamsı, özşekilli veya tanesiz agregatlar şeklinde görülürler. Üç yönde dilinimi tipiktir. (100) ve (111) yüzeylerine paralel kötü gelişmiş dilinime sahiptir. (010) a paralel çok iyi bir dilinime sahiptir. Bu yönde kolayca parçalanmaktadır. Optik engebesi düşüktür. Özgül ağırlığı  $2,32 \text{ g/cm}^3$ ; Mohs sertliği ise 2'dir ve tırnakla bile çizilebilir (Altay, 2004).

Jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) bileşiminde, monoklinik sistemde beyaz ve saydam kristaller veren bir mineraldir. Seyreltilmiş HCl'de çözünür. İnce toz halinde olanlarına "albatr veya albaster", saydam ve mükemmel dilinimli olanlarına "selenit", lifsi ve cam parlaklığında olanlarına "satenspar" denir. Silt ve killerle karışmış ve kısmen pekişmiş jipse "jipsit" adı verilir. Selenit ve satenspar yaygın ve büyük yataklar vermelerine rağmen ekonomik öneme sahip değildir. Jipsit de kısmen işletilebilir özelliktedir (Kuzvart, 1984). Ticari anlamda jips masif ve ince kristalli, kompakt bir kayaçtır. Saf olduğu zaman beyazdır. Organik maddeler, kil ve demiroksit gibi kirleticilerle gri, mavimsi gri, pembe veya sarı renk alabilir. Ekonomik yatakları 1-100 m kalınlığında seviyeler halinde bulunur. Anhidrit, jipse göre daha az kıymetlidir ve jips yataklarında

istenmeyen bir bileşen olarak bulunur (Temur, 1998).Jips ve anhidrite ait bazı fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Jips ve anhidritin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Bozkurt,...)

	<b>Jips</b>	<b>Anhidrit</b>
Formül	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	CaSO <sub>4</sub>
%CaO	32.6	41.2
%SO <sub>3</sub>	46.5	58.8
%H <sub>2</sub> O	20.9	-
Renk	Beyaz-Gri	Beyaz-Gri
Sertlik	1.5-2.0	3.0-3.5
Özgül Ağırlık	2.38	2.93

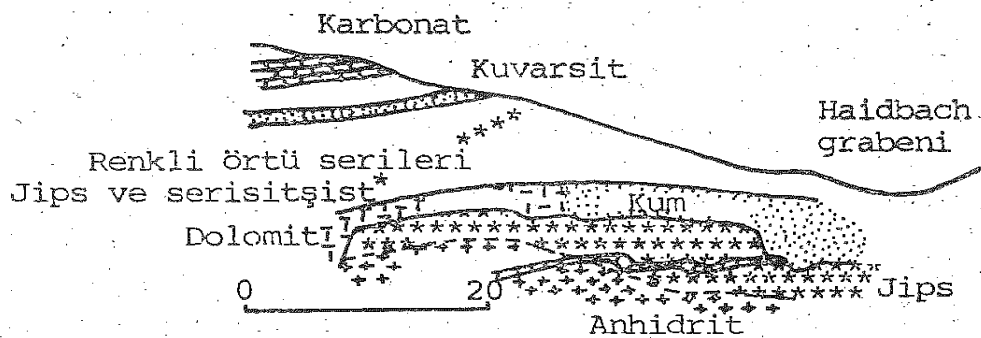
Alçı taşı dünyanın varoluşundan bu yana bulunan düşük yoğunlukta bir taştır. İşlendikten sonra çok çeşitli kullanımı olan taş, bugün dünyanın birçok ülkesinde ev ve işyerlerinin duvar ve tavan kaplama malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yanmazlığı ve dayanıklılığı ile tüm dünyada bina ve yangın sigortası otoriteleri tarafından kabul görmektedir. İnsan yaşamı için toksik olmayan alçı taşı, bitki ve hayvan yaşamını ise destekleyici nitelikte olduğundan iç mekân yapı malzemelerinin temel taşıdır (www.kimyaturk.net). Şekil 2.1’de jips cevherinden bir görünüş verilmiştir.



**Şekil 2.1.** Jips cevheri

## 2.1. Jips ve Anhidrit Yataklarının Oluşumu

Oluşum ortamlarında kalsit ve dolomit mineralizasyonu tarafından sarılmakta, buna karşılık da halit oluşumlarını çevrelemektedirler. Ancak tüm jips ve anhidrit oluşumları tuz yatakları ile ilgili değildir. Bunun nedeni ortamda ya tuz çökelişi gerçekleşmemiştir ya da tuz oluşumları daha sonraki devirlerde sular tarafından çözülerek taşınmışlardır (Şekil 2.2) (Kırıkoğlu, 1990). Jips ve Anhidrit yatakları genellikle denizlerden uzak, geniş evaporasyon ortamlarında oluşurlar. Aktüel olarak Hazar Denizi kıyılarında Jips çökelişi gerçekleşmektedir. Lagün ve az derin, kapalı denizel havzalarda da jips yatakları ortaya çıkmaktadır. Bu tip ortamlarda jips ve anhidrit çökelişi, suyun sıcaklık ve tuzluluğuna bağlıdır.  $\text{CaSO}_4$  bakımından doymuş olan sularda sıcaklık  $30^\circ\text{C}$  ve tuzluluk normal deniz suyundan 3.3 kat daha konsantre olduğu zaman jips çökelmeye başlar ve sıcaklığın  $42^\circ\text{C}$ , tuzluluğun normal deniz suyundan 4.3 kat daha konsantre olduğu zamana kadar devam eder. Bu noktanın üzerine çıkıldığında jips yerine anhidrit çöker. Anhidrit çökelmeye devam ederken NaCl oluşumu da başlar. Bundan dolayı pek çok jips ve anhidrit yatağında bir miktar kaya tuzu ve demiroksitler bulunmaktadır. Ayrıca, sülfatça zengin yeraltı suları veya formasyon sularının karbonatlı kayaları alterasyonu ile jips yatakları oluşmaktadır. Çöl iklimlerinde bu tip oluşumlara sıkça rastlanır. Birkaç on kilogram ağırlığına varan jips konkresyonlarının gelişmesiyle “çöl gülü” denilen jipsler ortaya çıkar. Tuz domlarının şapka kesimlerindeki jips oluşumları da diğer bir genetik tipi temsil eder (Temur, 1998).



Şekil 2.2. Epimetamorf triyas serileri içindeki jips yataklarının jeolojik kesiti.

Semmering, Avusturya (Kırıkoğlu, 1990)

## 2.2 Ülkemizde ve Dünyada Jips Rezervi

Türkiye jips-anhidrit oluşumları üst Kretase'den başlayarak Tersiyer'de yaygın şekilde, Kuvaterner boyunca da sınırlı alanlarda gelişen lagünel ve karasal ortamlarda çökelmişlerdir. Bu jeolojik tarihçe boyunca gelişen havzalar olarak Tuzgözü, Çankırı-Çorum-Yozgat, Sivas-Hafik-Zara, Güney Doğu Anadolu, Kars Kağızman Tuzluca, Soma-Tunçbilek, Gediz-Uşak, Honaz-Sarayköy-Denizli, Aşkale-Erzurum-Tortum-Oltu, Balıkesir-Susurluk ve Beypazarı havzaları sayılabilir. Tuzgözü Havzası; Konya-Tuzgözü, Şereflikoçhisar-Aksaray, Niğde-Ulukışla, Ankara-Bolu jips yataklarını kapsar ki, ayrıntılı araştırmalar yapılmamış olmasına rağmen M.T.A raporlarına dayanılarak toplam rezervin milyarlarca ton olduğu söylenebilir. Çankırı-Çorum-Yozgat havzasında milyarlarca ton ticari jips içeren Oligomiyosen yaşlı evaporitlerin varlığı bilinmektedir. Kayseri'nin Kuzeydoğusu'ndan başlayarak Sivas il hudutlarından geçip Erzincan'ın Güneybatısı'na kadar devam eden Sivas-Hafik-Zara havzasında milyarlarca ton jips ve anhidrit beklenmektedir. Güney Doğu Anadolu havzası Siirt-Baykan, Kurtalan, Batman (merkez), Beşiri ve Diyarbakır-Çınar, Bismil sahalarını kapsar. Kars-Kağızman-Tuzluca havzasında Aras vadisi boyunca Pliyosen yaşlı karasal formasyonlarda 15 m kalınlığa varan jips oluşumları vardır. Gediz çevresinde 29 milyon ton olası rezerv tespit edilmiştir. Denizli yöresinde 15 milyon ton, Balıkesir yöresinde 50 milyon ton olası rezerv beklenmektedir. Erzurum-Aşkale'de Neojen yaşlı 20 milyon ton jips rezervi vardır. Beypazarı havzası Nallıhan, Mihaliççık, Sivrihisar, Emirdağ, Polatlı ve Ayaş'ı içine alan geniş bir sahadır, yer yer anhidrit içeren jipsler Neojen çökelidir ve 1 milyar ton rezerve sahiptir. Türkiye jips ve anhidrit yatakları ile ilgili çalışmalar 1950-1960 yılları arasında yapılan jeolojik araştırmalarda yer alır. M.T.A tarafından 1970'li yıllarda azot fabrikaları ve çimento fabrikaları için jips arama çalışmaları yapılmıştır. Son senelerde inşaat sektörüne alçı ürünleri vermek için planlanan yatırımlar çerçevesinde değerlendirme çalışmaları yapılmaktadır. Milyarlarca tonluk jeolojik rezervlerin yanı sıra hesaplanmış muhtemel jips toplam rezervinin  $1,190 \times 10^6$  ton olarak gösterilmesinin bir anlamı yoktur. Çevre korumanın bilinçlenmesi çerçevesinde baca gazı sülfür giderme tesislerinde üretilen sentetik jipslerin kullanım olanakları üzerinde çalışmalar yapılmaktadır. Çayırhan Termik Santral ve Bandırma Asit Fabrikası sentetik jipsleri günün çalışma konuları içinde yer almaktadırlar. Çayırhan Termik Santral Sülfür Giderme Tesisleri (FGD) Türkiye'deki ilk olumlu tesistir (Yavuzdoğan ve ark., 1997).

Türkiye'de şimdiye kadar alçıtaşı oluşumlarının tamamı ele alınarak sistematik bir inceleme yapılmamıştır. Bunda alçıtaşının 1999 yılı sonuna kadar maden kanunu kapsamında olmaması en önemli faktördür. Ülkemizde bu konuda en büyük kuruluş olan M.T.A arşivlerinde birkaç küçük çalışma dışında hiç bir somut veri bulunmamaktadır. Sadece tahminlere dayalı olarak görünür rezervin 165 milyon Ton, görünür ve muhtemel rezervin ise 1.8 milyar ton olduğu VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Alçı Özel İhtisas Komisyon Raporunda belirtilmiştir. Sektörün coğrafi çalışma yapısına bakıldığında alçıtaşı yataklarının genelde İç Anadolu, Güney ve Doğu Anadolu'da yoğun olduğu; Türkiye'nin batısının ise alçıtaşı kaynağından yoksun olduğu söylenebilir. Ayrıca ülkemizde termik enerji santralleri, gübre fabrikalarının baca gazı desülfürizasyon ünitelerinden çıkan sentetik alçı da mevcut olup değerlendirilmemektedir (DPT, 2001). Alçıtaşı potansiyeline sahip sahalara Çizelge 2.2'de verildiği şekilde sınıflandırılmıştır.

**Çizelge 2.2.** Türkiye'nin alçıtaşı potansiyeli (DPT, 2001)

<b>Bölge</b>	<b>Zayıf</b>	<b>Orta</b>	<b>İyi</b>
1. Ankara-Polatlı-Sazılar Potansiyel			X
2. Bolu-Bakacak Potansiyel		X	
3. Karabük-Ovacık-Pürçükören Potansiyel			X
4. Çankırı Potansiyel			X
5. Çorum-Çukurköy Potansiyel			X
6. Çorum-Bayat-Emirhalil, Uçdam, Tuğlu Potansiyel			X
7. Amasya-Vezirköprü-Adatepe, Akören Potansiyel			X
8. Balıkesir-Susurluk Potansiyel		X	
9. Bursa-Gemlik-Adliye, Hamidiye Potansiyel	X		
10. Kütahya-Gediz-Akçaalan, Yayla, Gökler Potansiyel			X
11. Eskişehir-Sivrihisar-Biçer Potansiyel			X
12. Ankara-Ayaş-Beypazarı Potansiyel		X	
13. Ankara-Bala-Aşıkoğlu, Bahçe Karadalak Potansiyel			X
14. Kırıkkale-Keskin-Halitli Potansiyel		X	
15. Kırıkkale-Delice-Tavaözü Potansiyel			X
16. Kırıkkale-Delice-Akboğaz, Kuzucak Potansiyel			X
17. Sivas-Ulaş-Çiftağlılar Potansiyel			X
18. Erzurum-Aşkale Potansiyel			X
19. Afyon-Emirdağ-Gülçayır Potansiyel	X		
20. Ankara-Şereflikoçhisar-B.Kışla, Kurutlutepo Potansiyel			X
21. Ankara-Bala-Sarıpınar, Çiğdemli Potansiyel			X
22. Aydın-Yazıkent-Karaahmetler Potansiyel	X		
23. Denizli-Sarayköy-Yeşilyurt Potansiyel			X
24. Denizli-Buldan-Derbent, Alacaoğlu Potansiyel	X		
25. Denizli-Güney-Aksaz Potansiyel	X		
26. Denizli-Honaz-Kızılyer Potansiyel			X
27. Siirt-Kurtalan Potansiyel			X
28. Niğde-Ulukışla-Emirler, Darboğaz Potansiyel			X

29. Mersin-Tarsus-Dadalı, Karayayla, Tepeçaylak Potansiyel		X	
30. Adana-Solbaş Potansiyel		X	
31. Hatay-Arsuz Potansiyel			X
32. Sentetik Bacağazı Alçıları (Termik Santral) - Ankara-Çayırhan Termik Santrali - Bursa-Orhaneli Termik Santrali - Muğla-Yatağan Termik Santrali			
33. Fosfogıbs (Gübre Fabrikaları Ürünü Sentetik Alçı) - Bandırma-Bağfaş Gübre Fabrikası - İzmit-Fürsan Gübre Fabrikası - Adana-Yumurtalık Toros Gübre Fabrikası			

### 2.3 Jips ve Anhidritin Kullanım Alanları

Bir jips yatağının işletilebilmesi için tenörünün  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  cinsinden %90'ın üzerinde olması gerekir. %85'in üzerinde tenörlü cevherler pazar bulabilmektedir. Empuritelere (kirlenici bileşenler) ise kalsit, dolomit, kil mineralleri, kayaç parçaları ve diğer evaporitlerden meydana gelmektedir. Örtü tabakalarının az olduğu yerlerde açık işletme yapılır. Geniş basamaklı ocaklardan jips kazılarak çıkarılır. Jips tabakalarının eğimi fazla veya örtü tabakaları kalın ve sertse yeraltı işletmesi uygulanır. Ham jips kırma ve eleme işlemlerinden sonra satılabileceği gibi, döner fırınlarda ısıtılarak elde edilen kalsine jips öğütülerek pazarlanabilir. Jipsin kalsinasyonu sırasında amaca göre farklı sıcaklıklar uygulanır. Mesela, yavaş katılaştırılan sıva jipsi  $780-1000^\circ\text{C}$  sıcaklıkta, süratli katılaştırılan alçı jipsi ise  $180-300^\circ\text{C}$  sıcaklıkta kalsine edilmektedir. Üretilen jipsin %92'si inşaatlarda kullanılan alçı imalinde tüketilmektedir. Bu sektörde kalsine jipsten sıva ve duvar kaplamaları, duvar levha ve kâğıtları yapımında faydalanılır. Ayrıca kalsine jips seramik, kalıpcılık, diş hekimliği ve heykeltiricilikte de kullanılır. Jipsin diğer bir kullanma alanı portland çimento yapımıdır. Jips, çimentonun katılaşmasını geciktirdiğinden ton başına 30-40 kg öğütülmüş jips katılır. Toz haline getirilen jips ve anhidrit doğrudan toprağa atılarak bir çeşit gübre olarak da kullanılır. Üretilen jips ve anhidritin %3'ü kimya sanayinde elementer kükürt ve diğer sülfat bileşiklerinin eldesinde değerlendirilmektedir. Ayrıca boya sanayinde de önemli miktarlarda jips tüketilmektedir. Jipsin kullanıldığı alanlarda anhidritten de faydalanılmaktadır. Özellikle kimya sanayinde anhidrit tüketimi jipsten daha fazladır. Alçıdan yapılmış inşaat malzemelerinin aşağıdaki özellikleri, gelecekte bu ürünlerin çok değer kazanacağına ve jips üretiminin hızla artacağına işaret etmektedir.

Yangın geciktirme: Yangın halinde jipsten yapılmış malzemenin 500 °C sıcaklığa kadar ancak bünye suyunun buharlaşması gerçekleşir. Yani, yangın sırasında 8 cm kalınlıktaki alçı-karton plakanın bir yüzünde sıcaklık 800 °C'e çıksa bile bünye suyu tamamen buharlaşmaya kadar öbür yüzünün sıcaklığı 100 °C'ü aşmayacaktır.

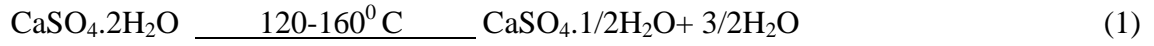
Rutubet dengeleme: Alçı malzemeleri bünye sularını dış ortamla dengede tutarlar. Dış ortamın kuru olması durumunda su vererek, fazla nemli olması durumunda su alarak rutubeti dengede tutarlar.

Ses yalıtımı: Alçı malzemelerindeki küçük boşluklar ses dalgalarının tutulmasını ve yansımalarını sağladığından hem yalıtım hem de akustik özellik kazandırmaktadır.

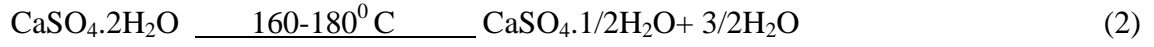
Isı yalıtımı: Alçı malzemeler mikro gözenekleri sayesinde ısı yalıtımı çok yüksek malzemeler grubuna girmektedir. Türkiye'de henüz tanınmayan alçı harçlar, alçı bloklar, alçı plakalar, alçı asma tavanlar, akustik plakalar gibi inşaat malzemeleri Batı ülkelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Temur, 1998). Jipsin çok çeşitli tüketim alanlarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

- Jips, alçı üretiminin başlıca ham maddesidir.
- Ham jips, beyaz boyaya ve dolgu maddesi olarak kağıt ve pamuklu kumaşa katılır.
- Ham jips çimento üretiminde prizlenme geciktirici olarak kullanılır.
- Nikel üretiminde ergitmeyi kolaylaştırıcı malzeme olarak kullanılır.
- Bira sanayinde mayalandırma için kullanılır.
- Susuz jips, Merseburg prosesinde amonyum sülfat, kükürt ve sülfirik asit üretmek için kullanılır (Şener, 2012).

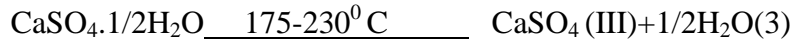
Jipsin en fazla kullanıldığı alçı üretimi ise kısaca şu şekildedir. Jips ısı etkisi ile kristal suyunu kolayca kaybederek alçıya dönüşür. Alçı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) kimyasal bileşimli bir hemihidrat'tır. Jipse dehidratasyon işlemleri uygulanarak değişik özelliklere sahip alçı çeşitleri elde edilir. Alçılar suya karşı hassas oldukları için su ile karıştırıldığında bağlayıcı özellik kazanırlar (Topkaya ve ark., 1980). Dehidratasyon veya kalsinasyon işleminde ısıtma sıcaklıkları ve koşullarına göre betahemihidrat, alfahemihidrat, anhidrit III, anhidrit II ve anhidrit I gibi ürünler elde edilir.



*Atmosfer Basıncında Beta alçı (Beta hemihidrat)*



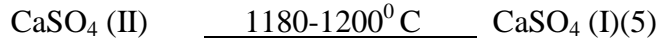
*Yüksek su buharı basıncı altında Alfa alçı (Alfa hemihidrat)*



*Hekzagonal Anhidrit (Anhidrit III)*

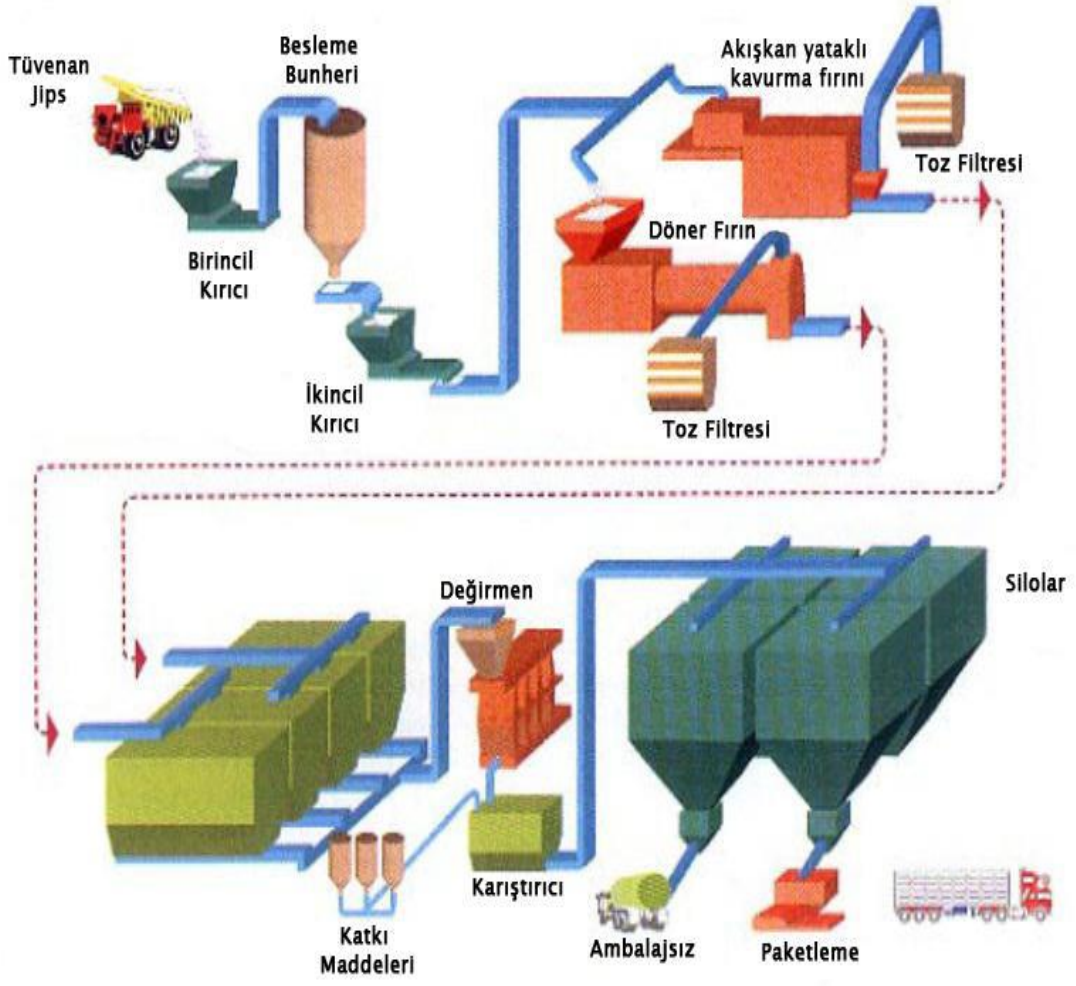


*Rombusal Anhidrit (Anhidrit II)*



*Anhidrit I*

Tabiatta bulunan alçı taşı minerallerinden alçı üretiminde kullanılmaya en uygun olanı jipstir. Jips ısı etkisiyle kristal suyunu kolayca kaybederek alçıya dönüşebildiğinden alçı imalinde ekonomik ve elverişlidir. Alçı taşından alçı eldesi ince öğütülmüş mineralin 120-160°C’de ısıtılmasıyla olur. Bu da esas itibariyle döner fırın veya dikey fırın olmak üzere iki ana teknoloji ile gerçekleştirilmektedir (DPT, 2001). Söz konusu fırınlardan, döner fırının kullanıldığı proseslere ait akım şeması Şekil 2.3’de verilmiştir.



Şekil 2.3. Alçı üretimi akım şeması (Şener, 2012)

## BÖLÜM III

### JİPS CEVHERİNİN UFALANMASI

Genel olarak madencilikte cevherin ocakta patlatılmasından değirmen içinde toz haline gelinceye kadar geçirdiği işlemlere ufalama denilmektedir. Cevher hazırlamada ufalama işlemi için uygulanan işlemler için kırma veya öğütme deyimleri kullanılmaktadır. Bunların arasındaki fark, kırmada elde edilen ürünün öğütmeye nazaran daha iri olmasıdır. Ufalama aletleri yapı özelliklerine veya ufalamayı doğuran hareketin cinsine göre sınıflandırılabilir (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).Ufalama işlemlerinde çok çeşitli şekil, yapı ve boyutlarda araçlar kullanılmaktadır. Mekanik olarak üretilen güç, aletin yapısına bağlı olarak bir basınç, darbe veya kesme kuvvetine dönüşmekte ve bu kuvvetlere maruz bırakılan parçalar ufalanmaktadır (Deniz, 2003). Jipsin mikronize boyutlara öğütülmesi prosesinde primer ve sekonder kırma işleminden sonra öğütülmesi gerekmektedir. Bu nedenle aşağıda jipsin ufalanması işleminde kullanılacak kırıcılar ve değirmenler hakkında bilgi verilmiştir.

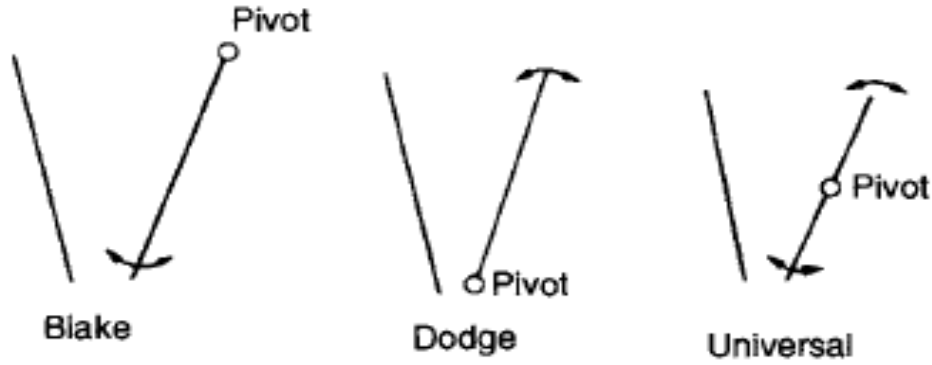
#### 3.1 Kırma

Tane boyutları yaklaşık olarak 1 cm ve üzerindeki cevherlerin elle veya mekanik araçlarla gerçekleştirilen boyut küçültme işlemine kırma denilmektedir. İnsan gücünün ucuz ve kırılacak malzemenin az olduğu durumlarda balyoz, varyoz, tokmak, çekiç ve havan gibi araçlar kullanılarak yapılan kırmaya elle kırma adı verilirken, cevherin yapısına, üretim miktarına, uygulanacak zenginleştirme yöntemine ve diğer bazı parametrelere göre çeneli, çekiçli, konik ve merdaneli kırıcılar gibi cihazlar kullanılarak yapılan kırmaya mekanik araçlarla kırma denmektedir. Maden ocağından gelen iri boyutlu cevheri taşıma ve besleme açısından uygun boyuta indirmek için, çoğunlukla 150 cm ile 10-20 cm arasında uygulanan kırma işlemine birincil (primer) kırma denir. Çeneli ve döner kırıcılar bu tip kırma için kullanılır. Cevherin öğütme cihazına beslenebilmesi için uygun boyuta getirilmesine ise ikincil veya üçüncül (sekonder veya tersiyer) kırma adı verilir ve bu amaç için genellikle konik, merdaneli ve çekiçli kırıcılar tercih edilir. İkincil kırma işlemi yaklaşık 15 cm tane boyutundan 0.5-2 cm'ye kadar uygulanabilmektedir. Kırma işlemi yapılmadan önce cevherin bir ızgara veya elekten geçirilerek kırıcıya beslenmesi veya kırıcıdan elde edilen ürünün yeniden elenerek elek üstünün kırıcıya yeniden beslenmesi gibi açık ve kapalı devre kırma tertipleri

mevcuttur. Hiç kuşkusuz ki, kırma işleminin başarısının kontrolü ancak bir eleme işlemi ile yapılabilir ve kırıcının performansı bu şekilde ölçülebilir (Özkan, 2013).

### 3.1.1 Çeneli kırıcılar

Kırma, cihazın çene adı verilen iki plakası arasında olur. Çenelerden biri genellikle gövdeye sabit şekilde bağlı, diğeri hareketlidir. Çeneli kırıcı fasıllı olarak kırma yapar. Çenelerden biri genellikle gövdeye sabit şekilde bağlı diğeri hareketlidir. Çeneli kırıcılar fasıllı olarak kırma yapar ve çalışma süresinin yaklaşık %75'ni kırma yapacak şekilde dizayn edilmişlerdir. Bunlar hareketli çenenin mafsallanma (pivoting) şekline göre sınıflandırılırlar (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).Şekil 3.1'de çeneli kırıcı mafsallanma şekilleri verilmiştir.



Şekil 3.1.Çeneli kırıcı mafsallanma şekilleri (Wills ve Napier-Munn, 2006)

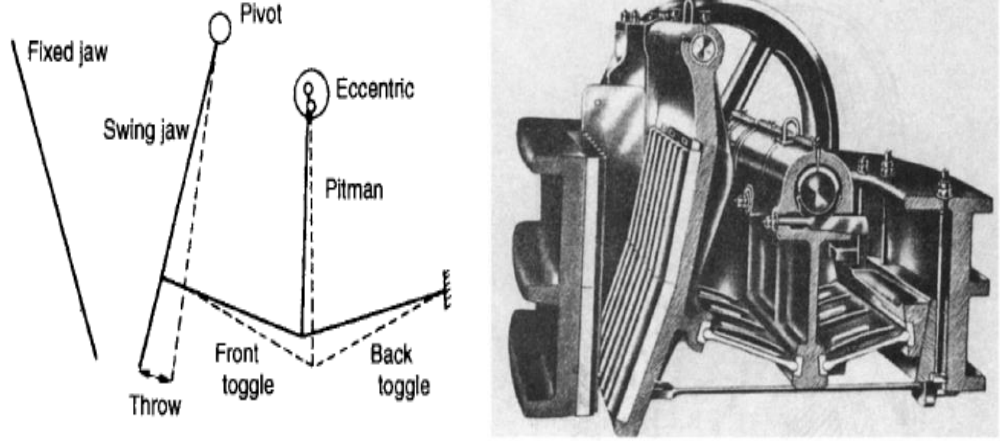
*Blake Tipi:* Hareketli çene yukarıdan mafsallı, ağız açıklığı sabit, çıkış açıklığı değişken, en küçük parçaya en büyük hareketi yapar.

*Dodge Tipi:* Hareketli çene aşağıdan mafsallı, ağız açıklığı değişken, çıkış açıklığı sabittir. En büyük parçaya en büyük hareketi yapar. Tıkanma olduğu için fazla uygulaması yoktur.

*Universal Tipi:* Boğazdan mafsallı, ağız ve boğaz açıklıkları değişken, bütün parçaları aynı hareketi yapar. Fazla kullanılmamaktadır.

Bunlardan Blake Tipi en fazla kullanılanı olup iki çeşidi vardır.

*Çift İstinat Kollu Blake Tipi Çeneli Kırıcılar:* Kırmayı doğuran bu salgı yukarıda daha küçük aşağıda daha büyüktür. Bu kırıcı en küçük parçaya en büyük hareketi yapar. Tutulan parça kırılıp biraz aşağı düşer ve çene tarafından tekrar tutulur. Salgı genliği aşağıya doğru arttığı için tıkanma bir ölçüde azalır (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994). Genel görünüşleri Şekil 3.2’de verilmiştir.



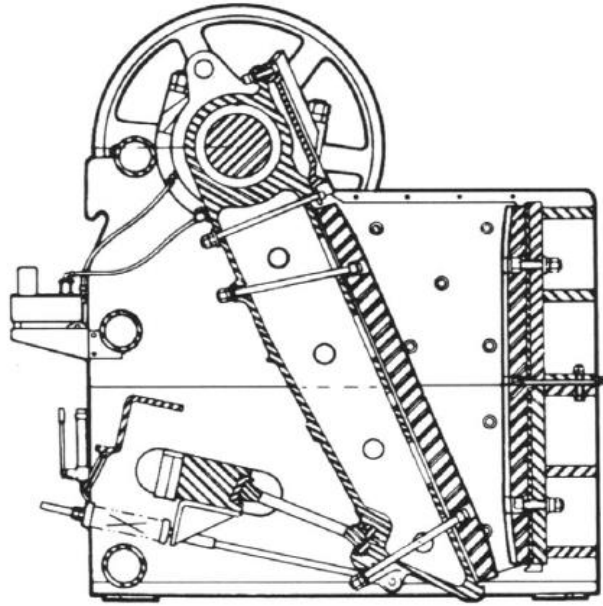
**Şekil 3.2.** Çift istinat kollu Blake tipi çeneli kırıcı (Wills ve Napier-Munn, 2006)

*Tek İstinat Kollu Blake Tipi Çeneli Kırıcılar:* En önemli yapı değişikliği oynar çenededir. Oynar çene üst ucundaki kovan eksantrik mil üzerine geçmektedir. Böylece çift istinat kollu kırıcıya göre daha hafif ve daha kompakt bir yapıya sahiptir. Bu yapı farklılığı nedeni ile oynar çene hareketi de farklıdır. Bu kırıcıda oynar çene boyunca yukarıdan aşağı doğru değişen genellikle eliptik bir salgı hareketi söz konusudur. Bu nedenle parçaları boğaza doğru sürükleyen bir hal mevcuttur. Boğazda ileri-geri hareketin küçülmesi, kırılan üründe çıkıştan daha iri parça oranının azalmasına neden olur. Tek istinat kollu çeneli kırıcı bu yapısal özellikleri nedeniyle aynı ağız açıklığındaki çift istinat kollu kırıcıdan daha büyük kapasiteye sahiptir ve tıkanıklı beslemeye daha uygundur. Ana eksantrik yapıya binen aşırı yükler ve aşınmalar nedeniyle çok büyük boyutlarda imal edilmeleri mekanik sakıncalar doğurmakta olup bakım masrafları fazlalaşır. Yapım maliyeti daha ucuz olduğu için bazı küçük tesislerde primer kırıcı olarak kullanılırlar. Daha ziyade bir ara kademe kırıcısıdır (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).Şekil 3.3’de Tek istinat kollu Blake tipi çeneli kırıcının genel görünümü verilmiştir.

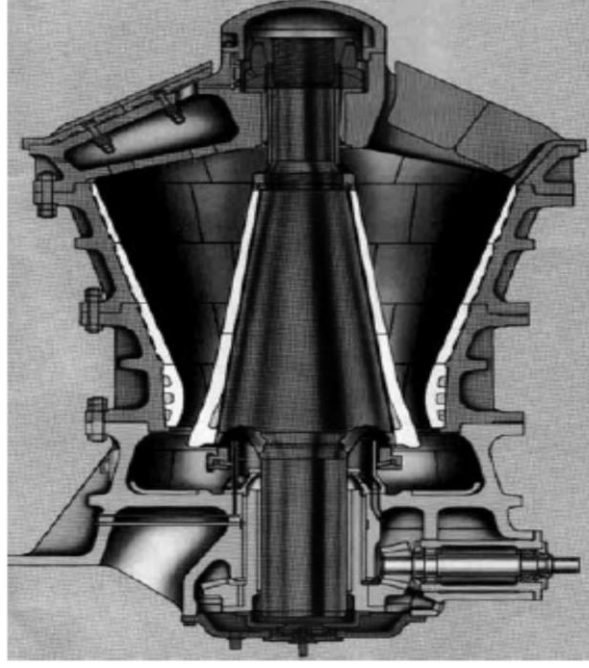
### 3.1.2 Jiroskopik döner (gyratory) kırıcılar

Bu kırıcılar daha fazla kapasite temin etmek için çeneli kırıcılardan sonra icat edilmişlerdir. Birkaç özel durum dışında genellikle yer üstünde çalıştırılırlar. Basit olarak üç ana unsurdan oluşur (Şekil 3.4);

- 1) Ana Mil (Spindle): Köprü ortasında asılı, alt kısmı hızlı ve serbestçe dönen sabit kırma zonu içinde eksantriğin jiroskopik hareketi nedeniyle konik bir alanı tarar.
- 2) Göbek veya Kırıcı Kafa (Crushing head): Sert dövme çelikten yapılmıştır. Mangan çeliğinden yapılmış bir manto ile kaplıdır. Çan şeklindedir. Ana mil ile birlikte döner.
- 3) Gövde veya Kabuk (Shell): Alt ve üst gövde olarak iki kısımdır. Üst gövdede iç yüzey konkavlarla kaplıdır. Tersine dönmüş bir koni şeklindedir. Gövdenin alt kısmı ise muhafaza ve taşıyıcı konumundadır (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).



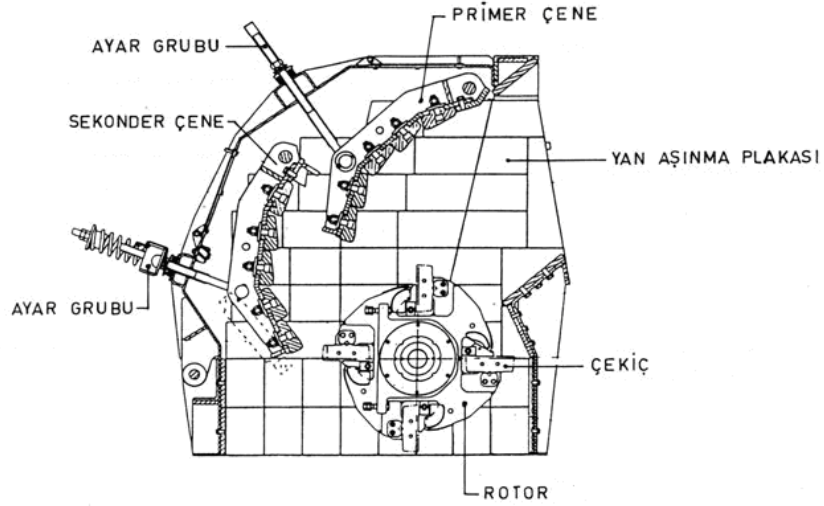
Şekil 3.3. Tek istinat kollu blake tipi çeneli kırıcı (Wills ve Napier-Munn, 2006)



**Şekil 3.4.** Jiroskopik döner kırıcı (Yıldız, 2007)

### **3.1.3 Primer darbeleri kırıcılar**

Primer darbeleri kırıcılar, malzeme kapasitesi yüksek kırıcılardır (Şekil 3.5). Orta ve düşük sertlikteki malzemeleri çift kırma esasına dayanan sistemle kırmaktadır. Bu nedenle uygulamada primer ve sekonder kademelerin her ikisinde de kullanılabilirlikle birlikte, primer kademede çeneli kırıcılara kıyasla daha yüksek oranda ince malzeme çıkışı sağlayabilmektedir. Böylece sekonder kırıcının yükünü hafifletebilmekte, bazı uygulamalarda ise sekonder kırıcı ihtiyacına gerek kalmaksızın istenen tane iriliğinde malzeme çıkışını sağlayabilmektedir. Rotor çelik döküm ve çelik konstrüksiyondan mamul olup, paletler ise yüksek manganlı çelikten üretilmiştir. Kırıcı gövdesi iki parça halinde olup, hidrolik sistemle açılabilir. Bu sayede, aşınan parçalara rahatlıkla ulaşılabilir. Palet aşınma plakalarının değişimi kolayca yapılabilir. Primer darbeleri kırıcılar yüksek performansları, kolay tamir ve bakım özelliklerinin yanında düşük işletme maliyeti avantajı sunmaktadır (MEB, 2012).

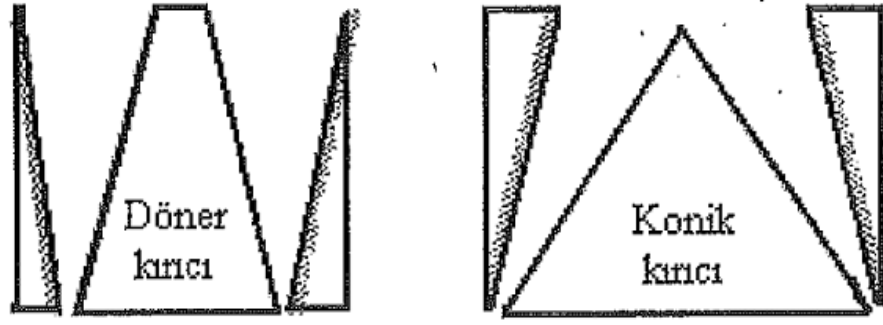


Şekil 3.5. Darbeli kırıcı (Yıldız, 2007)

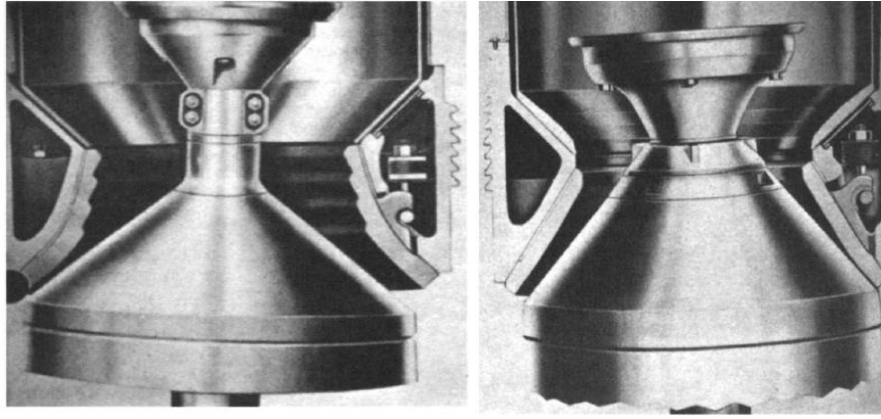
### 3.2 Sekonder Kırıcılar

#### 3.2.1 Konik kırıcılar

Yüksek hız ve kapasite sağlayan düz kırma bölgesi, küçültme oranı ile döner kırıcılardan ayrılır. Bu kırıcılar ikinci, üçüncü ve gerektiğinde dördüncü kademe kırma işlemlerinde kullanılırlar (Şekil 3.6). Döner ve konik kırıcıların çalışma prensipleri birbirine benzemektedir. İki kırıcı arasındaki belirgin farklılık döner kırıcılarda içteki hareketli koni daha uzun ve daha diktir. Döner kırıcılardaki dış koni alttan üste doğru genişlemektedir. Konik kırıcılarda içteki koni kısadır ve dış koni ortadaki koninin üzerine aynı yönde daralmaktadır. Şekil 3.7’de iki kırıcının kesiti verilmiştir. Konik kırıcılar “standart” ve “kısa kafalı” konik kırıcılar olarak ikiye ayrılırlar. Kırıcılardan yüksek verim ve kapasite sağlayabilmek için kırıcı ağzının dolu olarak çalıştırılması gereklidir. Bunun için de besleme düzenli ve kırma bölgesine düzgün yayılacak şekilde yapılmalıdır. Şekil 3.8’de görüldüğü gibi malzeme, üzerine 5-6 kez baskısı sonucu kırıcıyı terk etmektedir. En uygun şartlar altında bu kırıcılardan ancak %80 verim alınabilmektedir. Kırıcı koninin hareketi kırıcı büyüklüğüne bağlı olarak yaklaşık 250-500 devir/dakika kadardır. Konik kırıcıların büyüklüğü hareketli kırıcı koninin geniş tarafının çapı ile ifade edilir (Yıldız, 2007).



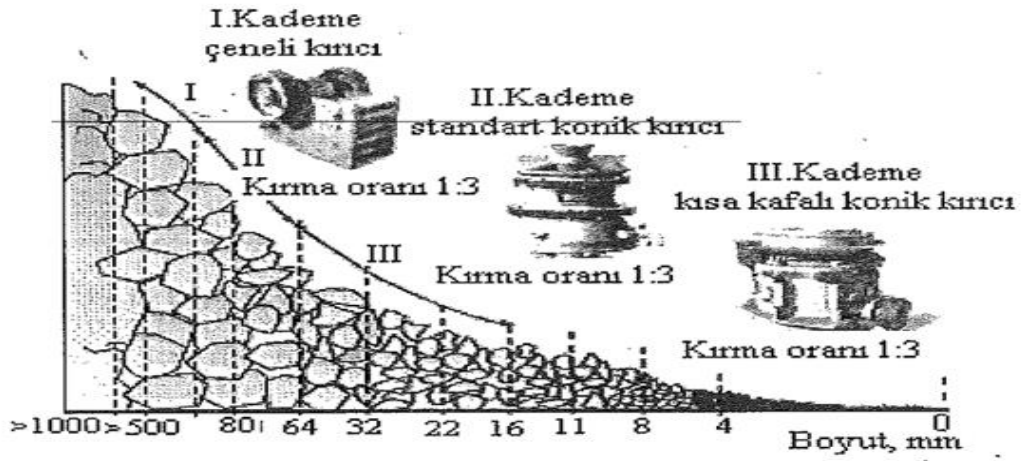
Şekil 3.6. Döner ve konik kırıcı kesitleri (Yıldız, 2007)



(a)

(b)

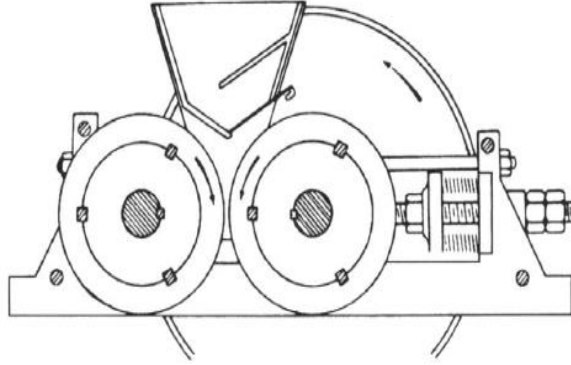
Şekil 3.7. Standart ve kısa kafalı döner kırıcılar (Wills ve Napier-Munn, 2006)



Şekil 3.8. Konik kırıcı kırma aralıkları (Yıldız, 2007)

### 3.2.2 Merdaneli kırıcılar

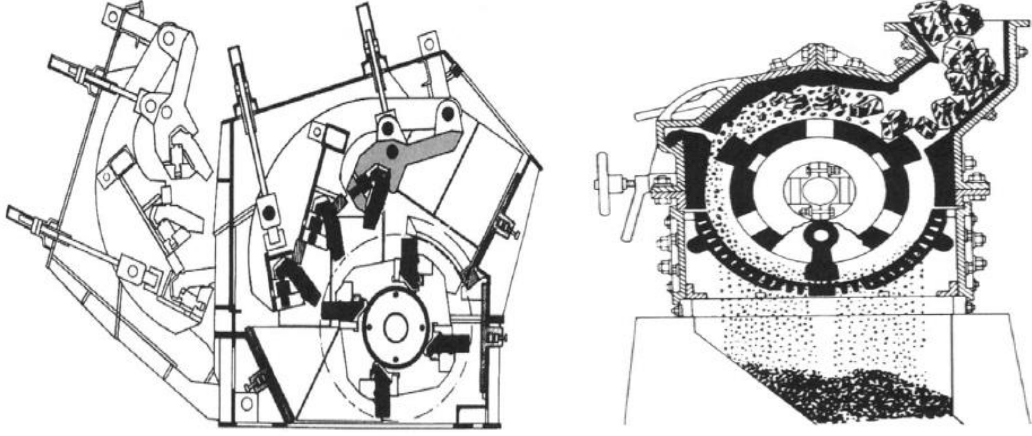
Yatay ve paralel eksenler etrafında zıt yönlü dönen iki silindirden ibarettir (Şekil 3.9). Merdaneli kırıcılar diğer kırıcılara nazaran daha az ince malzeme içeren ürün verirler ve ufalama oranları daha düşüktür (2-4) (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).



Şekil 3.9. Merdaneli kırıcı (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994)

### 3.2.3 Darbeli kırıcılar

Hem primer hem sekonder kırma kademesinde kullanılan bu kırıcılarda kırma işlemi basınçtan ziyade darbe zorlaması ile gerçekleşir. Serbestçe düşen cevher parçalarına döner çekiçler vasıtasıyla uygulanan darbe kuvveti cevher içindeki gerilmelere ve kısa sürede parçalanmaya neden olmakta ve bu kuvvetler parçaların kırıcı plakalara çarptırılması ile daha da artmaktadır. Basınçla kırılan parçalardaki iç gerilmeler daha sonra çatlamalara neden olur, darbe ise ani kırılmaya neden olduğundan parça içinde gerilme bırakmaz. Bu gerilmesiz tane hali özellikle bina, yol yapımı gibi işlemlerde önemli olmaktadır. Bu özelliklerinden dolayı darbeli kırıcılar metal madenciliğinden çok taş ocaklarında kullanılırlar. Diğer avantajı ise kübik şekilli taneler vermesidir (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994). Darbeli ve çekiçli kırıcıya ait bir kesit Şekil 3.10'da verilmiştir.



**Şekil 3.10.** Darbeli ve çekiçli kırıcı (Wills ve Napier-Munn, 2006)

### 3.3 Öğütme ve Öğütücüler

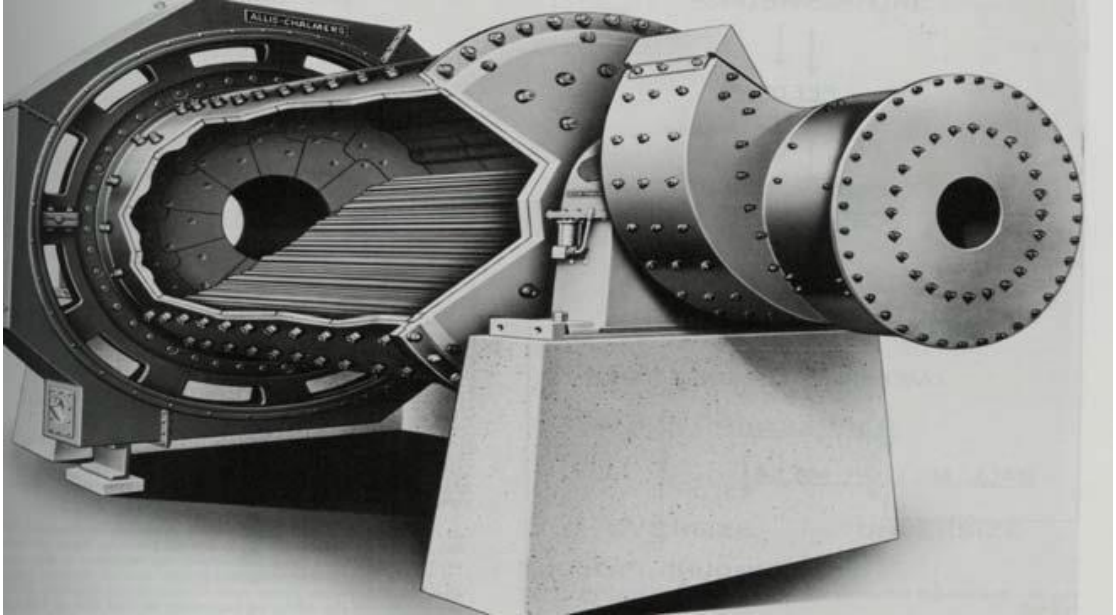
Boyut küçültme işlemlerinin son aşamasıdır. Partiküller, darbe (impact), aşındırma (abrasion) ve kopma (chipping) nın müşterek etkisiyle yaş ve kuru olarak ufalanır. Bu işlem aktarılan ortam değirmenleri (tumbling mills) denen, dönen silindirik çelik gövdeli haznelerde gerçekleştirilmektedir. Aktarılan ortam, gövdenin dönmesiyle karışır, dökülür ve sürtünme veya çarpma ile içine konan malzemeyi öğütür. Öğütücü ortam bilya, çubuk, çakıl, öğütülecek cevherin iri parçaları veya başka bir cevher olabilir. Öğütme işleminde partiküller genel olarak 2,5 cm. den 10 mikron'a kadar ufalanır. Aktarılan ortamla çalışan değirmenler sadece aktarılan ortam veya yapı özelliklerinden olan gövde ve taşma şekillerine göre adlandırılır. Değirmeni tanıtmak için en uygun yöntem, her üç özelliği birden belirtmektir. Örneğin, silindir gövdeli, ızgaralı taşmalı, bilyeli değirmen gibi. Bütün cevherlerin, çeşitli faktörlere bağlı, ekonomik bir optimum öğütülme derecesi vardır. Bu faktörler arasında en önemlileri olarak kıymetli mineral veya minerallerin serbestleşme tane iriliği ve daha sonraki zenginleştirme işlemleri için uygun boyutlar sayılabilir. Bu optimum öğütme derecesinin sağlanması ve kontrolü, iyi bir cevher hazırlamanın anahtarını oluşturmaktadır. Az öğütme, ekonomik ayırmanın yapılamamasına, konsantrasyon kademesinde randıman ve tenörün düşmesine, aşırı öğütme ise kıymetli mineralin verimli ayırma boyutlarından fazla öğütülmesine, gang minerallerinin şlam meydana getirerek ayırmayı engellemesine ve lüzumsuz enerji kaybına neden olur. Kırma ve

özellikle öğütme, cevher hazırlama tesislerinin en fazla enerji harcanan kısmıdır. A.B.D. cevher hazırlama tesislerinde sarf edilen yaklaşık  $10^{10}$  kwh enerjinin % 50' sinin ufalama işlemlerinde harcandığı tahmin edilmektedir. Öğütmenin doğru olarak yapılmasının enerji yönünden önemi açıktır. Aktarılan ortamla çalışan değirmenler mekanik verim ve güvenilirlik açısından avantajlı aletler olmasına rağmen enerji sarfiyatı yönünden müsriftirler. Çünkü cevher çoğunlukla gelişigüzel birbiri ardından darbelerle parçalanmakta ve bu darbeler serbestleşmiş parçaları da serbestleşmemiş parçalar gibi tekrar ufalamaktadır. Günümüzde halen bu darbelerin daha selektif hale getirilmesi söz konusu değildir. Değirmen içinde öğütme, aktarılan ortamın boyutu, miktarı, hareket çeşidi ve aralarındaki boşluk gibi faktörlere bağlıdır ve kırmanın aksine öğütme olasılık kanunlarına bağlı bir işlemdir. Çeşitli mekanizmalarla gerçekleşir. Genellikle yaş, bazı hallerde kuru yapılıdır. Değirmen döndürülünce aktarılan ortam, su ve cevher karışımı, hıza bağlı olarak darbe, aşındırma ve kopma mekanizmalarının ortak etkisiyle hareket ederek cevheri öğütür. Aktarılan ortamın kinetik enerjisinin çoğu ısı, ses ve diğer şekillerde harcanır, ancak küçük bir bölümü ufalama için sarf edilir. Laboratuvar değirmenleri haricinde, öğütme sürekli bir işlemdir, malzeme bir uçtan kontrollü bir şekilde beslenir, belli bir süre değirmen içinde kaldıktan sonra diğer uçtan taşarak değirmeni terk eder. Çıkan ürün ebadının kontrolü, kullanılan ortamın çeşidi, değirmen dönme hızı, beslenen cevherin karakteri ve değirmen devre tertibi ile yapılıdır (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994). Endüstride kullanılan değirmenlere ait özellikler topluca Çizelge 3.1'de verilmiştir.

### 3.3.1 Çubuklu değirmenler

Bu tür değirmenler, ince kırma aygıtları olarak ele alınabilecekleri gibi kaba öğütme araçları olarak da değerlendirilebilirler. Çubuklu değirmenlerin en belirgin özelliği, uzunluklarının çaplarının 1,5 ile 2,5 katı olmasıdır (Şekil 3.11). Uzunluk/çap oranının 2,5'dan fazla olmaması gerekir. Aksi durumda değirmen iç çapından 10 ile 15 cm daha kısa olan çubukların çok uzun olmaları gerekmektedir. Çok uzun çubuklar, eğilme ve bükülme eğilimindedirler. Bu özellik değirmen uzunluğunu belirleyen bir unsurdur. Çubuklu değirmenlere beslenen cevherin tane boyutunun, değirmende birikimlerin önlenmesi için 2,5 mm' den daha ince olması istenir. Beslenen cevherin nem oranının ya % 0 ya da %50'den daha yüksek olması ideal bir durumdur. Bununla beraber, çubuklu değirmen öğütmesi, genellikle yaş olarak yapılıdır. Kuru malzeme, düşük bir

akıcılığa sahiptir ve çubukların bükülmesine ve kırılmasına yol açan çubuk şişmesine neden olur. Kok kömürü ve çimento klinkeri gibi özel durumlarda kuru öğütme kullanılmaktadır. Çubuklu değirmenlerin iç yüzeyleri, aşınmaya dayanıklı astarlarla kaplanır. Astar malzemesi, Ni-Cr-Fe alaşımı, yüksek karbonlu çelik, manganez çeliği, lastik ve seramik olabilir. Çubuklar astarlarla çizgisel temasta bulunacağından, astarlara gelen yük, düzenli olarak dağılır. Bu nedenle çubuklu değirmenlerdeki astar tasarımının çok sağlam olması gerekmez. Şekil 3.11’ de çubuklu değirmen kesiti gösterilmiştir (Çayırılı, 2008).



Şekil 3.11. Çubuklu değirmen (Yıldız, 2007)

**Çizelge 3.1.** Değirmenlerin genel özellikleri (www.cevherhazirlama.com)

	Çubuklu Değirmenler	Bilyalı Değirmenler	Çakıllı Değirmenler	Otojen/Yarı Otojen Değirmenler
Kullanıldığı Yerler	Tüm Cevherlerde İri Öğütme	Sert, Orta, Yumuşak tüm Cevherlerde Çimento Klinkerinde İnce Öğütme	Cam Seramik Kimya(Metal Kirlenmesi İstenmeyen Yerlerde)	İri Parçaların İnce Parçaları Ufalayabildiği veya İri Parçaların Çarpma (Darbe) Etkisiyle Ufalayabildiği Cevherlerde
Öğütücü Ortam Cinsi	Çubuk	Bilyalar	Porselen veya Çakmak taşı Bilya	Cevherin Kendisi veya /+bilya
Astar	Çelik-Lastik	Çelik-Lastik	Seramik veya sileks, lastik	Çelik-Lastik
Öğütme Şekli	Boşalma Şekline Göre;Sulu-Kuru	Sulu-Kuru	Kuru-Sulu	Sulu-Kuru(Killi Cevherler)
Öğütme Boyutu	50 mm-300µm	30 mm-10µm	30 mm-10µm	300mm-20µm
Değirmen Çap/Uzunluk Oranı	1:1,5-1:2,5	1:1-2:1	1:1-2:1	4:1-2:1 Sulu 3:1-2:1
Öğütücü Ortam (Doluluk) Oranı	%35-40	%40-45	%40-50	%35-50 yarı otojen=%26-28 (pülp+bilyalar)
Boyut Küçültme Oranı	15/1-20/1	50/1-100/1	50/1-100/1	1000/1-2500/1
Kritik Hız	% 50-65	%60-75	%75-85	Sulu:%65-78 Kuru:%85
Öğütücü Ortam Çapı	25-150 mm	İri Öğütme=2-10 cm İnce Öğütme=2-5 cm	25-2,5 cm	-
Katı Oranı	%60-75	%65-80	-	-
Boşaltma Şekli	Serbest Taşma(Yaş Öğütme)			

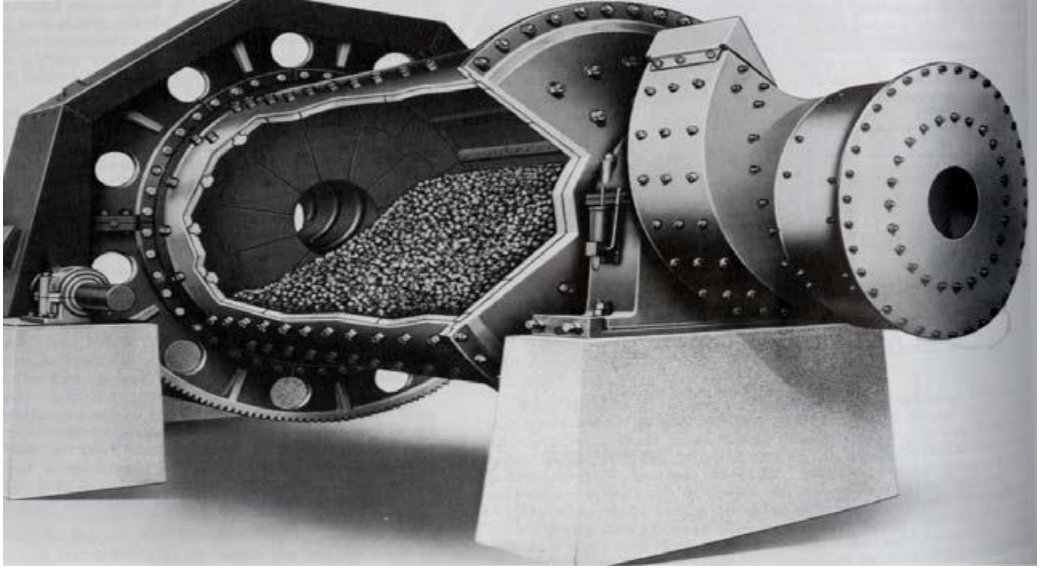
### 3.3.2 Bilyeli değirmenler

Değirmenlerde öğütücü ortam, küresel, silindirik veya konik şekilli, çelik döküm malzemedendir yapılır. Büyük çaplı bilyalar iri, küçük çaplı bilyalar ise ince öğütmede kullanılırlar. Değirmenler hacimlerinin %40-45 oranında öğütücü ortam ile doldurulurlar. Değirmen %40'dan daha fazla öğütücü ile doldurulacaksa değirmenin besleme girişi geriye taşmayı, çıkış ağzı ise bilyaların dışarı çıkmasını önleyecek şekilde seçilmelidir (Yıldız, 2007). Bilyeli değirmenler, ufalama sürecinin en son aşamasında kullanılan öğütme aygıtlarıdır. Birim ağırlık için bilya yüzey alanı çubuklardan daha fazla olduğu için bilyeli değirmen ince öğütme için daha uygundur. Bunların uzunluk/çap oranı 1-1,5 ile sınırlıdır. Bilyeli değirmenlerde öğütme işlemi, yaş veya kuru olarak yapılabilir. Kuru öğütmede, cevherin nem içeriğinin %1'den az olması istenir. Aksi durumlarda, nemli cevher hem bilyalara hem de astarlara sıvanır. İnce öğütme işlemi için en uygun besleme boyutunun 1 mm olduğu bulunmuştur. Bazen çok daha iri beslemede yapabilir. 3 cm çaplı bilyalar içeren bir değirmende beslenen cevher tane boyutu yaklaşık olarak 1mm'dir. Bilyalar, dökme çelik, dökme demir veya dövme çelikten üretilirler. Genel olarak, bilyalar küresel şekillidir. Bununla beraber, silindirik, konik ve diğer düzensiz şekilli olanlar da kullanılmaktadır. Bilyalar, normal olarak, değirmen hacminin %40 ile %50'si kadar bir yer kaplar. Bununla beraber ve biraz daha fazla olduğu durumlarda vardır. Değirmene verilmesi gereken enerji şarj miktarı ile artar. %50 şarj miktarında enerji maksimum olur. Optimum değirmen hızı da şarj hacmi ile artar. Bilyeli değirmenlerin öğütme verimini etkileyen birkaç faktör vardır. Beslenen cevherin pülp yoğunluğu mümkün olduğu kadar yüksek olmalıdır. Çok sulu pülp, bilyaların birbiriyle temasının artmasına ve dolayısıyla ortam aşınmasına ve verimin düşmesine neden olur. Cevhere bağlı olarak, ağırlık olarak %65-80 katı pülp yoğunluğu idealdir. İnce öğütmede daha düşük pülp yoğunlukları istenir. Pülpün viskozitesi ince tane miktarı arttıkça artar. Bilyeli değirmenler genellikle çubuklu değirmenlerden daha yüksek hızlarda çalıştırılır. Bilyaların katarakt etkisi ve dolayısı ile parça üzerinde darbe artırılır. Santrifüj etkisi olmadan mümkün olan en yüksek hızlar kullanılır. Bu hız kritik hızın %70-80'i kadardır (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994). Çubuklu değirmen astarlarının aksine, bilya ile astar arasında noktasal değme söz konusu olduğundan, bilyeli değirmen astarlarının daha sağlam olmaları istenir. Şekil 3.12' de

bilyeli değirmen kesiti gösterilmiştir. Çizelge 3.2’de bilyeli değirmenlerde L/D oranı ile ilgili bazı özet bilgiler verilmiştir.

Bilyeli değirmenlerde malzemenin boşalması üç değişik şekilde yapılabilmektedir. Şekil 3.13’de değişik boşaltma sistemleri gösterilmiştir.

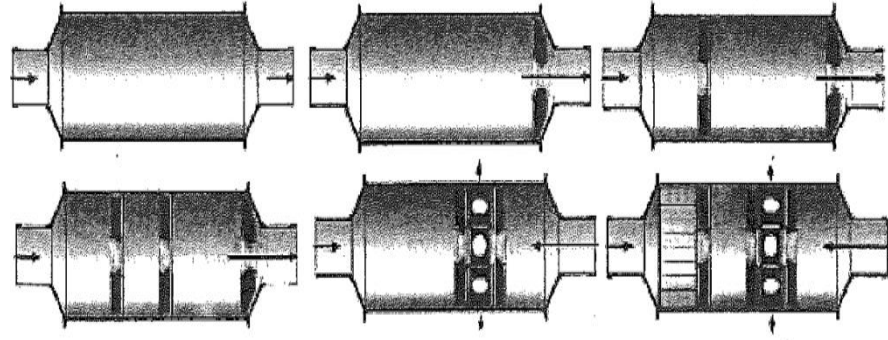
- Taşmalı boşaltma
- Izgaralı boşaltma
- Kapalı sistem.



Şekil 3.12. Bilyeli değirmen (Yıldız, 2007)

Çizelge 3.2. Bilyeli değirmenlerde L/D oranı (Yıldız,2007)

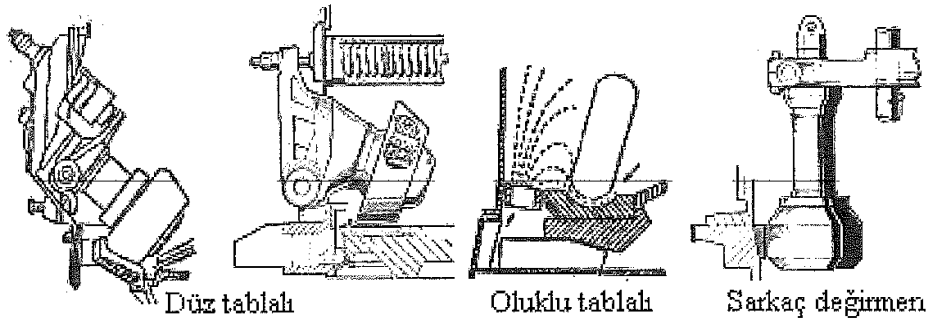
Öğütme tipi	Öğütülecek cevher boyutu f80 (mikron)	En büyük bilya çapı (mm)	Uzunluk/çap oranı
Yaş	5.000-10.000	60-90	1/1-1.25/1
Yaş	900-4.000	40-50	1.25/1-1.75/1
Yaş-Kuru	İnce besleme ve öğütme	20-30	1.5/1-2.5/1
Yaş-Kuru	İnce besleme, açık devre	20-50	2/1-3/1
Kuru	5.000-10.000	60-90	1.3/1-2/1
Kuru	900-4.000	40-50	1.5/1-2/1



**Şekil 3.13.** Bilyeli değirmenlerde boşaltma şekilleri (Yıldız, 2007)

### 3.3.3 Valsli değirmenler

Valsli değirmenler, kömür, fosfat, kireçtaşı, bentonit, çimento gibi malzemelerin öğütülmesinde kullanılırlar. Bu değirmenlerde öğütücü rulolar sabit veya hareketli bir tabla üzerinde dönmekte, tabla ve rulo arasında kalan malzeme, sıkışma ile öğütülmektedir. Rulolarla öğütülecek malzeme üzerine, istenilen boyuta ve kapasiteye göre belirli bir basınç uygulanmaktadır. Öğütülen malzeme, ortamdan fanların oluşturduğu hava akımı ile alınmaktadır. Raymond, Loeshe, Atox ve Polysius, tesislerde en çok kullanılan valsli değirmenlerdir. Son yıllarda 600 t/h kapasiteli 4000 kw motor gücünde valsli değirmenler üretilmiştir (Yıldız, 2007). Değirmenlerde öğütme tablası, öğütme rulolarının şekline göre düz veya olukludur. Şekil 3.14’de değişik öğütme ruloları gösterilmiştir.



**Şekil 3.14.** Öğütme ruloları (Yıldız, 2007)

Sarkaç değirmenlerde, 2-6 adet öğütme rulosu, gövdeye yatay olarak monte edilmiştir. Bu değirmenlerde 20 mm boyutundaki malzeme –35 mikrona kadar öğütülebilir

(Hilton, 1983). Genel olarak valsli değirmenler üzerlerine monte edilmiş sınıflandırıcılar ile birlikte çalışırlar. Bu sınıflandırıcıların kanat açılarını ve hızlarını ayarlayarak öğütülen malzemeyi istenilen boyutta ayırmak mümkündür. Sınıflandırıcıdan istenilen boyutun üzerindeki malzeme, öğütme bölgesine geri dönerken, öğütülmüş malzeme ortamdan ayrılır. Valsli değirmenlerin kapasiteleri ile ilgili bilgiler Çizelge 3.3’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Valsli değirmen öğütme verileri (Yıldız, 2007)

Malzeme		Kapasite	Nem (%)	
Cinsi	Boyut, mesh	(t/h)	Giriş	Çıkış
Bentonit	-10(%99’u)	58	32	11
Bentonit	-200(%85’i)	26	15	7
Dolomit	-200(%85’i)	30	8	0
Fosfat	-200(%70’i)	30	0	0
Linyit	-20(% 95’i)	44	19	4

### 3.3.4 Öğütme ile ilgili diğer hususlar

#### 3.3.4.1 Kapasite

Saatte belirli bir ebadın altına öğütülen ton cevher olarak verilebilir. Genel olarak belirli büyüklükteki bir değirmenin kapasitesini kesin rakamlarla belirtmek mümkün değildir. Çünkü kapasite birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994);

1-Cevher özelliklerine göre

Sertlik, yumuşaklık, özgül ağırlık, tane iriliği (Öğütülecek parça ebadı büyüdükçe kapasite düşer).Cevherin öğütülebilirliği ile kapasite arasında direkt bir ilişki vardır. Ancak öğütülebilirlik için kesin bir kriter yoktur, cevherin fiziksel özellikleri öğütme kabiliyeti ile yakından ilgilidir (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).

2-Değirmen yapısına göre

Değirmen boyutları, astar şekli ve yapısı, öğütücü ortam şekli, özgül ağırlığı, ebadı ve miktarı, değirmen hızı ve taşma şekli etkilidir.

- Kapasite çapın küpü ve boy ile doğru orantılı kabul edilebilir.

- Değirmen hızı ile kapasite direkt ilişkilidir. Pek çok değirmen için kritik hızın % 60 ında kapasite yüksek, % 80 inden sonra düşmektedir.
- Çevreden boşalma veya alçak seviyeli düz taşma halinde kapasite yüksektir.

### 3-Değirmen çalışma şekline göre

Açık veya kapalı devre tertibi, besleme hızı, su-katı oranı, devreden yük, öğütmeden beklenen ürün ebadı kapasiteyi etkilemektedir.

- Kapalı devre çalışmada kapasite artar.
- Öğütmeden beklenen ürün ebadı düştükçe kapasite düşer.
- Besleme hızının değişmesi, diğer bütün faktörleri ve kapasiteyi etkiler (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).

#### **3.3.4.2 Maliyet**

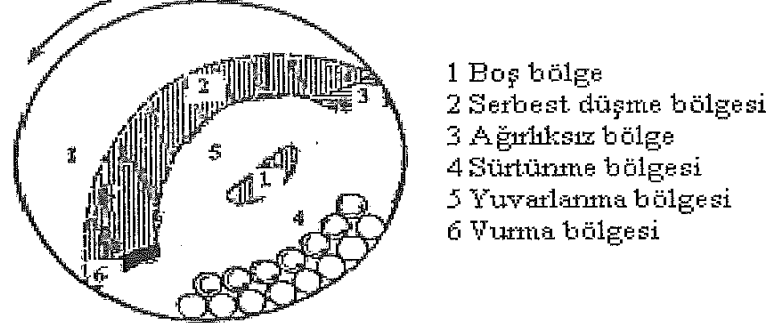
Öğütme maliyeti temel olarak 3 sınıfa ayrılabilir: Güç-Malzeme-İşçilik. İşçilik ancak küçük tesislerde diğerleri kadar önemli olabilir. Malzeme ve güç'ün izafi önemleri, birim enerji maliyeti, bilya ve astar birim maliyeti, cevherin sertliği gibi hususlara göre değişir. Ekonomiklik açısından optimum kapasite bilya ve astar aşınması, teknik açıdan ise kapasite öğütülen ürün ebadı ile ilgilidir (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).

#### **3.3.4.3 Ufalama oranı**

Kaba ve orta kırmada 4-10 civarında olan ufalama oranı bir bilyeli değirmen-klasifikatör kapalı devresinde 50-100 arasında olabilmektedir. Hatta otojen öğütmede bir ünitelerde çok daha yüksek ufalama oranları elde edilmektedir (1000-2500). Büyük ufalama oranları gerekli olan yerlerde, tesisin kapasitesi büyük ise değirmenlerin seri olarak bağlanması (bir değirmen iri öğütme yaparken diğeri ince öğütme yapar şekilde) paralel şekilde düzenlenmesinden daha ekonomik olmaktadır (İpekoğlu ve Tanrıverdi, 1994).

### 3.3.4.4 Kritik hız

Değirmenlerde, tam şarj kabul edilen hacmin %40'ının doldurulması durumunda, öğütücü ortam bilya ya da çubukların hareketi Şekil 3.15'de gösterilmiştir (Kelly ve ark., 1982).



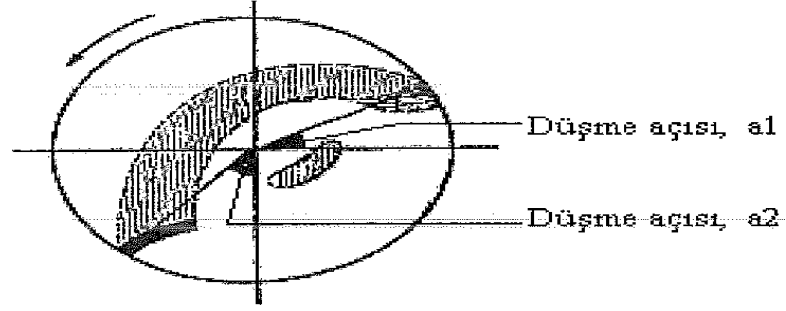
Şekil 3.15. Değirmen içindeki tam şarjın hareketi (Yıldız, 2007)

Yüksek devirde, 6 nolu bölgeden (Şekil 3.15) bilyalar/çubuklar astara çarparak, düşük devirde de 4 nolu bölgede geriye doğru kayarak gereksiz aşınmalara neden olurken, öğütme verimliliğini de olumsuz yönde etkilerler. Bu istenmeyen bir durumdur. Değirmenler, öğütmede istenilen verimliliğe ulaşılabilme ve aşınmayı minimum seviyede tutmak için kritik hızın % 65-80'i bir hız ile çalıştırılmalıdır. Dönüş hareketi sonucu oluşan çevresel hız, değirmenin hızı ile artar. Bu hızın seviyesi değirmen astarlarının aşınmasını etkiler ve değirmenlerin tasarımlarında göz önüne alınır. Çevresel hızın değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

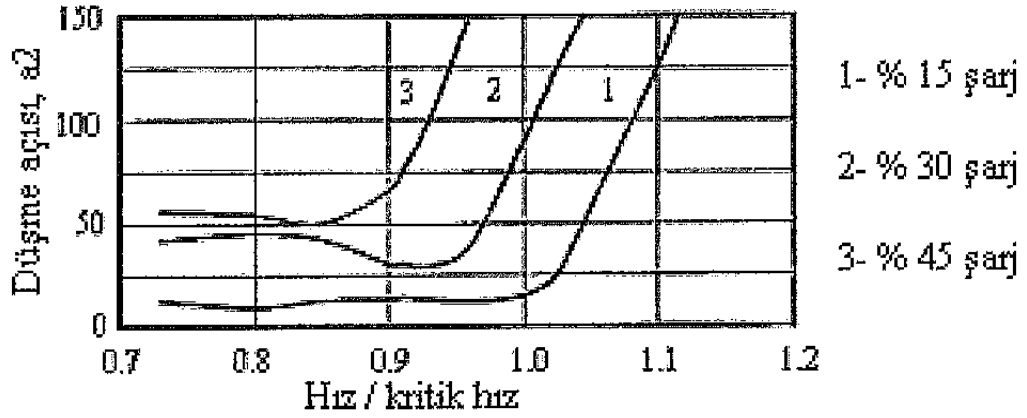
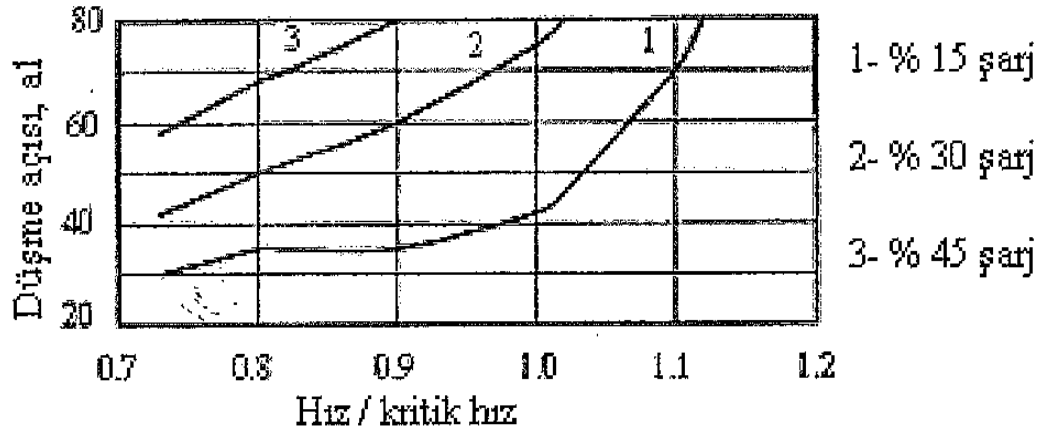
$$N_p = 3.14 \times D_m \times N_m$$

$N_p$  = Çevresel hız, metre/dak.

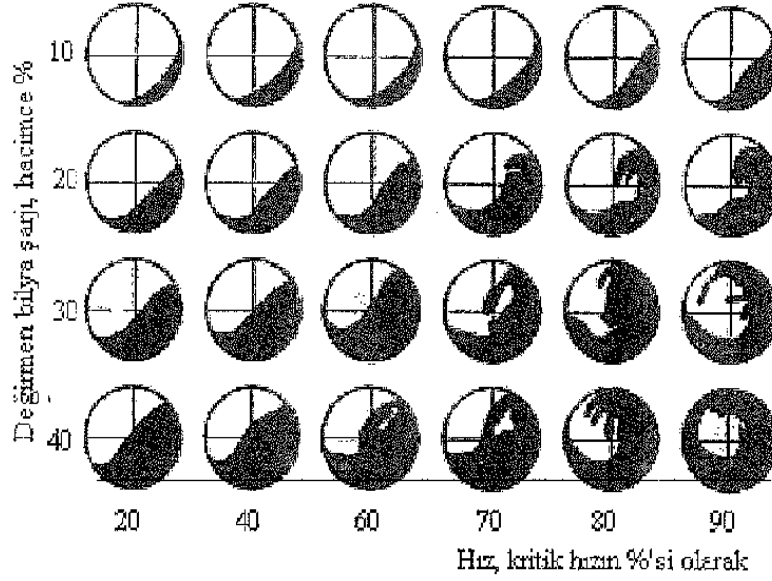
Değirmen içindeki şarjın düşme açıları Şekil 3.16'da, değirmenlerin şarj oranı, kritik hız ve düşme açıları arasındaki ilişkiler Şekil 3.17 ve 3.18'de gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde, %45 bilya şarjı ve kritik hızın %75-80 oranlarındaki bir çalışma ortamında malzemenin öğütülmek için yeteri kadar yükseldiği ve öğütme için en uygun yere düştüğü görülmektedir.



Şekil 3.16. Değirmen içindeki şarjın düşme açıları (Yıldız, 2007)



Şekil 3.17. Şarj, kritik hız ve düşme açısı arasındaki ilişki (Yıldız, 2007)



Şekil 3.18. Şarj ve hıza bağlı olarak değirmen içindeki hareket (Yıldız, 2007)

### 3.3.4.5 Öğütme yardımcısı kimyasal katkı maddeleri

Ufalama, katı tanelerin daha küçük boyutlara indirgenmesi ile yeni yüzeylerin oluşturulması işlemi olup, bilim ve teknolojiye fazlaca uygulama bulduğu gibi insan güncel yaşamının da kaçınılmaz bir parçası olmuştur. Rittinger (1867) ile başlayan kuramsal çalışmaların çok yoğun olmasına karşın, günümüze değin yayımlanan çalışmaların sayısı 7 000 dolayındadır; ufalama konusu somut temellere oturtulamamış, ampiriklikten, ya da iyimser bir tanımla yarı kuramsallıktan kurtulamamıştır. Günümüzde üretilen enerjinin %5'i ufalamada harcanmaktadır (Öner, 1981). Metal endüstrisinin artan hammadde gereksinimi, önceleri işlenmeyen disemine cevher yataklarının değerlendirilmesi gereksinimini doğurmuştur. Ancak, disemine yatakları oluşturan cevher minerallerinin çok ince tane boylarında serbestleşmesi gerçeği, bir yanda ince öğütme, diğer yanda ince öğütülmüş taneleri zenginleştirme sorunlarını birlikte getirmiştir. Endüstrinin boya, ilaç, çimento, pigment v.b. kollarında da ince öğütülmüş tane gereksinimi giderek artmaktadır. Bunun sonucu, ufalamada harcanan enerjinin önümüzdeki yıllarda daha da artacağı söylenebilir. Bilindiği gibi ufalama verimsiz bir işlem olup, özellikle öğütme olarak tanımlanan ince ufalamada, toplam enerji girdisinin ancak %1 kadarı yeni yüzey oluşmasında harcanmakta; geriye kalan

kesimi ise, ısı, ses, sürtünme v.b. enerji türleri olarak kaybolmaktadır. Bu nedenle, öğütme etkinliğini az da olsa arttıracak bir yöntemin ekonomik değeri açıktır. Son yıllara kadar, katı maddelerin kırılmaları, bunların elastik sınırları ötesinde gerilmeleri sonucu yenilmeleri anlamında, tümüyle fiziksel bir işlem olarak ele alınmıştır. Benzer olarak öğütme de, fiziksel bir işlem olarak ele alınmış, öğütme sistemlerinin, yalnızca mekanik koşulların fonksiyonu olduğu düşünülmüştür. Oysa öğütme işlemi ilk kez (Gaudin, 1955) tarafından işaret edildiği gibi, sabit fiziksel değil fiziko-kimyasal karakterde bir işlemdir ve bir öğütme sisteminde, tanelerin davranışını belirleyen kuvvetler, yalnızca mekanik yüklemeler sonucu tanelere ulaşan kuvvetler olmayıp, aynı zamanda taneler arası kuvvetler de söz konusudur. Bu kuvvetleri, gravite kuvvetler ve doğal çekim kuvvetleri olarak iki ana grupta toplamak olanaklıdır. Doğal çekim kuvvetleri de kendi içinde aşağıdaki gibi ayrılabilir:

- Elektrostatik kuvvetler
- Van der Waals kuvvetleri
- Katı köprüler
- Sıvı köprüler
- Kılcal kuvvetler

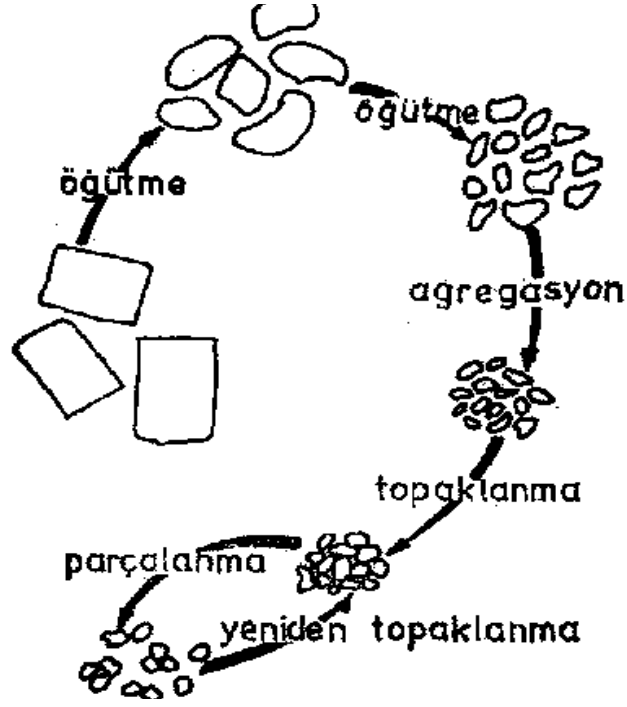
Yüzey aktif maddelerin öğütme üzerindeki etkileri ve bu etkilerin mekanizmasının araştırılması konularında günümüze değin yüzlerce çalışma yapılmış olmasına karşın, bu etkiler tümüyle açıklanmamıştır. Ancak, tüm yayınlardan çıkarılabilecek ortak bir sonuç, bu maddelerin, yalnız belirli derişimlerde etkin olduğu ve bu derişimler dışındaki miktarlar kullanıldığında etkinin ortadan kalktığı, hatta öğütmeyi ters yönde etkilediğidir. Çizelge 3.4'de öğütmede şimdiye değin denenmiş olan yüzey aktif maddelerden bazıları ve bunların hangi maddelerin öğütülmesinde ne denli etkin olduğu özet olarak verilmiştir. Katı tanelerin kuru sistemlerde öğütülmesi, iki işlemin bileşkesi olarak tanımlanabilir. Bir yanda ufalanma, diğer yanda ufalanmış taneciklerin topaklanması ve öğütme elemanları ile değirmen astarına sıvanması söz konusu olacaktır. Öğütme işleminin ileri aşamalarında ufalanma hızı azalırken tanelerin topaklanma ve sıvanma hızı artacak, işlem bu ikisinin eşit olduğu dinamik bir dengeye ulaşacaktır. Denge durumundaki tane boyu inceliği, bu sistem için pratik öğütme limiti olarak tanımlanabilir (Şekil 3.19). Topaklanma ve sıvanmanın öğütme üzerindeki etkileri iki yönlüdür;

- Birim ufalama için enerji girdisi artar,
- Pratik öğütme limitine daha iri tane boylarında ulaşılır (Öner, 1981).

Öğütme, kristal ya da amorf yapı içindeki kimyasal bağların kopması ile yeni yüzeylerin oluşması işlemidir. Ancak, herhangi bir öğütme işleminde öğütme aracına iletilen enerjinin yalnızca %1 kadarı yeni yüzey oluşumunda harcanmakta, %99'u ise, iletim kayıpları, sürtünme, ısı, ses, vb. başka enerji biçiminde tüketilmektedir. 1962 yılında Rumph toplam enerji üretiminin %5'inin öğütmede harcandığını ileri sürmüştür. 1962'den günümüze, kuşkusuz, teknolojik ilerlemelere koşul olarak öğütmede enerji tüketimini azaltıcı gelişmeler olmuştur, özellikle öğütme sistemlerinin otomatik kontrolü bu yönde olumlu sonuçlar vermiştir. Ancak, bir yanda zengin cevher yataklarının tükenmesi nedeniyle disemine yatakların zenginleştirilmesi gereksinimi, diğer yanda ince öğütülmüş hammaddelerin endüstrinin pek çok dalında kullanımının artması ve yeni kullanım alanlarının belirlenmesi, daha fazla miktarın giderek incelen büyüklüklere öğütülmesini gerektirmektedir.

**Çizelge 3.4. Öğütmede kullanılan yüzey aktif maddeler (Lowrison, 1974)**

Yüzey Aktif Madde	Eklenen %	Öğütülen Malzeme	Kuru-Yas	Öğütme Hız* Faktörü
Su	0.06	Mermer	K	1.6
Su	0.04	Çimento klinkeri	K	1.3
Alkoller				
Metanol		Kuvars	-	-
İzopentanol	-	Kuvars	-	1,29
İzopentanol		Demir tozu		20.0
s – Oktanol		Kuvars		1.4
Ketonlar				
Aseton	0.2	Çimento klinkeri	K	1.37
Aminler				
Flotlgan	0.02	Kuvarsit		2.2
Flotigan	0.02	Kireçtaşı	—	1.7
Sulfonlk Asitler				
Arilalkii S.A.	0.06	Çimento	—	1.3
Yağ Asitleri				
Oteik Asit	0.003	Kireçtaşı		1.1
Butrik Asit		Kuvars		1.27
Na – oleat	0.1	Kuvars		2.0
Na – oleat	0.1	Kireçtaşı		2.0
Na – stearat	0.15	Çimento klinkeri		1.2
Kapriiik Asit	0.5	Kromit, Manyezit	K	1.2
Diğer Karboksiiik Asitler				
Naptenik Asit	0.1	Çimento klinkeri	K	1.33
Na – neptenat	1.0	Kuvarsit	Y	1.40
Hidrokarbonlar				
n – Alkanlar	—	Soda Kireci Camı	K	10.0
Esterler				
Anilasetat	—	Kuvars	—	1.23
Diğer				
Karbon Siyahı	0.08	Çimento		1.3
Sodyum Karbonat	0.02	Kireçtaşı		2.0
Karbon Diokslt	0.03	Kuvarsit	Y	1.55
Kalgon	0.01	Kurşun, Çinko Çev.		1.3



**Şekil 3.19.** Kesikli küçültme sistemlerinde ulaşılan dinamik dengenin gösterilişi (Ho ve Hersey, 1991)

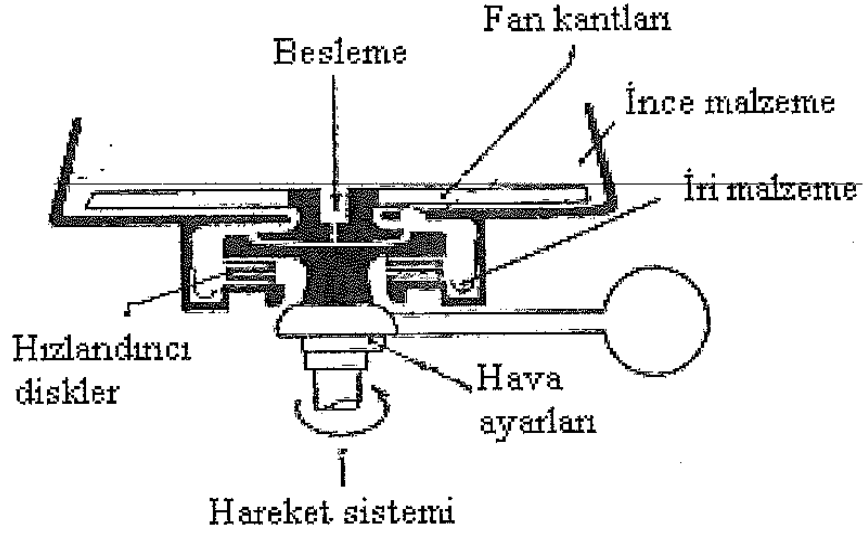
Bu nedenle, günümüzde üretilen toplam enerjinin %5'den daha büyük bir kesiminin öğütmede harcandığı ve bu miktarın önümüzdeki yıllarda daha da artacağı söylenebilir (Öner ve Acar, 2006).

Öğütmede harcanan enerjinin azaltılması için çok sayıda araştırma yapılmıştır. Öğütme yardımcıları, özellikle çimento sanayinde geniş uygulama bulmuştur. Öğütme yardımcısı olarak literatürde pek çok kimyasal madde denenmiş olmasına rağmen ticari olarak uygulama bulan başlıca reaktifler trietanol amin ve dietilen glikoldür. Bununla birlikte, daha düşük maliyetli ve/veya etkin reaktifler için araştırmalar sürmektedir. Endüstri tesislerinin artışı veya yan ürünü olan kimyasal maddeler bu amaç için kullanılabilir (Aksak, 1981).

### 3.4 Seperasyon

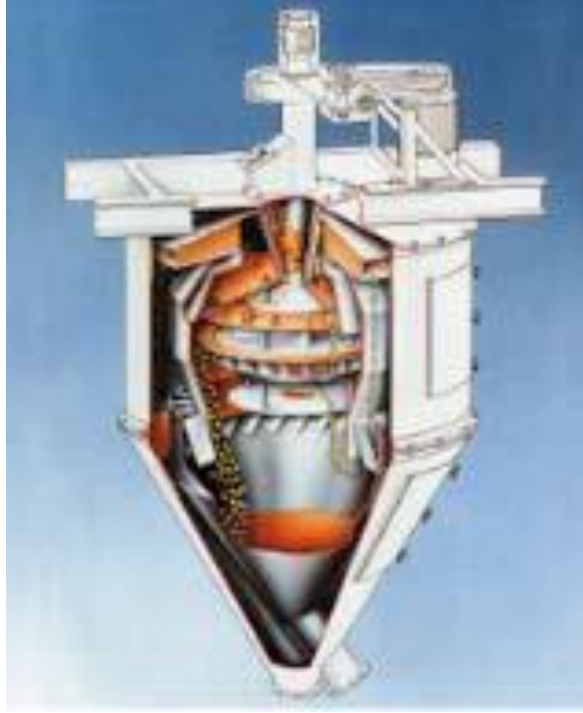
Sınıflandırıcılarda hava debisi valfler, kanatların dönüş hızı ayarlanabilmektedir. Malzemeyi taşıyan hava, sınıflandırıcıya belirli bir hızda teğetsel olarak girmekte, sınıflandırıcı içinde iri malzemeler merkezkaç kuvvetinin etkisi ile, ince malzemeler de hava ile taşınarak ayrılmaktadır. Şekil 3.20'de havalı bir sınıflandırıcının kesiti

verilmiştir (Graham ve Hanna, 1962). Günümüz mikronize (ince ve çok ince) öğütme tesisleri, yüksek hızlı dinamik havalı ayırıcıların (seperatör) gelişmesi ve yaygın olarak kullanılmaya başlamasıyla birlikte özellikle kalsit, talk, barit gibi orta sertlikteki ( $< \text{mohs}'3$ ) endüstriyel hammaddelerin  $d_{97}=25\mu\text{m}$  ( $d_{50}=5\mu\text{m}$ ), hatta daha düşük tane boyutlarına kadar ( $d_{97}=6\mu\text{m}$ ) bilyeli değirmenler vasıtasıyla verimli bir şekilde öğütülmesine imkan tanımaktadır. Gelişen dinamik havalı ayırıcılarla, güvenilirlikleri, düşük bakım ve işletme maliyetleri ile yumuşak ve orta sert hammaddelerin kuru ince öğütme uygulamalarında  $d_{97}=6\mu\text{m}$  düzeyine kadar kullanılan bilyeli değirmenler, enerji verimlerinin nispeten düşük olmasına karşın, sektörde hala lider konumundadır. İnce-kalın malzeme sınıflandırmasının ilk olarak eleklerle yapıldığı; en basit ve etkin havalı sınıflandırmanın ise binlerce yıldır harmanlarda dirgenlerle samanla karışık buğdayı havaya savurarak gerçekleştirildiği söylenebilir. Günümüz modern dinamik havalı ayırmanın esası ise temel prensip olarak aynıdır. Fan tarafından belirli hıza ulaştırılmış hava, bir rotorun merkezkaç kuvvetiyle aksi yönden gelen tanelerle karşılaşır; ince taneler merkezkaç kuvvetinin etkisiyle rotorun dışına taşınırken iri taneler dışarıdan fan tarafından hızlandırılmış havanın etkisiyle rotorun merkezinde kalarak ayrılırlar. Bir mikronize öğütme tesisi tasarım aşamasında, öğütülmesi istenen hedef tane boyut aralığı için kullanılacak değirmenin çapı-boyu, boşaltım mekanizması, seçilecek ayırıcının cinsi, tipi, yataklanma şekli, rotor çapı, ürünü durduracak durdurucu siklon ve/veya jet filtre ve en önemlisi ana fan uyumlu olmalıdır. Bu parametrelerden biri ya da birkaçı uyumsuzluk gösterdiğinde, hedeflenen tane boyutunun elde edilememesi, istenilen kapasitede ürün alınamaması, enerji verimliliğinin düşük olması gibi sonradan çözülmesi çok zor ve pahalı sorunlar ortaya çıkabilmektedir. Bazı durumlarda ise tesisin gerçek kapasitesinin bu olduğu varsayılarak uzun süre düşük verimde çalıştırılabilmektedir. Bu tür olumsuzlukları yaşamamak için hem tasarımcının, hem de işletmecinin adı geçen parametrelerle ilgili bilgi sahibi olması gerekmektedir (Toraman ve Sönmez, 2012).



Şekil 3.20. Havalı sınıflandırıcı kesiti (Yıldız, 2007)

Statik havalı ayırıcılar, dar tane boyut dağılımına çok ihtiyaç duyulmayan, az da olsa iri tane kaçağının fazla önemsenmediği yaklaşık 20 yıl öncesine kadar kuru öğütme sistemlerinin en çok kullanılan sınıflandırıcısı konumundaydılar. Günümüzde özellikle d97 45–250 µm tane boyut aralığında ürün elde edilmesinde kullanılabilmelerine karşın, artık yerlerini fan-filtre destekli dinamik havalı ayırıcılara bırakmışlardır. Özellikle kalsit, talk, kaolin, barit vb. dolgu maddeleri üreten yeni mikronize öğütme tesislerinde neredeyse tümüyle ortadan kalkmıştır. Değirmen çıkışı malzeme, ayırıcının içinde en üst kısmında bulunan dağıtım plakası üzerine beslenir. Burada merkezkaç kuvvetinin etkisiyle bir altta bulunan döner plakanın üzerine dökülen malzemenin iri taneleri merkezkaç kuvvetinin etkisiyle dış kısımda kalır ve yerçekimiyle aşağı dökülüp geri beslemeye verilir veya ayrılır. İnce olanlar ise dönen plakaların etkisiyle oluşan hava sirkülasyonuna kapılarak yukarı taşınır ve ince tane konisinde birikerek dışarı nihai ürün olarak alınır (Şekil 3.21) (Toraman ve Sönmez, 2012).

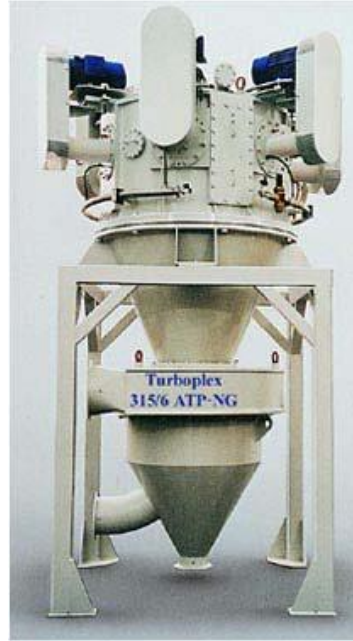


**Şekil 3.21.** Statik havalı ayırıcı kesit görünümü (www.bikudo.com)

Dinamik havalı ayırıcılar son 30 yıl içinde kuru öğütme sistemlerinde en çok tercih edilen sınıflandırıcılardır (Şekil 3.22). Bu ekipmanları diğer sınıflandırıcılardan ayıran başlıca özellikleri, bir ana santrifüj fan ile hızlandırılıp basıncı arttırılmış hava kullanmaları ve ürünü bir siklon ve/veya jet-filtre ile durdurmalarıdır. Sisteme fan ve filtre girdiğinden dolayı da tasarım parametreleri daha karmaşıktır. Uygulamada operatörler, fan hava klapelerini %75-85 aralığında sabit tutarak tane boyutunu rotor hızıyla ayarlamayı tercih etmektedirler. Ancak bazı özel durumlarda; örneğin dar tane aralığında ürün elde edilmek istendiğinde, klapelerle fan hava akımı arttırılıp sınıflandırıcı hızı yükseltilmektedir. Böylece daha yüksek bir d50 değeri ve daha düşük yüzey alanına sahip bir ürün ortaya çıkmaktadır. Aynı şekilde rotor hızı ve fan basıncı düşürülerek tane boyut dağılım eğrisi yataya yaklaştırılabilir; yani daha düşük bir d50 değeri olan, yüzey alanı daha yüksek daha ince ürün elde edilebilir. Bütün bu uygulamalar, çalışma esnasında sürekli tane boyutu ölçümleriyle optimize edilir ve dalgalanmalar en aza indirilmeye çalışılır. Günümüz dinamik sınıflandırıcıların en önemli üstünlüklerinden biri de sahip oldukları kontrol parametreleriyle söz konusu dalgalanmaları en aza indirgemiş olmalarıdır. Konuyla ilgili yapılan çalışmalarda fan

klapesinin açılıp yüksek hava akımı ve yüksek rotor hızında öğütme veriminin arttığı gözlemlenmiştir (Anon, 1999).

Genel olarak uygulamada fan hava miktarları sabitlenerek ayırıcı rotor devri düşürülüp yükseltilecek istenen tane boyutu elde edilir. Önceleri bu uygulama ayırıcı rotorunun kasnağının değiştirilmesiyle sağlanırken, günümüzde frekans kontrol üniteleriyle ayırıcı rotor hızı üretimde hiçbir durdurma ve kesintiye gitmeden çok hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir. Bir kuru öğütme hattının tasarlanmasında ve işletilmesinde en önemli kriter, işletme için amaçlanan hedef tane boyuta üretim kapasitesi ile değirmen ve ayırıcının uyumluluğudur. Bu uyum gözetilirken öncelikle değirmenin saatlik çıkış kapasitesi göz önünde bulundurulmalıdır. Değirmen kapasitesi yüksek, fakat ayırıcı kapasitesi düşük tutulduğunda (Genelde yapılan hata budur.) değirmende bir miktar atıl kapasite ortaya çıkmakta ve genel elektrik verimi bu şekilde büyük ölçüde düşmektedir veya ayırıcı(lar) aşırı yüklenerek verimsiz bir sınıflandırma yapmaya zorlanmaktadır. Sisteme sonradan ayırıcı ilave etmenin de pek çok teknik ve mali zorlukları vardır. Şekil 3.23’de görülen, tek değirmenli, tek sınıflandırıcı, hava taşımalı bir öğütme devresi, tasarım ve işletim olarak kolaydır ancak rotor çapı 630 mm olan bir ayırıcıyla  $d_{97}$  25  $\mu$ m boyutunda 3 ton/saat için  $d_{97}$  10  $\mu$ m düzeyinin altına inmek mümkün değildir (Toraman ve Sönmez, 2012).



**Şekil 3.22.** Altı rotorlu yatay yataklı dinamik ayırıcı (Anon, 1996)



## BÖLÜM IV

### ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kirk-Othmer (1978)'de yaptığı bir çalışmada şu bilgileri vermiştir. Alçı taşı (jips) doğal olarak oluşan ve iki mol su içeren bir kalsiyum sülfat mineralidir. Bileşiminde iki molekül kristal su bulunan jipsin ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), yarım molekül su kalacak şekilde, ısı verilerek uçurulması ve öğütülmesi ile elde edilen, suyla karıştırılınca tekrar katılarak bağlayıcı özelliği taşıyan bir yapı malzemesidir.

Zhang ve ark. (1996) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada yörüngesel bilyeli değirmende jipsin ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) yapısı yarı hidrat yapıya dönüştürülmeye çalışılarak olumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Strydom ve Potgieter (1999) öğütme ile doğal jipsin dehidrasyonu üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada çimento değirmeninde öğütülen ürünler kullanılmıştır. Besleme malı ve ürünlerinin, ısı ile ağırlık kaybı yani TGA ve XRD analizlerinin karşılaştırılmaları sonrasında aralarında büyük değişiklikler olduğu belirlenmiştir.

DPT, 2001 yılında yaptığı bir yayında jips ile ilgili şu bilgileri paylaşmıştır. Türkiye'de şimdiye kadar alçıtaşı oluşumlarının tamamı ele alınarak sistematik bir inceleme yapılmamıştır. Bunda alçıtaşının 1999 yılı sonuna kadar maden kanunu kapsamında olmaması en önemli faktördür. Ülkemizde bu konuda en büyük kuruluş olan M.T.A arşivlerinde birkaç küçük çalışma dışında hiç bir somut veri bulunmamaktadır. Sadece tahminlere dayalı olarak görünür rezervin 165 milyon ton, görünür ve muhtemel rezervin ise 1.8 milyar Ton olduğu VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı Alçı Özel İhtisas Komisyon Raporunda belirtilmiştir.

Kotake ve ark., (2002) yaptıkları bir çalışmada laboratuvar tipli değirmen kullanarak jipsin de aralarında bulunduğu bazı minerallerin öğütme kinetiğini çalışmışlardır. Deneylerde cevher tane iriliği ve bilye boyutu esas alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ise optimum bir öğütme için besleme malı ile bilye boyutu arasında öğütme kinetiği açısından önemli bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur.

Altay ve ark., (2007) yaptıkları jeolojik esaslı bir çalışmada Sivrihisar (Eskişehir, İç Anadolu)'ın güneydoğusunda yer alan bir bölgeyi araştırmışlardır. İnceleme alanında yüzeyleyen Neojen yaşlı birimler İlyaspaşa formasyonu (Alt-Orta Miyosen) ve Sakarya formasyonu (Üst Miyosen-Pliyosen) olmak üzere iki litostratigrafik birime ayrılır. Sakarya formasyonu Jips, Alt Kireçtaşı, Killi Dolomit ve Üst Kireçtaşı olmak üzere dört üyeye ayrılmaktadır. Jipsler arazide diskoidal, mercek şekilli, jips gülü ve kırlangıçkuyruğu gibi çeşitli kristal şekilleri sergilemektedir. Jips kristalleri inceleme alanında masif seviyeler, tabakalı, dolomit içerisinde çatlak dolgusu ve serbest büyümeli olarak gözlenir. Dolomit ile ardalanmalı olan masif ve tabakalı jipsler, yalnızca mercek şekilli ve diskoidal şekilli jipslerden oluşmuştur. Bunlar beyaz renkli ve küçük kristaller halinde (kil-kum boyu) bulunur. Diğer jips kristalleri ise mavimsi gri ve açık kahverengi gibi değişik renkler sergilerler. X-ışınları verilerine göre tüm kesitler; başlıca dolomit, jips, kalsit, yerel olarak sepiyolit ve nadir olarak da paligorskit, simektit, illit ve kaolinit içerir. İri diskoidal, kırlangıç kuyruğu ve gül biçimli jips kristallerini içeren örneklerde, kil mineral içeriğinin kil-kum boyu jipslerden daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çalışma alanında tatlı su, zayıf alkalın ve alkalın koşulların etkili olduğu belirlenmiştir. Kil kum boyu jips oluşumlarının  $SO_3^{-2}$  içerikleri diğer jips oluşumlarından daha düşük bulunmuştur.

Anbalagan ve ark. (2009) tarafından yapılan bir çalışmada, doğal jips mineralinin oda sıcaklığında kimyasal yapısı incelenmiştir. Deneyleerde yer alan IR sonuçları incelendiğinde, 3600-3200 cm ve 1690-1600 cm dalga boyu aralıklarında jipsin yapısında bulunan su moleküllerine ait (O-H) gerilme titreşimlerinden kaynaklanan pikler, 1200-650 cm dalga boyu aralıklarında ise yine jipsin bünyesinde bulunan sülfat kökünde yer alan (S-O) eğilme/bükülme titreşimlerinden kaynaklanan karakteristik pikler gözlenmiştir.

Gümüş (2009), Niğde bölgesi jips cevheri için yaptığı bir çalışmada, Ulukışla Evaporitleri (Zeyvegediği anhidriti), Ulukışla (Niğde) Baseni içerisinde yer alan Orta Anadolu'nun güneyini ve Niğde İli doğusunu araştırmıştır. Bu çalışmada, Ulukışla Baseni içerisinde yer alan Ulukışla Evaporitlerinde yer alan jips ve anhidritlerin, jeolojik, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri araştırılıp, evaporitlerin endüstriyel hammadde olarak kullanım alanları belirlenmeye çalışılacaktır. Bu kapsamda çalışma alanının bulunduğu Ulukışla Baseni içerisinde yer alan Ulukışla evaporitlerinden 900 m.

kalınlığındaki alandan sistematik bir şekilde 50 adet anhidrit ve jips örnekleri alınmıştır. Alınan bu örnekler üzerinde XRD (X-Ray Difraksiyonu) çalışması ile anhidritleri ve jipsleri oluşturan minerallerin yapısı, AAS (Atomik Absorbsiyon Spektrometresi) ile elementlerin oksit yüzdeleri, kızdırma kaybı ve kristal suyu yüzdesi, XRF analizi ile % oksit ve iz elementleri, polarizan mikroskop, binoküler mikroskop ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskopu) çalışması ile de mineralojik özellikleri belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, XRD analizi ile örneklerin saf jips minerallerinden oluştuğu, AAS yöntemi ile örneklerin jips olduğu, XRF ile jipslerin % oksitlerinin CaO ve SO<sub>3</sub>, iz elementlerinin ise, Mg, Al, P, K, Fe, Rb ve Sr olduğu belirlenmiştir. SEM çalışması ile farklı yapıda mineral oluşturacak kristal yapı örneğine rastlanılmamıştır. Jips örneklerinin laminasyon yüzeyine paralel ve laminasyon yüzeyine dik yapıları incelenmiştir. Polarizan mikroskop çalışmasında, jipslerin mozaik (yumrulu) doku ve kümesteli dokulu oldukları görülmüştür. Binoküler mikroskop incelemelerinde ise selenitik jipslerin, mikroskop altındaki görüntüleri şeffaf yapıda olup, yaklaşık 1-2 mm kalınlığındaki jips tabakalarının altında toplu iğne benzeri nesnelere rahatlıkla görülebilmektedir. Yapılan analiz sonuçlarına göre bölgedeki jipslerin alçı üretimi için kaliteli jips olduğu tespit edilmiştir.

Deniz (2011) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Denizli-Honaz bölgesi jips endüstriyel minerali kullanılarak öğütme kinetiği çalışmaları yapılmıştır. Deneylerde cevher, 1,7 mm ve 0,160 mm arasında yedi farklı boyutta kullanılmıştır. Burada jips doluluk oranı (%5-7,5-10-15-20) ve bilye doluluk oranı (%25-35-45) parametreleri esas alınmıştır.

Şener (2012)'in yaptığı bir çalışmada, mekanik aktivasyon yardımı ile jips mineralinin alçı ve anhidrite dönüşüm kalsinasyon sıcaklığının düşürülmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla alçı taşı, tungsten karbür öğütme ortamlı gezegensel bilyalı değirmen kullanılarak aşırı öğütmeye maruz bırakılmıştır. Öğütülmemiş ve çeşitli sürelerde öğütülerek elde edilen örnekler; BET yüzey alanı analizi, SEM (taramalı elektron mikroskopu), XRD (x-ışını difraktometrisi), PSD (tane boyu dağılımı), IR (infrared spektroskopisi), TG (termogravimetri) ve DSC (diferansiyel tarama kalorimetresi) analizleri yardımıyla yoğun bir biçimde karakterize edilmiştir. Öğütülmüş örneklerin BET yüzey alanı, öğütme süresine paralel olarak artmıştır. Az da olsa mekanik aktivasyona sebep olacak kadar bazı XRD kristal yapı bozukluklarına rastlanmıştır.

TGA sonuçları jipsin alçıya ve alçının anhidrite dönüşüm sıcaklık bölgelerinin daha düşük sıcaklık bölgelerine kaydığını göstermektedir. DSC analizi sonuçlarına göre, 15 ve 18 dakika öğütme sonunda, jipsin tamamıyla anhidrite dönüşümü için gereken toplam spesifik enerji miktarında anlamlı bir azalma olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, başlıca düşük Mohs sertlik değeri ve yapısal su içeriğine bağlı olarak uzun süreler öğütülmesi çok zor olmasına rağmen, jipsin mekanik aktivasyonunun olanaklı ancak çok zor olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

## BÖLÜM V

### MATERYAL VE METOT

#### 5.1 Materyal

Deneyde kullanılan jips cevheri (~100 kg) Niğde ilinin Ulukışla bölgesinde faaliyet gösteren K Global Alçı ve Madencilik San. Tic. Ltd. Şti.'den temin edilmiştir. Söz konusu cevherin adı geçen firmadan alınan kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 5.1'de verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** Tüvenan jips cevherin kimyasal analiz sonuçları

İçerik	Değer (%)
CaO	29,67
SO <sub>3</sub>	46,00
SiO <sub>2</sub>	0,002
MgO	3,65
Cl	0,0005
Kristal Suyu	20,15
Kızdırma Kaybı	20,93

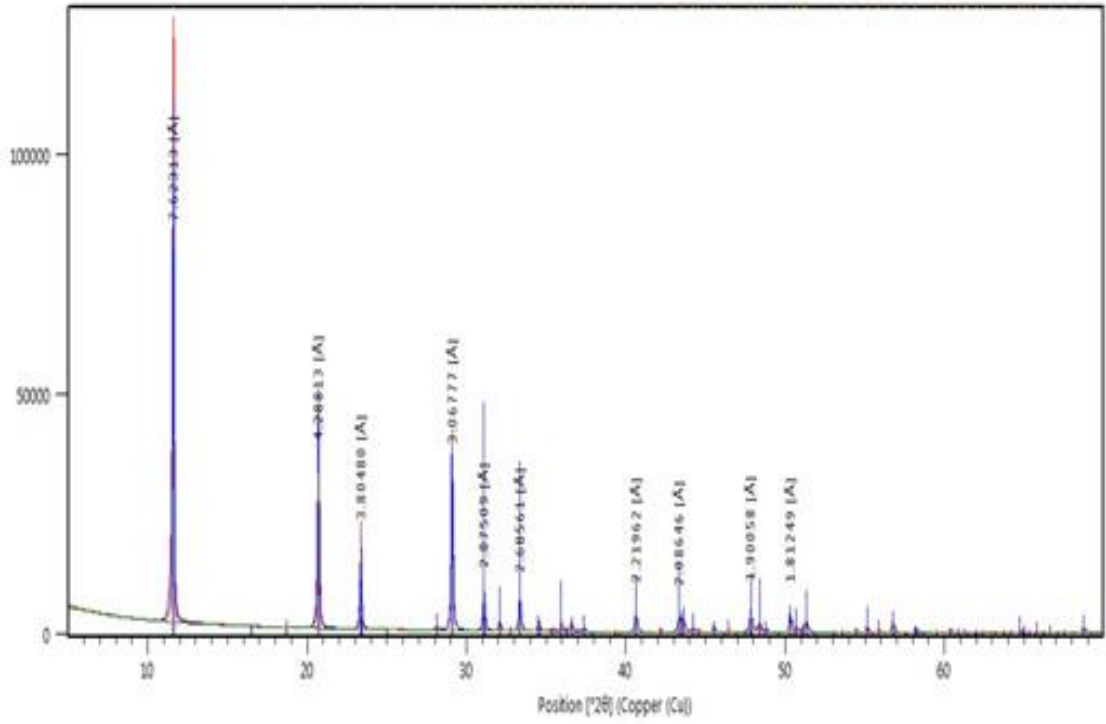
Deneysel çalışmalarda kullanılan jips cevherinin XRD analizi Niğde Üniversitesi Merkez Laboratuvarında mevcut X-Ray Difraktometre cihaz (Resim 5.1) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. XRD analiz sonuçları ise Şekil 5.1'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde cevherin %99'dan fazlasının Jips mineralinden oluştuğu görülürken, çok az bir oranda ise anhidrit mineraline rastlanmaktadır.

#### 5.2 Metot

Tez çalışması kapsamında yapılan deneylerde, Niğde Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında mevcut çeneli kırıcı (Resim 5.2), bilyeli değirmen (Resim 5.3) ve elek seti (Resim 5.4) kullanılmıştır.



**Resim 5.1.** X-Ray difraktometre cihazı



**Şekil 5.1.** Tüvenan jips cevherinin XRD analiz sonuçları



**Resim 5.2.** Deneyleerde kullanılan çeneli kırıcının genel görünüşü

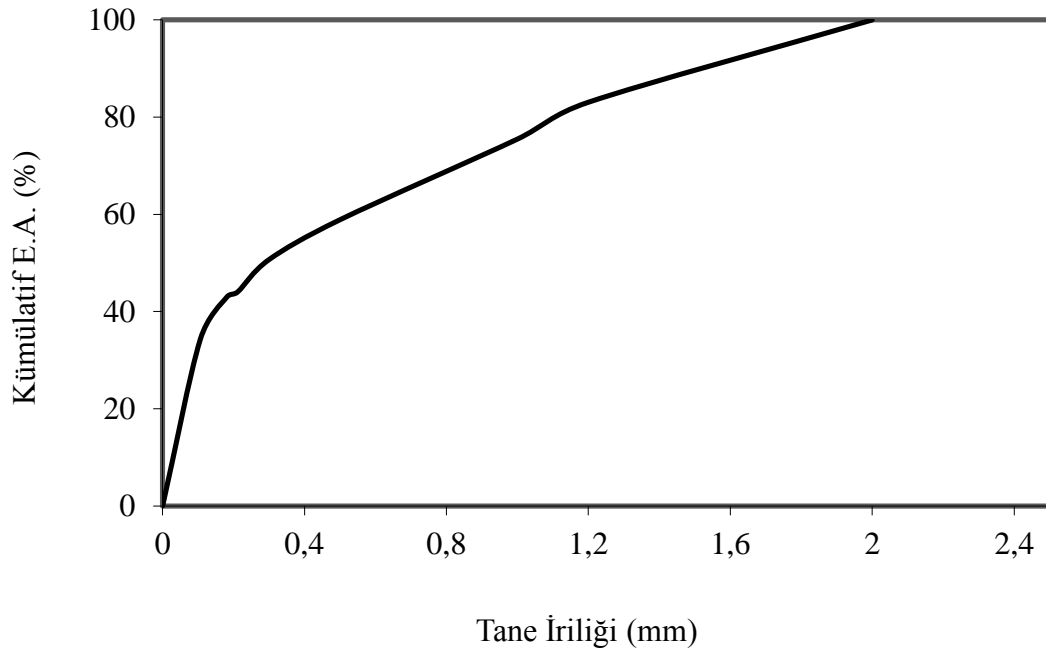


**Resim 5.3.** Deneyleerde kullanılan bilyeli değirmenin genel görünüşü



**Resim 5.4.** Deneylerde kullanılan eleklerin genel görünüşü

Öğütme deneyleri öncesinde cevher, çeneli kırıcı ve 2 mm'lik elek kullanılarak tamamı -2 mm'ye kırılmıştır. Kırılan cevher, öğütme testleri için besleme malı olarak kullanılmıştır. Söz konusu kırılmış ürünün kuru ortamda yapılan elek analizi sonuçları ise Şekil 5.2'de verilmiştir. Kırıcı çıkışının yani değirmen besleme malının  $d_{50}$  ve  $d_{80}$  değeri ise sırası ile 0,300 mm ve 1,10 mm olarak tespit edilmiştir.



**Şekil 5.2.** Öğütme besleme malı cevherin elek analizi

Öğütme testleri, 20 cm çaplı 20 cm yüksekliğe sahip paslanmaz değirmende kuru ortamda gerçekleştirilmiştir. Öğütücü ortam olarak ise 2, 3 ve 4 cm çaplı bilyeler kullanılmıştır. Öğütme testlerinde kritik hız ( $N_c$ ) için Eşitlik 6, bilye doluluk oranı için Eşitlik 7 ve cevher doluluk oranı ( $f_c$ ) için ise Eşitlik 8 kullanılmıştır. Eşitliklerde; değirmen çapı ( $D$ ) 0,20 m, bilye çapı ( $d$ ) 0,04 m, bilye yoğunluğu 8 gr/cm<sup>3</sup>, jips yoğunluğu ise 2,3 gr/cm<sup>3</sup> olarak alınmıştır.

Kritik Hız;

$$N_c = [(42,3)/(D-d)^{0,5}] \quad (6)$$

Bilye Doluluk Oranı;

$$J_b = [(Bilye \text{ ağırlığı}/Bilye \text{ Yoğunluğu})/Değirmen \text{ Hacmi}] * (1/0,6) \quad (7)$$

Jips Doluluk Oranı;

$$f_c = [(Jips \text{ ağırlığı}/Jips \text{ Yoğunluğu})/Değirmen \text{ Hacmi}] * (1/0,6) \quad (8)$$

Niğde bölgesi jipsinin laboratuvar ölçekli konvansiyonel bilyeli değirmende ince /çok ince boyutlara öğütülmesinde çalışma parametreleri olarak; değirmen hızı, bilye doluluk oranı, bilye boyut dağılımı, jips doluluk oranı, öğütme yardımcısı miktarı ve öğütme süresi parametreleri kullanılmıştır. Bu parametrelerin çalışılmasında elde edilen ürünler 0,500-0,300-0,212-0,180 ve 0,106 mm açıklığa sahip elekler kullanılarak kuru ortamda elek analizine tabi tutulmuşlardır. Öğütme deneylerinde poly-acrylic asit ( $CH_2CHCOOH$ )<sub>n</sub> öğütme yardımcısı kullanılmıştır. Parametrelerin irdelenmesinde kümülatif elek altı eğrilerinden ve  $d_{80}$  değerlerinden yararlanılmıştır. Nihai ürünlerin boyut dağılım analizleri, Niğde bölgesinde faaliyet gösteren AYKAL Madencilik A.Ş. firmasına ait Resim 5.5’de verilen kuru ortamda ölçüm yapan SYMPATEC cihazında yapılmıştır. Beyazlık testleri ise Resim 5.6’da verilen ve yine Niğde bölgesinde faaliyet gösteren NİDAŞ firmasına ait Datacolor Elrepho 450x tipi ölçüm cihazında gerçekleştirilmiştir.



**Resim 5.5.** Deneysel çalışmalarda kullanılan Sympatec cihazı



**Resim 5.6** Deneysel çalışmalarda kullanılan Datacolor Elrepho 450 cihazı

Söz konusu çalışmada nihai ürünlerin boyut dağılım özelliklerinin belirlenmesi ile birlikte Diklik faktörü olarak da bilinen SF değerinden de yararlanılmıştır. OMYA (2007) firması tarafından son yıllarda geliştirilen ve “Diklik faktörü” (Steepness Factor, SF) olarak belirtilen ürünün eş-boyutlu tane oranıdır. Bu ise  $d_{50}$  ve  $d_{20}$  arasındaki orana karşılık gelmektedir.

$$SF=d_{50}/d_{20} \quad (9)$$

Burada;

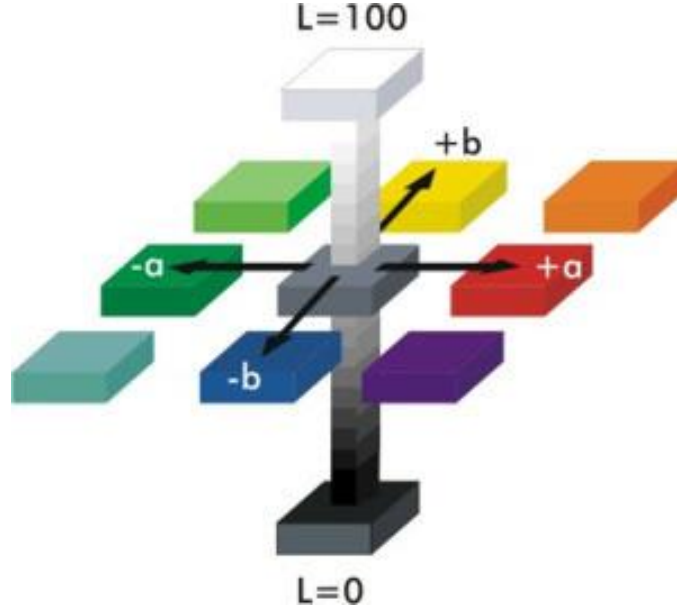
$SF \geq 2$  yatay olarak tanımlanırken

$SF \leq 2$  dik olarak kabul edilmektedir.

Boyut dağılım eğrisinin eğimi yataya yakın olduğundan malzeme geniş bir aralıkta tane içeriyor demektir (Toraman ve ark.,2009).

Nihai ürünlerin özelliklerinin ortaya konulmasında renk parametrelerinden de yararlanılmıştır. Günümüzde hemen hemen tüm modern renk ölçümü, renk spesifikasyonu, CIE (Uluslararası Aydınlatma Komisyonu'nun) sistemine dayanmaktadır. Bu sistem, 1931'de oluşturulmuş olup, buna rağmen temel yapı ve prensiplerde değişiklik yapılmaksızın bu tarihten itibaren yeni eklemeler ve düzeltmeler yapılmıştır. CIE sistemi, renk algılama teorilerinden ziyade deneysel gözlemlere dayanmaktadır. Renk ölçümünde, ışık kaynağı, gözlemci ve yüzey daima göz önünde tutulmalıdır (McDonald, 1997). X, Y ve Z tristimulus değerleri, rengi sayısal olarak ifade edebilmekle birlikte renk hakkında bilgi vermemektedir. Rengin daha kolaylıkla anlaşılabilir bir tanımını yapmak üzere 1976 yılında CIE, X, Y ve Z tristimulus değerlerinden hesaplanan  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  şeklindeki üç koordinatı bulunan ve CIELab sistemi olarak adlandırılan bir sistemi tanımlamıştır. Bu parametrelerdeki “\*” işareti, daha önce geliştirilmiş farklı renk sistemlerindeki benzer formüllerden CIE formüllerini ayırt edebilmek için kullanılmaktadır (Yeşil, 2010).  $CIE L^*a^*b^*$  renk sisteminde; renklerdeki farklılıklar ve bunların yerleri  $L^*, a^*, b^*$  renk koordinatlarına göre tespit edilmektedir. Burada,  $L^*$  siyah-beyaz (siyah için  $L^*=0$ , beyaz için  $L^*=100$ ) ekseninde,  $a^*$  kırmızı-yeşil (pozitif değeri kırmızı, negatif değeri yeşil) ekseninde,  $b^*$  ise sarı-mavi

(pozitif değeri sarı, negatif değeri mavi) ekseninde yer almaktadır (Oliver ve ark., 1992; McGuire, 1992).  $CIE L^*a^*b^*$  renk alanı Şekil 5.3’de gösterilmiştir.



Şekil 5.3.  $CIE L^*a^*b^*$  renk düzlemi (Özcan, 2008)

Renk farklılığı ( $\Delta E$ ) değeri ise renk ölçümünde renk kalitesinin kantitatif olarak değerlendirilmesi için kullanılan tek yöntemdir. Bu nedenle renk farklılığı değerlerinin yorumlanması için bazı limit değerleri vardır. Bu limit değerleri için herhangi bir uluslararası standart yoktur. Bu değerleri belirlemede etken, üreticinin kalite politikası ve müşteri ile üreticiler arasındaki ikili anlaşmalardır (Öner ve Acar, 2006). Kısaca  $\Delta E^*$ , iki renk arasındaki farkın ölçümüdür.  $CIE L^*a^*b^*$  renk düzleminde bulunan iki rengin (düzlemdeki iki noktanın) koordinatları arasındaki uzaklıktır.  $\Delta E$  ne kadar büyükse karşılaştırılan renklerin arasındaki fark da o kadar fazladır.  $CIE L^*a^*b^*$  sistemine göre, iki renk arasındaki renk farkı veya uzaklık,

$$\Delta E = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (10)$$

$\Delta E$ : Toplam renk farkı

$\Delta L^*$ :  $L^*_{numune} - L^*_{referans}$

$\Delta a^*$ :  $a^*_{numune} - a^*_{referans}$

$$\Delta b^*: b^*_{\text{numune}} - b^*_{\text{referans}}$$

formülüne (Eşitlik 10) göre hesaplanmaktadır (Özcan, 2008). Toplam renk farklılığının değerlendirilmesinde Joiner (2008) tarafından bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Bu yaklaşıma göre  $\Delta E$  değerinin 0,5-1,0 arasında olması hissedilebilir bir renk farklılığının söz konusu olduğu şeklinde yorumlanabilmektedir. Renk ölçüm parametre değerleri kullanılarak elde edilen renk farklılıklarının  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  ve  $\Delta b^*$  şeklinde üç bileşene ayrılmasına rağmen,  $\Delta L^*$  değeri daha önemli bir yer tutmakta olup bu değer pozitif olması numunenin referans numuneden daha açık olduğunu, negatif olması ise daha koyu olduğunu göstermektedir (Yeşil, 2010).

## BÖLÜM VI

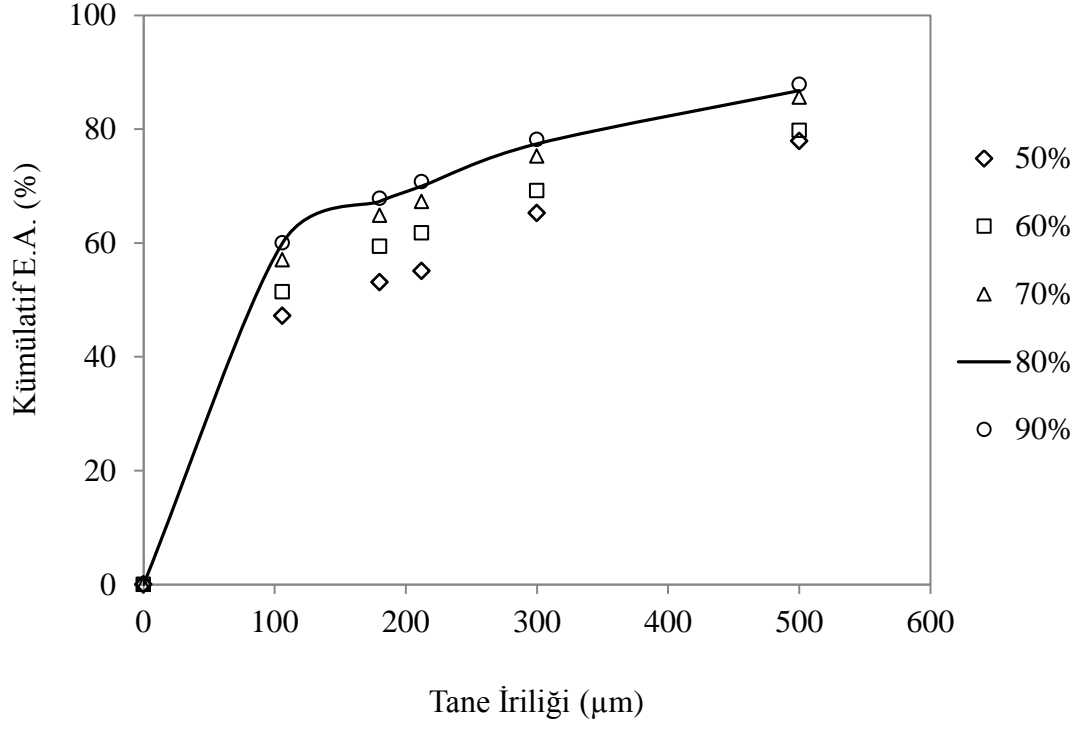
### BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 6.1 Değirmen Hızının Etkisi

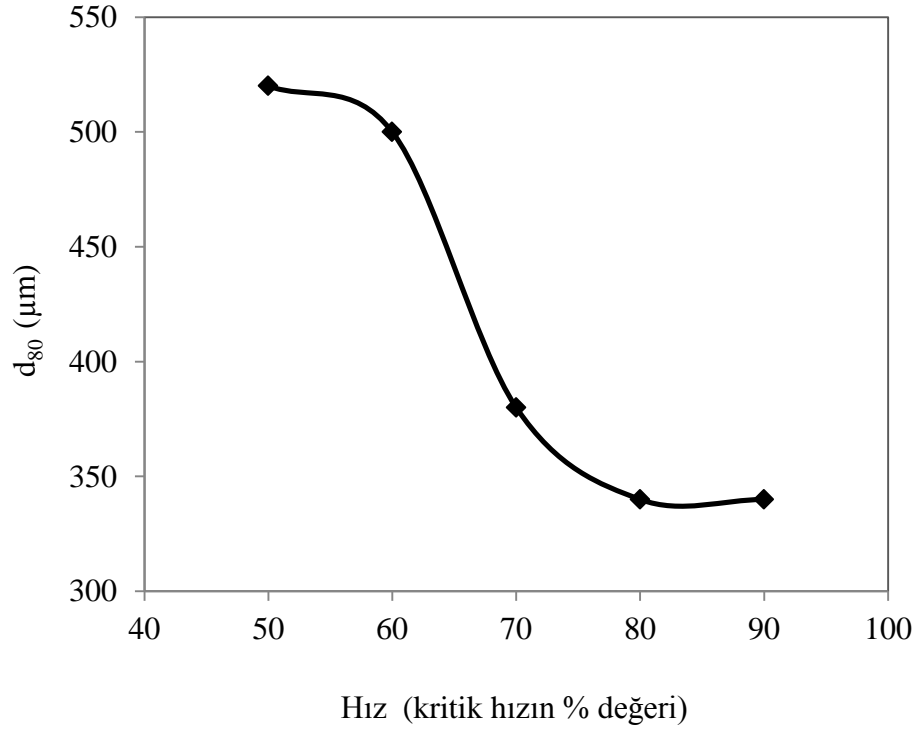
Öğütme proseslerinde değirmen hızı, kritik hızın belli bir oranı kullanılarak belirlenmektedir. Düşük oranlarda kaskat etki altında yüksek oranlarda ise katarak etki altında öğütme meydana gelmektedir. Öğütmede gerek enerji tüketimi gerekse istenilen tane iriliğine ulaşılmada optimize edilmesi gereken en önemli parametreler arasında değirmen hızı da yer almaktadır. Jipsin öğütülmesinde ise söz konusu bu parametrenin çalışılması Çizelge 6.1’de verilen şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu parametreye ait deneyler kritik hızın %50, 60,70, 80 ve 90’ı kullanılarak yapılmıştır. Jipsin öğütülmesinde kaskat ve katarak etkinin görülmesi amacıyla bu düşük ve yüksek hızlar seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise kümülatif elek altı (%) eğrisi olarak Şekil 6.1’de,  $d_{80}$  değerleri olarak ise Şekil 6.2’de verilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde en iyi sonucun kritik hızın %80 ve %90 değerlerinde elde edildiği görülmektedir. Her iki hızda çalışma neticesinde elde edilen ürünlerin  $d_{80}$  değerleri 340 mikron olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle, optimum değirmen hızı olarak kritik hızın %80’i olan 85 dev/dak. en ideal değer olarak belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar aynı zamanda katarak etkinin, jipsin ince boyutlara öğütülmesinde daha etkili olduğunu da göstermiştir.

**Çizelge 6.1.** Hız parametresinin çalışma şartları

<b>Değişken</b>	<b>Değer</b>
Hız (Kritik Hızın, %'si)	50-60-70-80-90
Bilye Doluluk Oranı ( $J_b$ )	0,25
Bilye Boyut Dağılımı (%) ( 2-3-4 cm)	30-40-30
Jips Doluluk Oranı ( $f_c$ )	0,10
Öğütme Yardımcısı Miktarı (%)	0,0
Öğütme Süresi (dak.)	5,0



Şekil 6.1. Farklı değirmen hızlarının kümülatif elek altı eğrileri



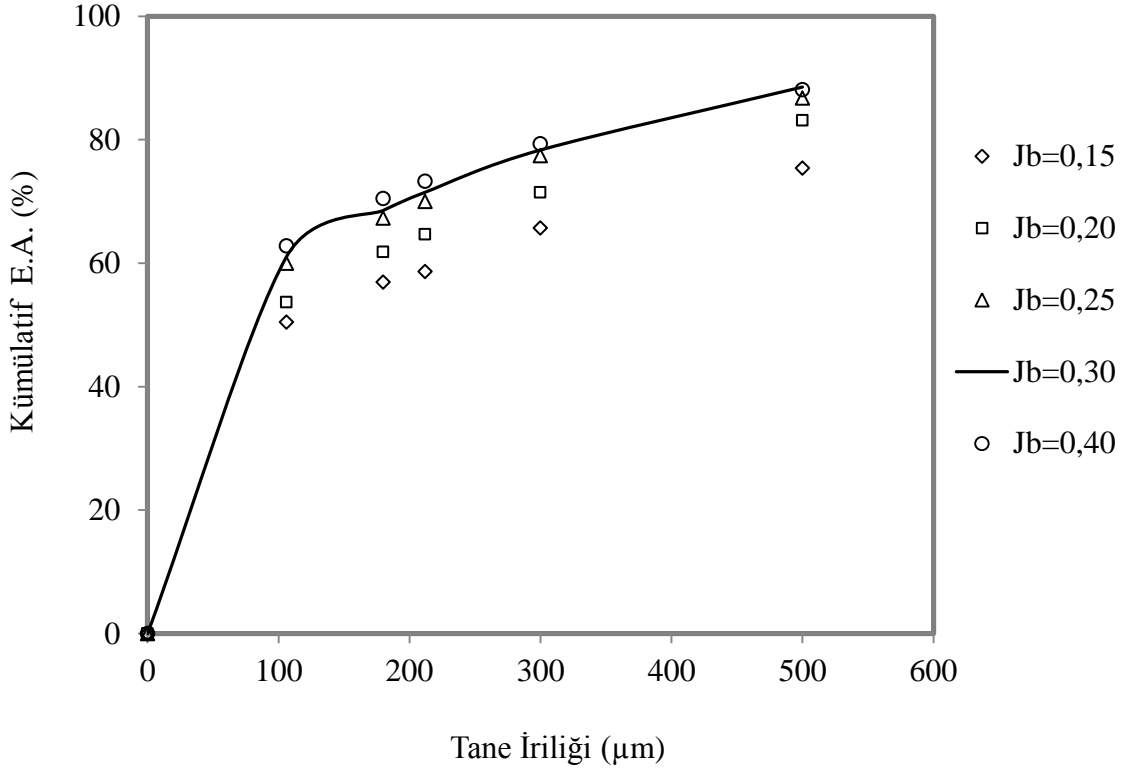
Şekil 6.2. Çalışılan değirmen hızlarına ait  $d_{80}$  değerleri

## 6.2 Bilye Doluluk Oranının ( $J_b$ ) Etkisi

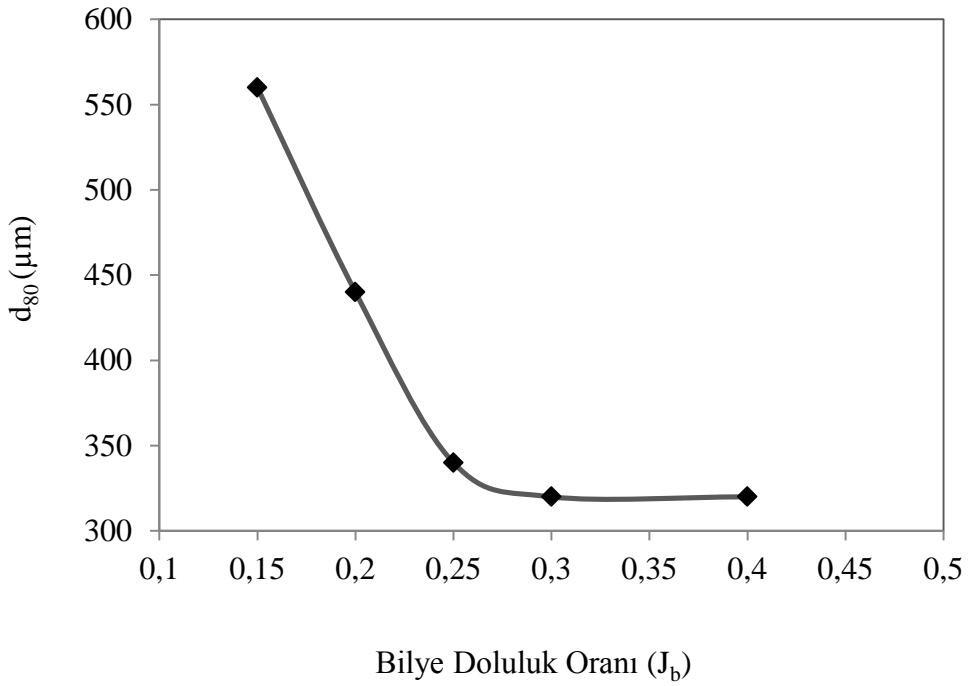
Endüstriyel öğütme işlemlerinde genel olarak değirmen hacminin maksimum %45'ine kadar farklı oranlar kullanılarak öğütme yapılmaktadır. Bu oran özellikle endüstriyel minerallerin mikronize boyutlara öğütülmesinde büyük önem arz etmektedir. Ancak söz konusu mikronize öğütme proseslerinde genellikle çimento sektörü baz alınmaktadır. Bu durum ise cevher çeşidi değiştikçe sıkıntıları beraberinde getirmektedir. Bu nedenle bilye doluluk oranının her bir endüstriyel mineral için ayrı ayrı optimize edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bilye doluluk oranının jipsin öğütülmesine etkisinin araştırılması için yapılan deneysel çalışmalarda Çizelge 6.2'de verilen parametreler ve değerleri kullanılmıştır. Bu çalışmada 0,15 gibi düşük bilye doluluk oranından başlanmasının nedeni jipsin en düşük sertliğe sahip minerallerden olması nedeni ile daha ekonomik öğütmenin olup olmayacağı araştırılmasıdır. Söz konusu parametrede 0,15 ile 0,40 arası doluluk oranları kullanılmıştır. Elde edilen deney sonuçları ise Şekil 6.3 ve 6.4'de verilmiştir. Şekillerden anlaşıldığı üzere,  $d_{80}$  bazında 320 mikron ile en iyi sonuç,  $J_b=0,30$  ve 0,40 doluluk oranlarında elde edilmektedir. Bilindiği üzere öğütme proseslerinde bilye yükünün artması ile birlikte harcanan enerjide artış görülmektedir. Bu nedenle, çalışılan bu parametre için en iyi değer olarak  $J_b=0,30$  belirlenmiştir.

**Çizelge 6.2.** Bilye doluluk oranı parametresinin çalışma şartları

<b>Değişken</b>	<b>Değer</b>
Hız (Kritik Hızın, %)	80
Bilye Doluluk Oranı ( $J_b$ )	0,15-0,20-0,25-0,30-0,40
Bilye Boyut Dağılımı (%) ( 2-3-4 cm)	30-40-30
Jips Doluluk Oranı ( $f_c$ )	0,10
Öğütme Yardımcısı Miktarı (%)	0
Öğütme Süresi (dak.)	5



Şekil 6.3. Bilye doluluk oranlarına (J<sub>b</sub>) ait kümülatif elek altı eğrileri



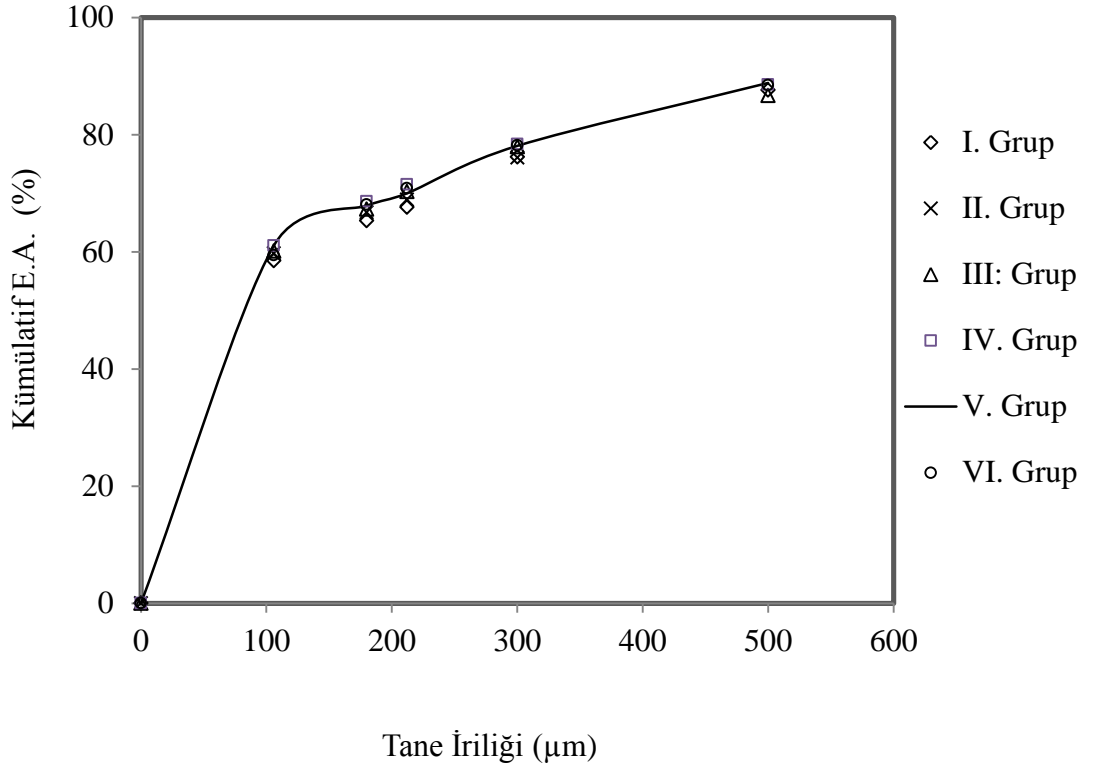
Şekil 6.4. Çalışılan bilye doluluk oranlarına ait d<sub>80</sub> değerleri

### 6.3 Bilye Boyut Dağılım Oranının Etkisi

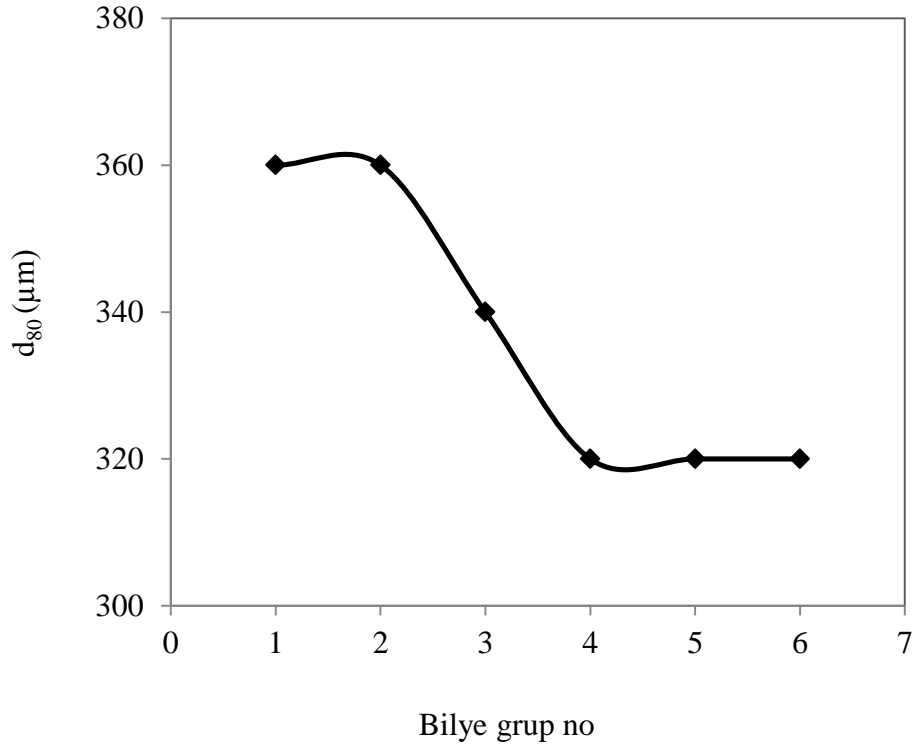
Bilindiği üzere endüstriyel ölçekte öğütme işlemleri tamamı tek çaplı bilye ile yapılmaktan ziyade farklı çaplarda ve oranlarda bilyelerin karışımı kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Bunun öğütmeye etkisinin araştırılması özellikle mikronize öğütme tesislerinde önem arz etmektedir. Bilye boyut dağılımının etkisinin jipsin ince/çok ince boyutlara öğütülmesinde etkisinin görülmesi amacı ile Çizelge 6.3’de verilen çalışma şartları kullanılmıştır. Bu kapsamda bilye boyut dağılımı 2, 3 ve 4 cm bilyeler için % olarak sırasıyla; 1. grup: 0-50-50; 2. grup: 50-0-50; 3. grup: 50-50-0; 4. grup: 30-40-30; 5. grup: 20-60-20 ve 6. grup: 10-80-10 değerlerinde çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.5 ve 6.6’da kümülatif elek altı eğrileri ve  $d_{80}$  değerleri bazında ayrı ayrı verilmiştir. İlk iki grup için  $d_{80}$  bazında aynı sonuç (360 mikron) elde edilirken bu değer üçüncü grup ile birlikte düşmeye başlamış ve son üç grup için aynı değere ( $d_{80}=320$  mikron) ulaşılmıştır. Çizilen şekiller incelendiğinde bilye dağılım oranının jipsin mikronize öğütülmesinde büyük rol oynamadığı açıkça görülmektedir. Bu parametre için en iyi sonucun elde edildiği son üç gruptan %20-60-20 bilye dağılım oranı sonraki parametrelerin çalışılması için tercih edilmiştir.

**Çizelge 6.3.** Bilye boyut dağılım oranı parametresinin çalışma şartları

Değişken	Değer
Hız (Kritik Hızın, %)	80
Bilye Doluluk Oranı ( $J_b$ )	0,30
Bilye Boyut Dağılımı (%) ( 2-3-4 cm)	I. Grup:0-50-50 II. Grup:50-0-50 III. Grup:50-50-0 IV. Grup:30-40-30 V. Grup:20-60-20 VI. Grup:10-80-10
Jips Doluluk Oranı ( $f_c$ )	0,10
Öğütme Yardımcısı Miktarı (%)	0
Öğütme Süresi (dak.)	5



Şekil 6.5. Bilye boyut dağılımı oranının kümülatif elek altı eğrileri



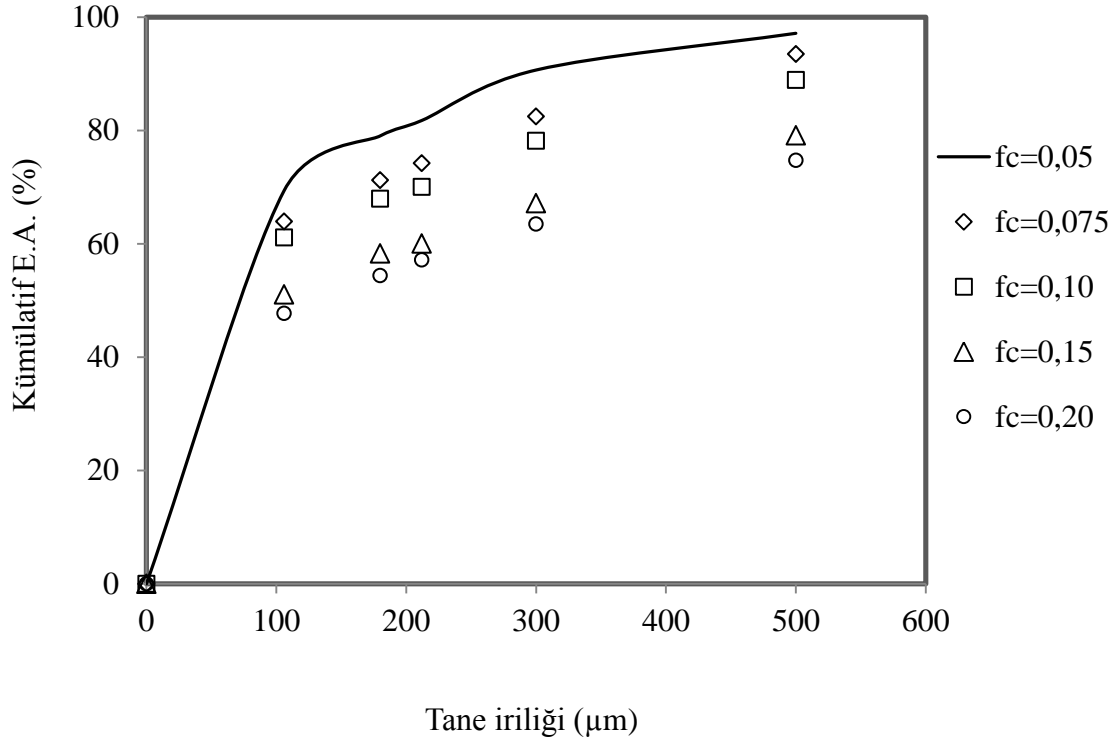
Şekil 6.6. Bilye boyut dağılımı oranının d<sub>80</sub> değerleri

#### 6.4 Jips Doluluk Oranının ( $f_c$ ) Etkisi

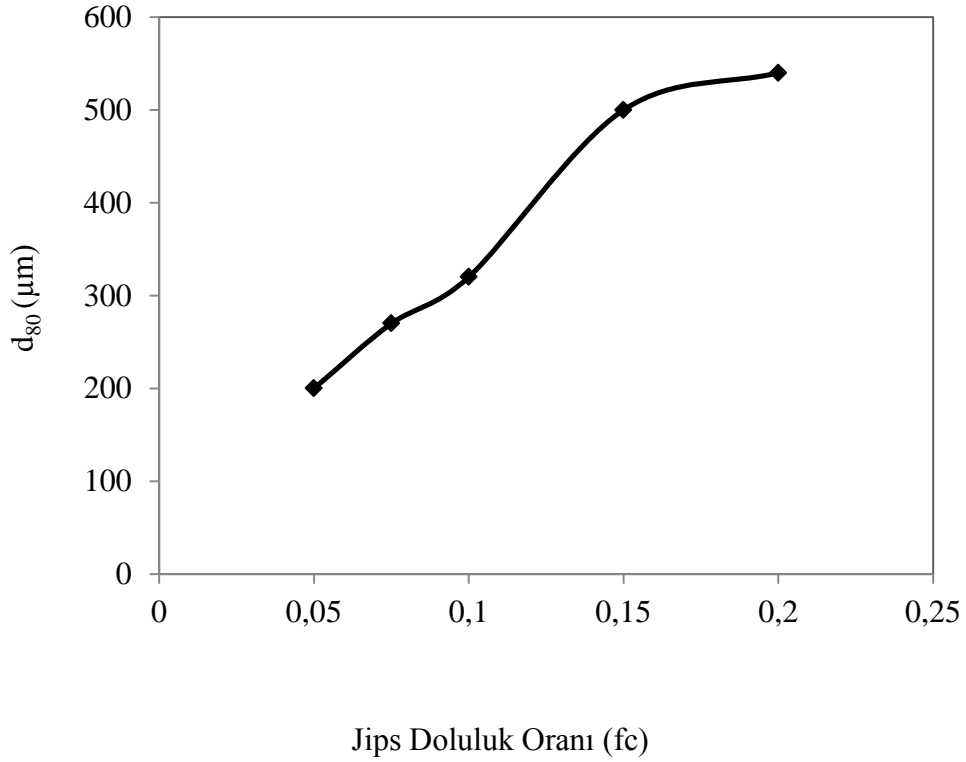
Mikronize öğütme proseslerinde bilinmesi gereken ve saatlik kapasitenin belirlenmesinde ayrı bir öneme sahip malzeme doluluk oranının optimize edilmesine daima ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada malzeme doluluk oranının etkisinin araştırılmasında Çizelge 6.4’de verilen çalışma şartları kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan jips doluluk oranları ( $f_c$ ) sırasıyla; 0,05-0,075-0,1-0,15 ve 0,20 olmuştur. Söz konusu doluluk oranlarına ait kümülatif elek altı eğrileri Şekil 6.7’de  $d_{80}$  değerleri ise Şekil 6.8’de sunulmuştur. Her iki şekilde açıkça görüldüğü üzere en iyi sonuç, en düşük doluluk oranında elde edilmiştir. Söz konusu doluluk oranının  $d_{80}$  değeri 200 mikron olarak tespit edilirken bir sonraki en düşük doluluk oranı olan 0,075 için ise bu değer 270 mikrona çıkmıştır. Bu nedenle jips doluluk oranı için optimum değer  $f_c=0,05$  olarak kabul edilmiştir. Optimum malzeme doluluk oranı olarak çalışılan en düşük değer ( $f_c=0,05$ ) tespit edilmesinin başlıca sebebinin, jipsin kristal suyu içermesi nedeni ile değirmen içerisindeki malzeme miktarı arttıkça bilyelere sarmaların ve değirmen cidarına yapışmaların artmasından kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

**Çizelge 6.4.** Jips doluluk oranı parametresinin çalışma şartları

<b>Değişken</b>	<b>Değer</b>
Hız (Kritik Hızın, %)	80
Bilye Doluluk Oranı ( $J_b$ )	0,30
Bilye Boyut Dağılımı (%) (2-3-4 cm)	20-60-20
Jips Doluluk Oranı ( $f_c$ )	0,05-0,075-0,10-0,15-0,20
Öğütme Yardımcısı Miktarı (%)	0
Öğütme Süresi (dak.)	5



Şekil 6.7. Jips doluluk oranlarına ait kümülatif elek altı eğrileri



Şekil 6.8. Jips doluluk oranlarına ait d<sub>80</sub> değerleri

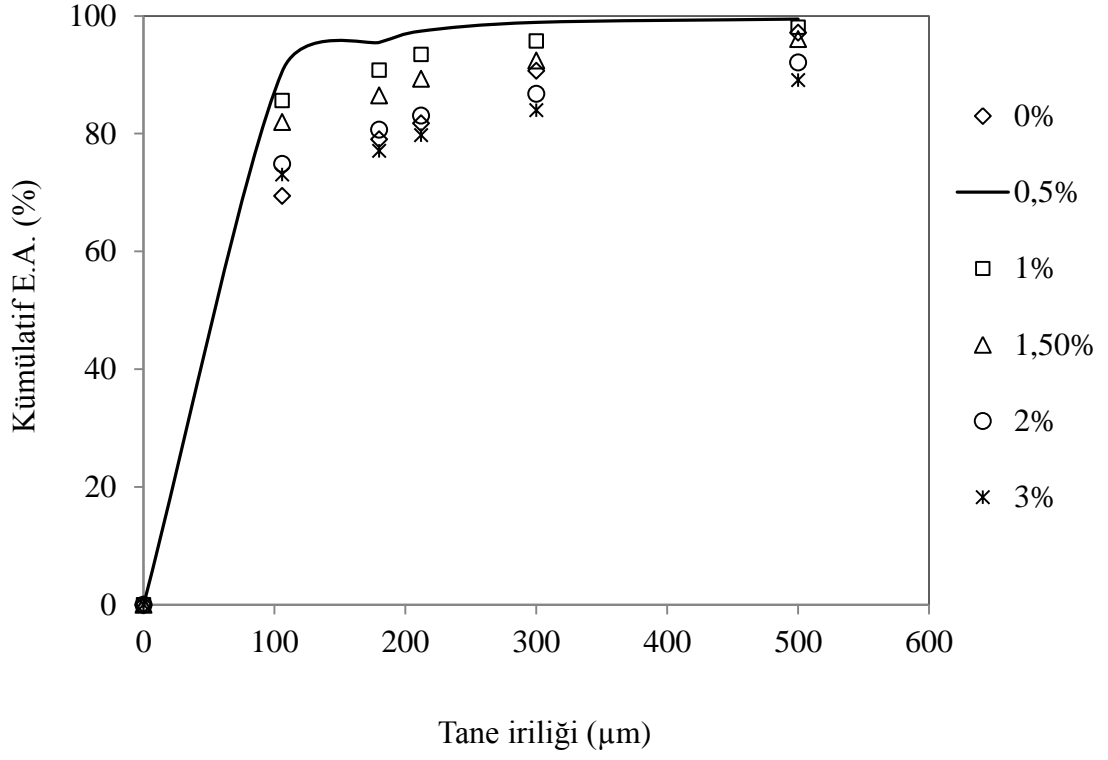
## 6.5 Öğütme Yardımcısının Etkisi

Öğütme yardımcılarının rolü mikronize öğütme proseslerinde çok daha önemli hale gelmiş durumdadır. Zira bilindiği üzere malzeme boyutu incelidikçe topaklanma probleminin artması kaçınılmaz hale gelmektedir. Bu durum başta öğütme işlemine zarar verirken en önemlisi ise seperatörlerde gerçek manada istenilen boyutta sınıflandırma yapılamamaktadır. Bu problemlerin aşılmasında öğütücü yardımcısı olarak isimlendirilen yüzey aktif maddeler kullanılmaktadır. Günümüzde bunların kullanım oranının her bir endüstriyel mineral için ayrı optimize edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Tez kapsamında poly-acrylic asit (CH<sub>2</sub>CHCOOH)<sub>n</sub> öğütme yardımcısı kullanılmıştır. Söz konusu deneysel çalışmalarda kullanılan öğütücü yardımcısı öğütmeye tabi tutulan jips miktarının %0-0,5-1,0-1,50-2,0 ve 3,0 oranlarında kullanılmıştır. Söz konusu parametrenin etkisinin araştırılması amacıyla yapılan deneysel çalışmalarda Çizelge 6.5’de verilen şartlar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise kümülatif elek altı ve d<sub>80</sub> değeri bazında her bir öğütme yardımcısı oranı için Şekil 6.9 ve 6.10’da verilmiştir. Her iki şekilde en iyi sonucun %0,5 öğütme yardımcısı oranında elde edildiğini göstermektedir. Söz konusu orana ait d<sub>80</sub> değeri ise 90 mikron olarak tespit edilmiştir.

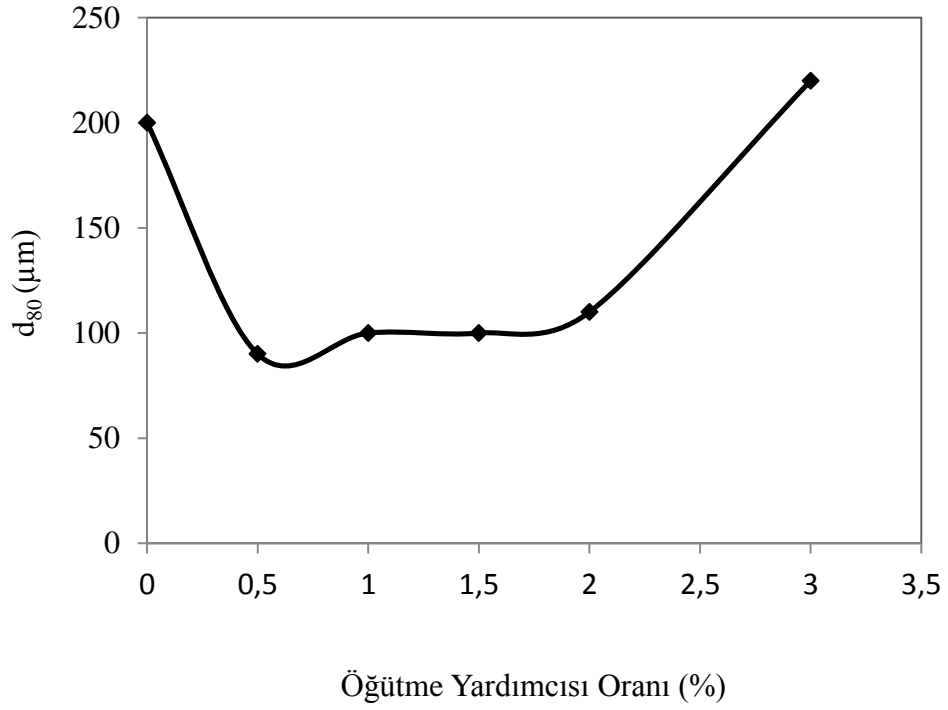
Şekil 6.10 incelendiğinde ilginç verilerin elde edildiği görülmektedir. Zira öğütme yardımcısı oranı %0’dan %0,5 yükseldiğinde çok yüksek bir oranda malzeme incelmesi söz konusu olurken öğütücü yardımcısı oranının %1 ve sonrasına yükselmesi ile öğütme verimi hızla düşüş göstermektedir.

**Çizelge 6.5.** Öğütme yardımcısı oranı parametresinin çalışma şartları

Değişken	Değer
Hız (Kritik Hızın, %)	80
Bilye Doluluk Oranı (J <sub>b</sub> )	0,30
Bilye Boyut Dağılımı (%) (2-3-4 cm)	20-60-20
Jips Doluluk Oranı (f <sub>c</sub> )	0,05
Öğütme Yardımcısı Miktarı (%)	0-0,5-1,0-1,5-2,0-3,0
Öğütme Süresi (dak.)	5



Şekil 6.9. Öğütme yardımcısı miktarına ait kümülatif elek altı eğrileri



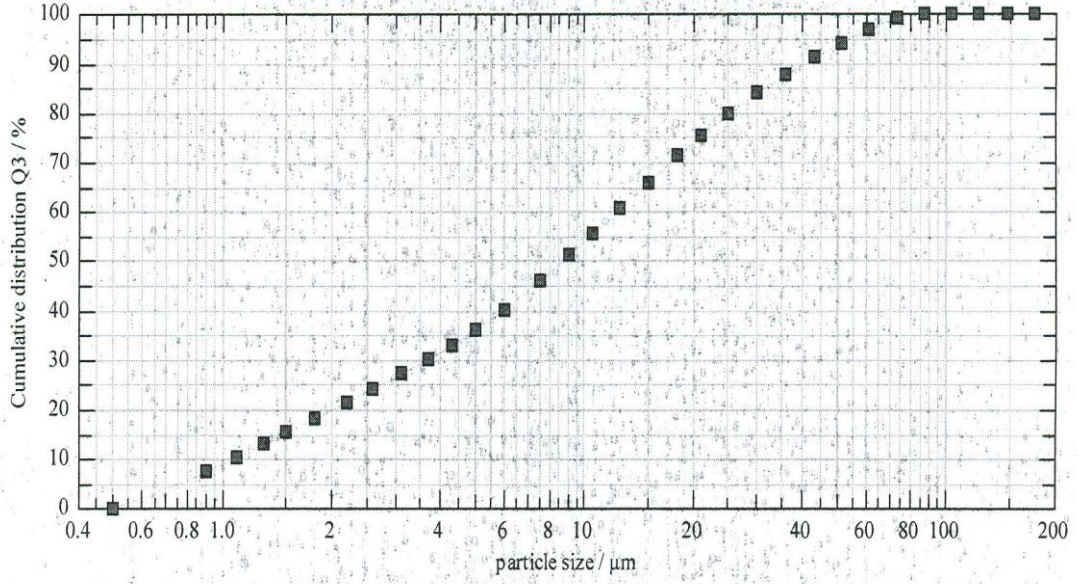
Şekil 6.10. Öğütme yardımcısı oranlarına ait d<sub>80</sub> değerleri

## 6.6 Öğütme Süresinin Etkisi

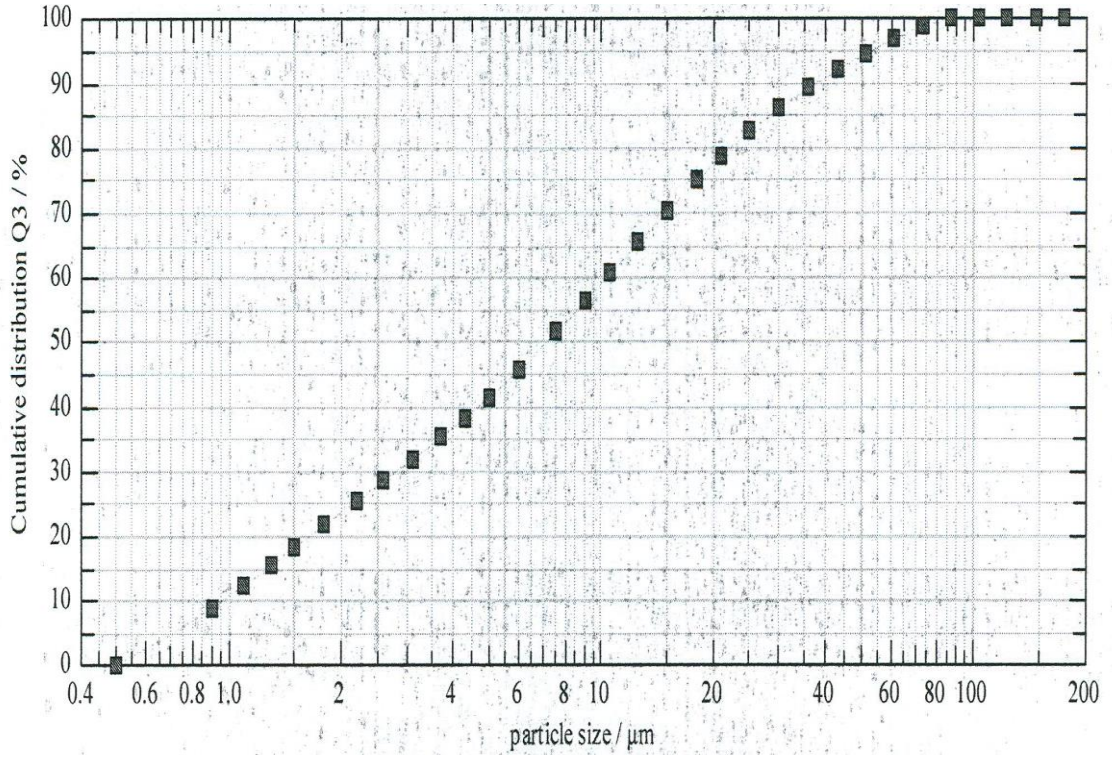
Bu parametrenin çalışılması, aşağıda verilen ve optimize edilen beş parametre değeri (Çizelge 6.6) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda öğütme süresi olarak sırasıyla 5-10-15-20 ve 30 dakika kullanılmıştır. Ürünlerin tane boyut dağılım özellikleri SYMPATEC cihazında kuru ölçümler yapılarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar ise Şekil 6.11-6.15’de verilmiştir. Şekil 6.16’da ise öğütme sürelerine ait  $d_{80}$  değerleri verilmiştir. Söz konusu son şekilden anlaşıldığı üzere öğütme süresi ile tane iriliği arasında lineer bir azalma ilişkisi görülmektedir.

Çizelge 6.6. Öğütme süresi parametresinin çalışma şartları

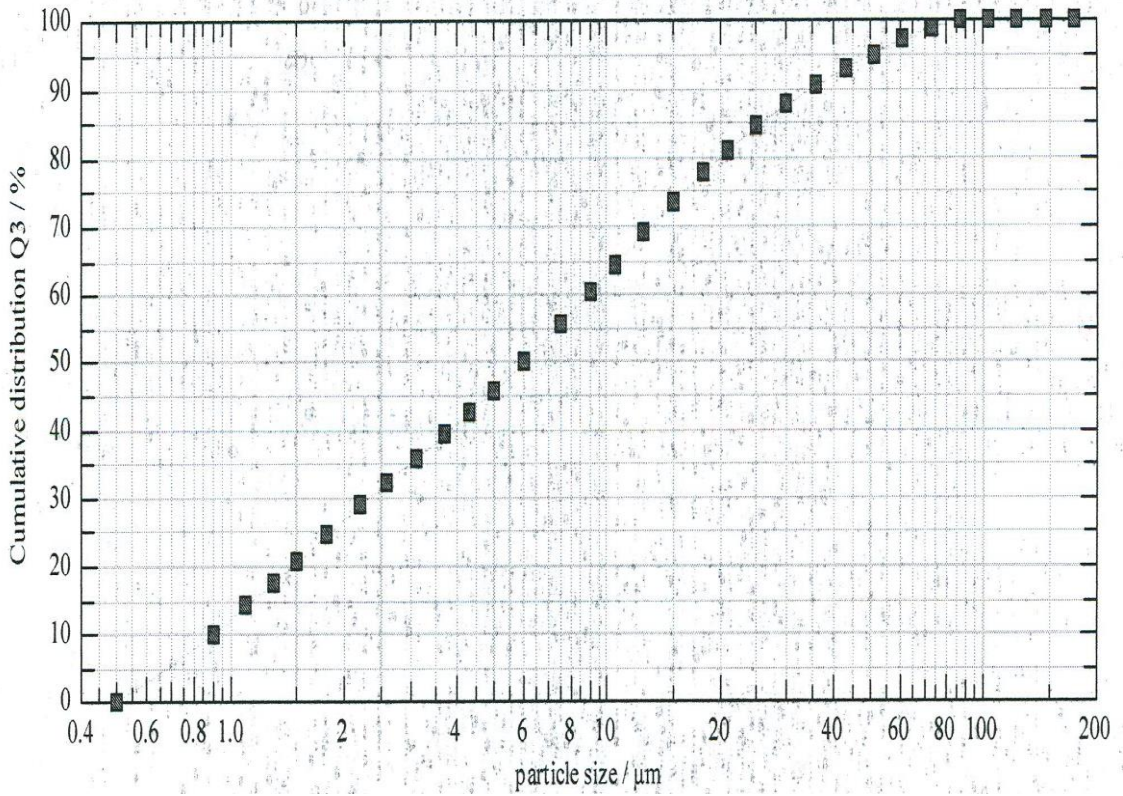
Değişken	Değer
Hız (Kritik Hızın, %)	80
Bilye Doluluk Oranı ( $J_b$ )	0,30
Bilye Boyut Dağılımı (%) (2-3-4 cm)	20-60-20
Kalsit Doluluk Oranı ( $f_c$ )	0,05
Öğütme Yardımcısı Miktarı (%)	0,5
Öğütme Süresi (dak.)	5-10-15-20-30



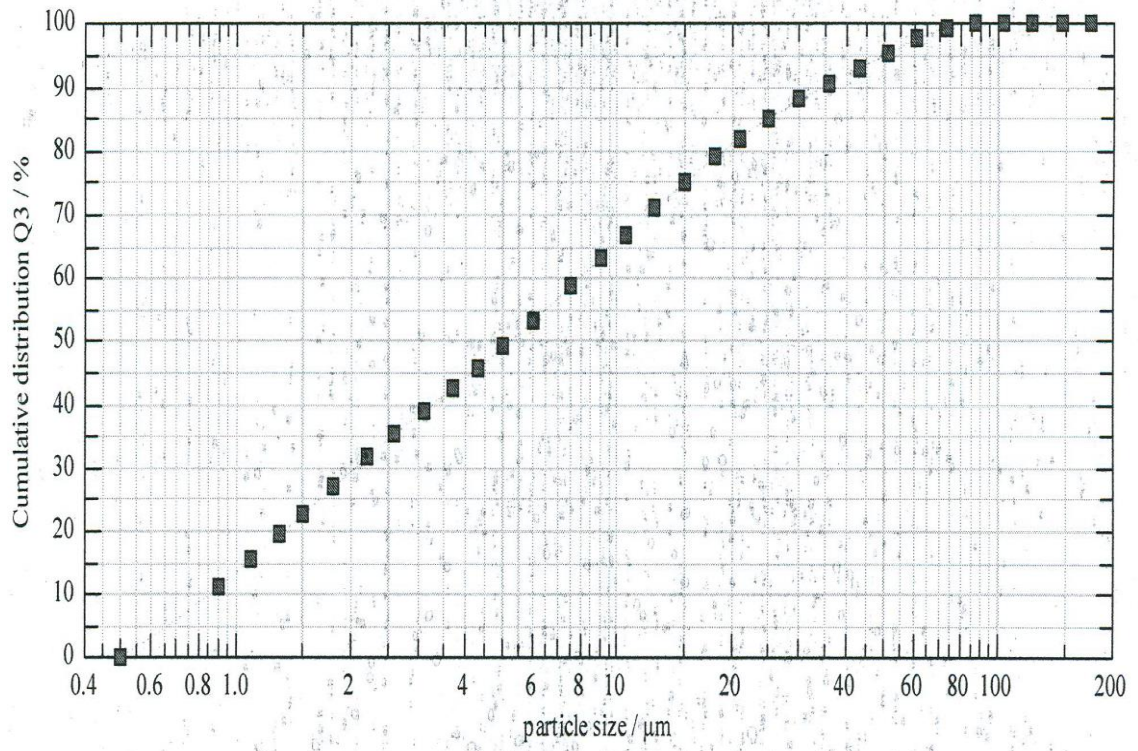
Şekil 6.11. 5 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı



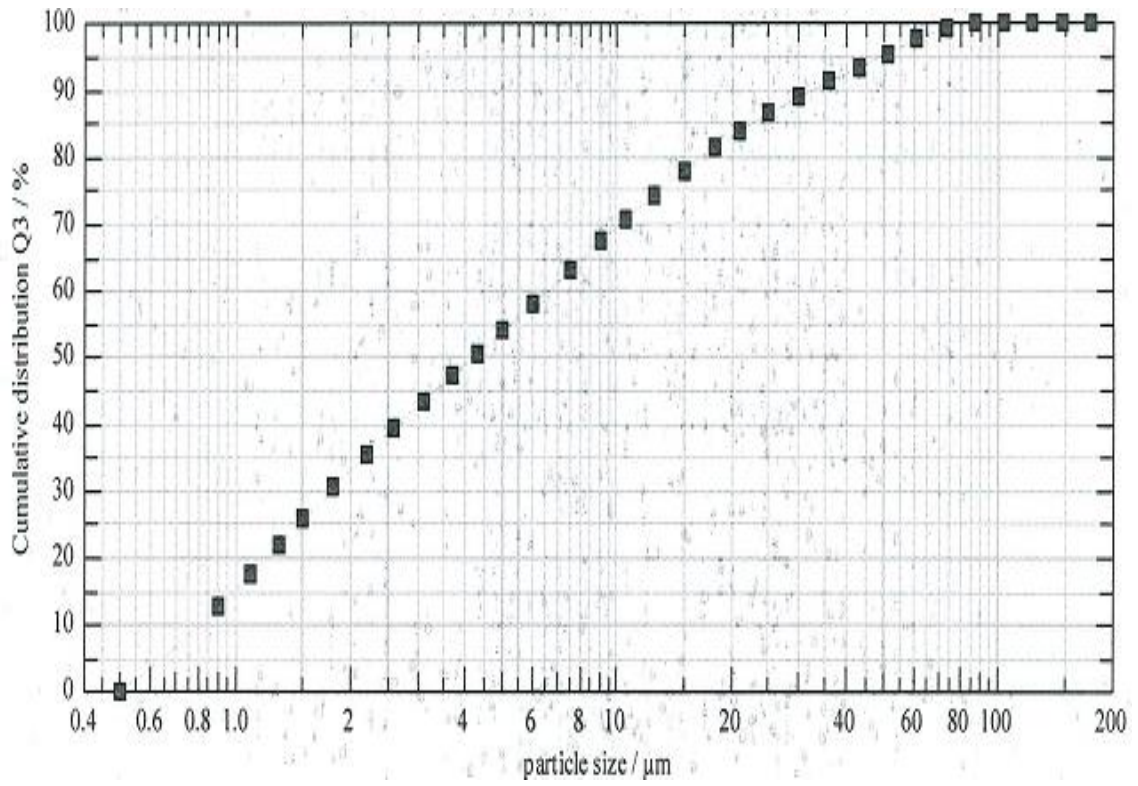
Şekil 6.12. 10 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı



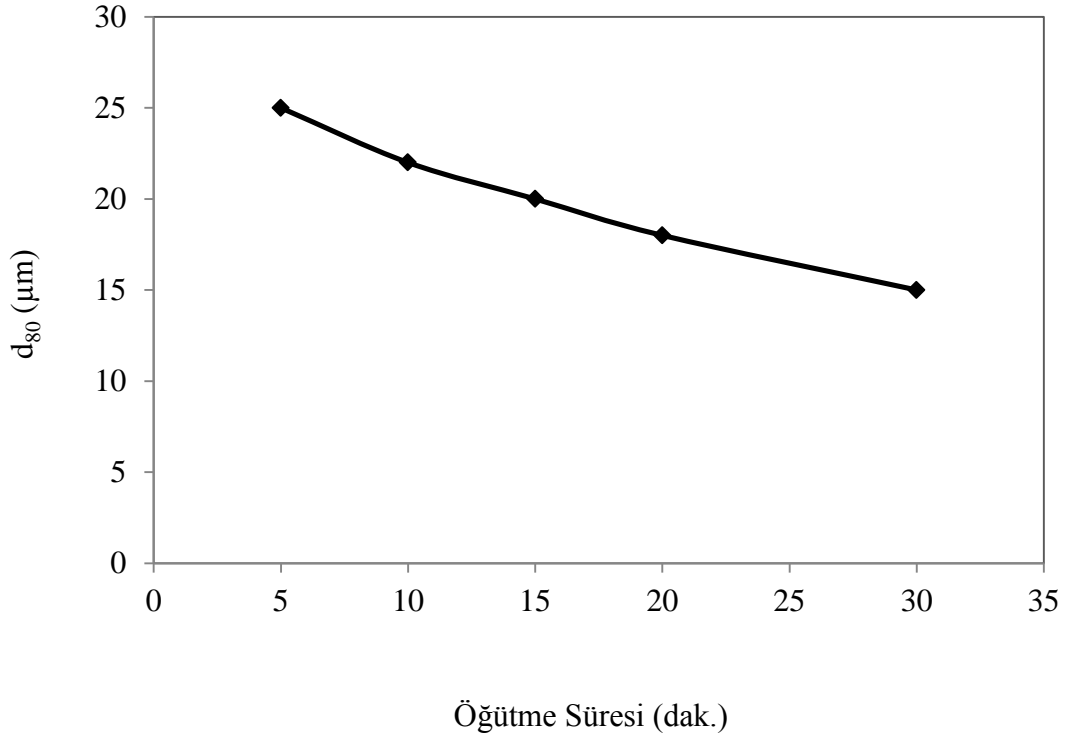
Şekil 6.13. 15 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı



Şekil 6.14 20 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı



Şekil 6.15. 30 dakika öğütme ürünü tane irilik dağılımı



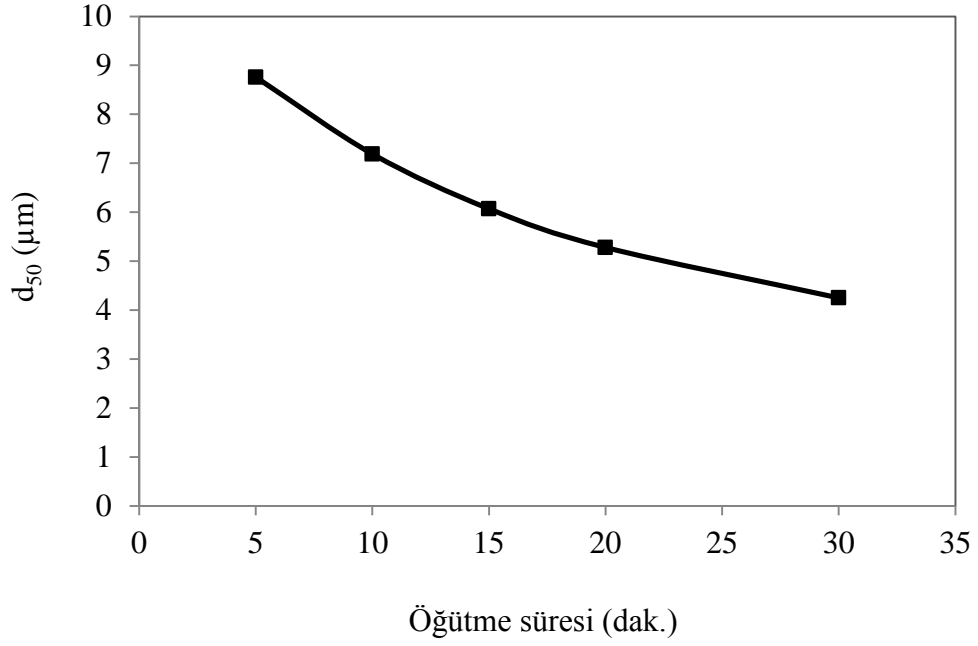
**Şekil 6.16.** Öğütme sürelerine ait  $d_{80}$  değerleri

### 6.7 Mikronize Jips Ürünlerinin Özellikleri

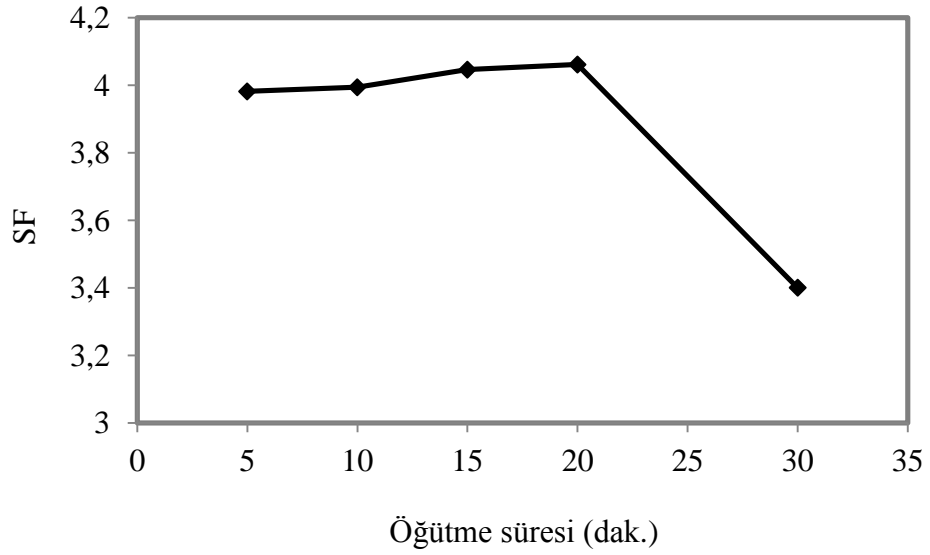
Mikronize öğütme çalışmalarından elde edilen ürünlerin tane irilikleri çoğunlukla  $d_{50}$  değerleri ile tanımlanmaktadır. Bu çalışmada da bu değer baz alınmıştır. Şekil 6.17’de beş farklı öğütme süresi sonrası elde edilen mikronize jips ürünlerine ait  $d_{50}$  değerleri verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı üzere öğütme süresi arttıkça malzemedeki boyut küçülmesi lineere yakın bir şekilde azalmaktadır. Söz konusu bu ürünlerin  $d_{50}$  değerleri ise sırası ile 8,76-7,19-6,07-5,28 ve 4,25 mikron olarak tespit edilmiştir.

Mikronize ürünlerde önemli özelliklerden bir tanesi de boyut dağılımının bir göstergesi olan ve diklik faktörü (steepness factor) olarak bilinen SF değeridir. Bu nedenle elde edilen beş ürün için SF değerleri de hesaplanarak Şekil 6.18’de verilmiştir. Şekil incelendiğinde, 5, 10 ve 15 dakika öğütme süreleri için çok büyük değişiklikler söz konusu olmaz iken 20 dakika öğütmede kısmi bir artış eğilimi izlenmesinin ardından 30

dakika öğütülerek elde edilen mikronize jips ürünün SF değeri 3,40 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.17.** Mikronize jips ürünlerine ait d<sub>50</sub> değerleri



**Şekil 6.18.** Öğütme sürelerine ait SF değerleri

Sympatec tane irilik dağılımı ölçüm cihazından alınan raporlardan beş farklı mikronize jips ürününe ait toplam yüzey alan değerleri de elde edilmiştir (Çizelge 6.7). Beklendiği

üzere öğütme süresi arttıkça yani tane iriliği küçüldükçe ürünlerin toplam yüzey alanları da buna paralel artış göstermiştir.

**Çizelge 6.7.** Mikronize jips ürününe ait toplam yüzey alan değerleri

Öğütme Süresi (dak.)	Toplam Yüzey Alanı (cm <sup>2</sup> /g)
5	7365,14
10	8395,46
15	9218,46
20	9905,87
30	10855,01

Endüstriyel mikronize ürünlerinin hemen hemen hepsinde en önemli kalite parametrelerinin başında beyazlık derecesi gelmektedir. Bu nedenle mikronize jipsin de kullanım alanları itibarı ile renk parametrelerinin belirli bir düzeyde olması beklenmektedir. Bu sebeple laboratuvar ortamında farklı öğütme süreleri kullanılarak elde edilen mikronize jips ürünlerinin L\*,a\* ve b\* değerleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 6.8’de verilmiştir. Buradan hesaplanan toplam renk farklılığı sonuçları da yine aynı çizelgede sunulmuştur. Bu renk farkının hesaplanmasında besleme malının L\*,a\* ve b\* değerleri referans olarak alınmıştır.

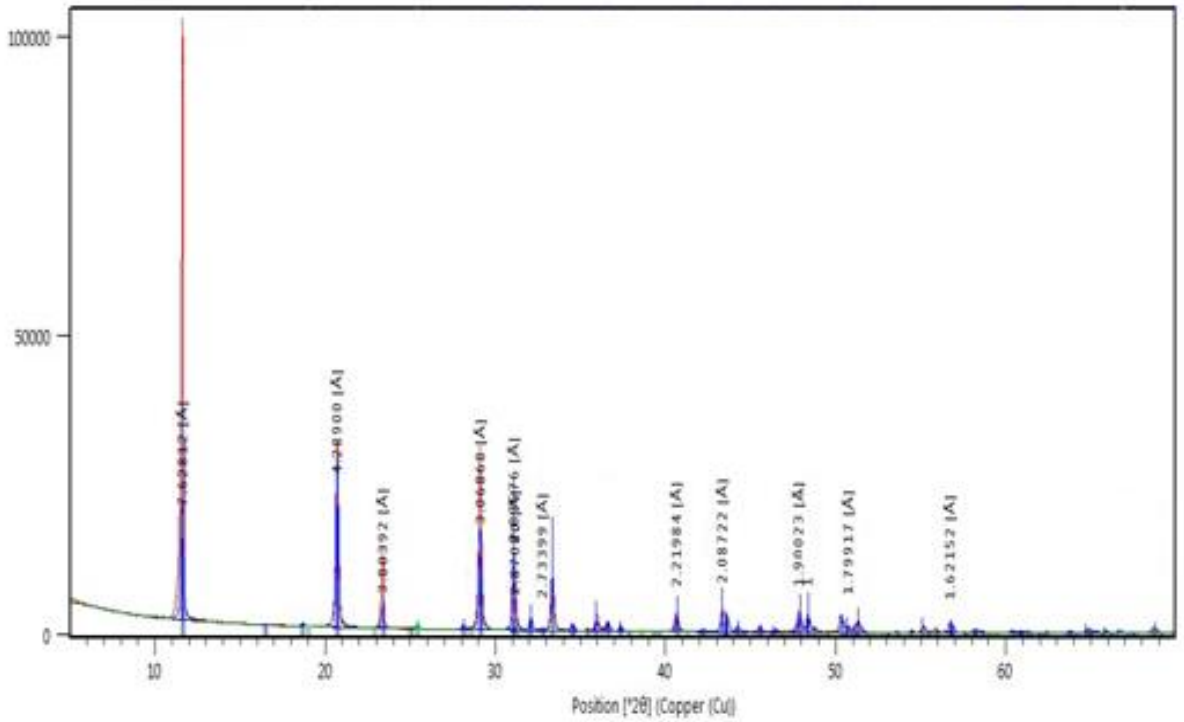
**Çizelge 6.8.** Besleme malı ve öğütme süresine bağlı olarak elde edilen mikronize jips ürünlerinin renk parametre değerleri ve toplam renk farkı

Öğütme Süresi (dak.)	L*	a*	b*	ΔE
Besleme Malı (-2 mm)	95,75	0,38	2,51	0,00
5	96,84	0,16	2,14	1,17
10	97,24	0,16	1,90	1,63
15	97,27	0,16	1,83	1,68
20	97,31	0,2	1,84	1,70
30	97,38	0,19	1,83	1,78

Söz konusu çizelge incelendiğinde beyazlığın göstergesi olan L\* parametresinin öğütme süresi arttıkça yükseldiği ve 30 dakikalık üründe bu değer 95,75’den 97,38’e çıktığı görülmektedir. Bütün öğütme ürünlerine ait ΔL değerlerinin pozitif olması malzemenin

öğütülmesi ile birlikte beyazlık değerinin de arttığı anlamını taşımaktadır. Bununla birlikte  $a^*$  değeri 0,38'den 0,20'ye düşerken,  $L^*$ 'den sonra mikronize ürünlerde en önemli renk parametresi olan ve sarılık değerini gösteren  $b^*$ 'nin ise 2,51 değerinden 1,83 kadar düştüğü anlaşılmaktadır. Toplam renk farklılığı ( $\Delta E$ ) ise, besleme malı ile ürünler arasında öğütme süresi arttıkça yükselmektedir. Joiner (2008) yaklaşımına göre de, kırılmış değirmen besleme malı ile mikronize ürünler arasında hissedilebilir bir renk farklılığı olduğu anlaşılmaktadır.

Deneysel çalışmalarda kullanılan jips cevherinin XRD analizi irdelendiği zaman cevherin %99'dan fazlasının jips mineralinden oluştuğu görülürken, çok az bir oranın ise anhidrit mineralinden oluştuğu tespit edilmiştir. Öğütme sonrası, jips mineralinin anhidrit mineraline dönüşmesinin söz konusu olup olmadığının görülmesi amacı ile en uzun öğütme süresi olan 30 dakikada mikronize jipsin XRD analizi gerçekleştirilerek sonuçlar Şekil 6.19'da verilmiştir. Elde edilen değerlerin besleme malı jips ile karşılaştırılması durumunda cevherin herhangi bir mineralojik değişime uğramadığı açıkça görülmektedir.



Şekil 6.19. 30 dakika öğütme ürünü mikronize jipsin XRD sonuçları

## BÖLÜM VII

### SONUÇLAR

Türkiye'de jips üretimi, özellikle alçı ve mamullerinin kullanımının artması ile birlikte son senelerde hızlı bir şekilde yükselme göstermiştir. Türkiye'de jips üretimi ülkemizin hemen hemen her bölgesinde yapılmakla birlikte Niğde'nin Ulukışla bölgesinde de yoğun tüvenan jips üretimi gerçekleştirilmektedir. Elde edilen cevherin çoğunluğu bu bölgede kurulu alçı fabrikalarında ürüne dönüştürülmektedir. Doğal jips ve ürünleri başta inşaat sektörü olmak üzere, tarımda, boyada, dolgu maddesi olarak kağıt ve pamuklu tekstil ürünlerinde, çimento ve kimya sanayinde ve tıpta kullanılmaktadır. Bu sektörlerde jips cevherinin kullanılabilmesi için belli bir boyuta öğütülmesi gerekmektedir. Buradan hareketle, Niğde Ulukışla bölgesi jips cevherinin konvansiyonel bilyeli değirmende öğütülebilirliği ve ürün özellikleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında, Niğde bölgesi jips cevherinin ince/çok ince boyutlara bilyeli değirmende, kuru ortamda öğütülmesinde optimum çalışma parametreleri olarak; 85 devir/dk değirmen hızı (kritik hızın %80'i), %30 bilye doluluk oranı ( $J_b$ ), 2-3-4 cm bilye için %20, %60, %20 dağılım oranı, 0,05 jips doluluk oranı ( $f_c$ ), %0,5 öğütme yardımcısı miktarı tespit edilmiştir. Jips cevherinin konvansiyonel bilyeli değirmende mikronize öğütülmesinde; hız, jips doluluk oranı ve öğütme yardımcısı parametrelerinin çok etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen optimum parametre değerleri kullanılarak cevher 5, 10, 15, 20 ve 30 dakika öğütülmek sureti ile beş farklı boyut özelliğine sahip mikronize jips ürünleri elde edilmiştir. Söz konusu öğütme süreleri neticesinde mikronize jips ürünlerinin  $d_{50}$  değerleri sırası ile 8,76-7,19-6,07-5,28ve 4,25 mikron olmuştur. Bu ürünlerin SF değerleri ise 3,98-3,99-4,04-4,06 ve 3,40 olarak hesaplanmıştır. İlk dört öğütme süresinde SF değerlerinde büyük farklılıklar oluşmazken 30 dakika öğütülen ürünün bu değerinin bir miktar azaldığı görülmektedir.

Endüstriyel mikronize ürünlerinin hemen hemen hepsinde en önemli kalite parametrelerinin başında beyazlık derecesi gelmektedir. Bu nedenle mikronize jipsin de kullanım alanları itibarı ile renk parametrelerinin belirli bir düzeyde olması beklenmektedir. Bu sebeple laboratuvar ortamında farklı öğütme süreleri kullanılarak elde edilen mikronize jips ürünlerinin  $L^*$ ,  $a^*$  ve  $b^*$  değerleri belirlenmiştir. Söz konusu

değerler incelendiğinde beyazlığın en önemli göstergesi olan  $L^*$  parametresinin öğütme süresi arttıkça yükseldiği ve 30 dakikalık üründe bu değer 97,38'e çıktığı görülmektedir (besleme malı  $L^*$  değeri 95,75'tir). Bütün öğütme ürünlerine ait  $\Delta L$  değerlerinin pozitif olduğu görülmektedir. Bu sonuç, jips cevherinin öğütülmesi ile birlikte beyazlık değerinin de arttığını göstermektedir. Bununla birlikte  $L^*$ 'den sonra en önemli renk parametresi olan ve sarılık göstergesi olan  $b^*$ 'nin de öğütme süresi arttıkça azaldığı tespit edilmiştir. Toplam renk farklılığı da besleme malı ile ürünler arasında öğütme süresi arttıkça artma eğiliminde olmuştur. Elde edilen sayısal değerler Joiner (2008) yaklaşımına göre değerlendirildiğinde, değirmen besleme malı (-2 mm) ile mikronize ürünler arasında pozitif yönde bir renk farklılığının olduğu anlaşılmaktadır.

Öğütme sonrası, jips mineralinin anhidrit mineraline dönüşümünün söz konusu olup olmadığının anlaşılması amacı ile en uzun öğütme süresi olan 30 dakika öğütme ürünü mikronize jipsin XRD analizi gerçekleştirilmiş ve besleme malı ile karşılaştırması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, konvansiyonel bilyeli değirmende jips cevherinin öğütülmesinin, cevherin mineralojik yapısında herhangi bir dönüşüme neden olmadığını göstermiştir.

Sonuç olarak; Niğde bölgesi jips cevherinin ince/çok ince boyutlara konvansiyonel bilyeli değirmende öğütülmesinde çok ince boyutlara (-10  $\mu\text{m}$ ) inilebildiği, beyazlık özellikleri açısından ürün kalitesinde iyileştirmelerin sağlandığı ve jips cevherinin mineralojik özelliklerinde herhangi bir değişimin olmadığı söz konusu tez çalışması ile ortaya konulmuştur.

## KAYNAKLAR

- Aksak, E., "Öğütme Yardımcısı Olarak Melas Kullanma Çalışmaları", *Çimento Bülteni Ağustos*, 18(170), 17-23,1981.
- Altay, T., Sivrihisar-Eskişehir yöresinde bulunan jips kristallerinin şekilleri ile oluşum koşulları arasındaki ilişkinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 2004.
- Altay, T. A., Karakaya, M. Ç. ve Erkan, Y. "Sivrihisar-Eskişehir Yöresinde Bulunan Farklı Şekillerdeki Jips Oluşumlarının Özellikleri ve Oluşum Koşulları", *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 23(1-2), 2007.
- Anbalagan, G., Mukundakumari, S., Sakthi, Murugesan K. and Gunasekaran, S., "Infrared, optical absorption and EPR spectroscopic studies on natural gypsum", *Vibrational Spectroscopy*, 50, 226-230, 2009.
- Anon, Alpine Handbook of Mechanical Processing Technology, 1996.
- Anon, Circoplex Classifier Mill Operating Manual BA 1235/5 E Hosokawa-Alpine, 31-32, 1999
- Bates, R. L., Geology Of The Industrial Rocks And Minerals, *Dover Publications*, New York, 459, 1969.
- Bozkurt, R., Alçıtaşı-Jips, *Eskişehir Anadolu Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Müh. Bölümü*, Eskişehir.
- Çayırılı, S., Farklı Tür Pomzuların Kesikli Öğütme Ortamındaki Davranışlarının İncelenmesi ve Modellenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 2008.
- Deniz, V., Cevher Hazırlama Ders Notları, *SDÜ Müh-Mim Fakültesi Maden Müh. Böl.*, Isparta, 2003.
- Deniz, V., "Influence of interstitial filling on breakage kinetics of gypsum in ball mill", *Advanced Powder Technology*, 22, 512–517, 2011.

DPT, Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Öik Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Endüstri Mineralleri, (Alçı-Kireç-Kum-Çakıl-Mıdır-Boya Toprakları-Tuğla Kiremit Çalışma Grubu Raporu) 2618-ÖİK, 626, Ankara, 2001.

Gaudin, A. M., Mining Engineering, 7, 561, 1955.

Graham, A. L. and Hanna, T.H., The micro-particle classifier, *Ceramic Age*, 38-40, Sep., 1962.

Gümüş, H., Ulukışla (Niğde) Baseninde Yer Alan Evaporitlerin Jeolojik, Minerolojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı*, Niğde, 2009.

Hilton, W., Energy conservation in comminution systems,” Energy in the industrial minerals industry” a supplement to the March 1983 issue of industrial mineral, 1983.

Ho, T. ve Hersey, L., 1979, Powder Technology, 23, 1991.

İpekoğlu, Ü. ve Tanrıverdi, M., Cevher Hazırlama, *D.E.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları (Genişletilmiş II. Baskı)*, İzmir, 215, 1994.

İstanbuluoğlu, Y. S., “Alçıtaşı ve Anhidrit Üzerine Bir Çalışma”, *Madencilik Haziran-Eylül*, 36(2-3),1997.

Joiner, A., Hopkinson, I., Deng, Y. and Westlan, S., “*Review of tooth colour and whiteness*”, Journal of dentistry, 365, 2008.

Kelly, E. G. and Spottiswood, D.J., Introduction to Mineral Processing, John Wiley and Sons Inc., New York, 1982.

Kırkoğlu, S., Endüstriyel Hammaddeler, *İTÜ Kütüphanesi*, 1418, 1990.

Kirk-Othmer Encyclopedia Of Chemical Technology, 4, *John Wiley & Sons, Inc.*, New York, 1978.

Kotake, N., Suzuki, K., Asahi, S. and Kanda, Y., “Experimental study on the grinding rate constant of solid materials in a ball mill”, *Powder Technology*, 122, 101-108, 2002.

- Kuzvart, M., Industrial minerals and rocks; *Elsevier*, London, 1984.
- Lowrison, G. C., Crushing and Grinding., CRP Press Inc., Cleveland., 106-107, 1974.
- McDonald, R., Colour Physics for Industry, Society of Dyers and Colourists, *Second Edition*, ISBN 0901956708, England, 1997.
- McGuire, R. G., “Reporting of objective color measurements” *HortScience*, 27, 1254-1255, 1992.
- MEB, Kimya Teknolojisi, Ankara, 2012.
- Oliver, J. R., Blakeney, A. B. and Allen, H. M., “Measurement of flour color in color space parameters” *Cereal Chem*, 69, 546-551, 1992.
- OMYA Development AG., Process of manufacturing a co-ground calcium carbonate material of the GCC and PCC type with a specific steepness factor, obtained products and their uses. US Patent, No: 031870 WO dated 2007.
- Öner, E. ve Acar, K., “Tekstil Endüstrisinde Renk Ölçümü Seminer Notları”, Adana, 2006.
- Öner, M., “Sodyum Oleat'ın Kuvarsın Çok İnce Öğütülmesi Üzerindeki Etkileri”, *Madencilik Mart -Haziran*, 1981.
- Özcan, A., “Kağıt Yüzey Pürüzlülüğünün L\*a\*b\* Değerleri Üzerine Etkisinin Belirlenmesi”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 14, 53-61, 2008.
- Özkan, Ş. G., Maden Mühendisliğine Giriş Cevher Hazırlama İle İlgili Konular, 2013.
- Sarız, K. ve Nuhoglu, İ., Endüstriyel Hammadde Yatakları ve Madenciliği, 636, *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir, 1992.
- Strydoma, C.A. and Potgieter, J.H., “Dehydration behaviour of a natural gypsum and a phosphogypsum during milling”, *Thermochimica Acta*, 332(1), 89-96, 1999.
- Şener, M., Mekanik Aktivasyonun Jipsin (CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O) Isıl Davranışına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *T.C. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, 2012.

- Temur, S., Endüstriyel Hammaddeler, *Selçuk Üniversitesi Yayınları*, 1998.
- Topkaya, M. ve ark., “Alçıtaşı ve Anhidrit”, *Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş., Kimya Sektörü Araştırması*, Ankara, 23, Şubat, 1980.
- Toraman, Ö. Y. ve Sönmez, A.T., “Mikronize Öğütmede Havalı Ayırıcıların Tasarım Değişkenleri”, *Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1(2), 30-36, 2012.
- Toraman, Ö. Y., Uçurum, M. ve Katırcıoğlu, D., “Eş Boyutlu Mikronize Kalsitin Boya ve Kağıt Sektöründe Ürün Kalitesine Etkisi”, *7. Uluslararası Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*, Kuşadası, İzmir, TURKEY, s.225-231, 25-27 February, 2009.
- Wills, B. A. and Napier-Munn, T., Mineral Processing Technology, An Introduction To The Practical Aspects Of Ore Treatment And Mineral Recovery, *ISBN-0750644508, Elsevier Science & Technology Books*, October, 2006.
- Yavuzdoğan, A., Toroğlu, İ. ve Döngel, B., “Desülfojipsüm Çamurunun Alçı Üretiminde Kullanımı”, *II.Ulusal Alçı Kongresi*, İstanbul, 02-03 Mayıs, 1997.
- Yeşil, Y., Melanj elyaf karışımlarında renk değerlerinin yeni bir algoritma geliştirilerek tahmin edilmesi, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 2010.
- Yıldız, N., Cevher Hazırlama, *ERTEM Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti*, Ankara, 41-193, 2007.
- Zhang, Q., Kasai, E. and Saito, F., “Mechanochemical changes in gypsum when dry ground with hydrated minerals”, *Powder Technology*, 87, 67-71, 1996.
- [www.kimyaturk.net](http://www.kimyaturk.net) (Erişim Tarihi: 27.12.2014).
- [www.madencilikrehberi.files.wordpress.com](http://www.madencilikrehberi.files.wordpress.com) (Erişim Tarihi: 27.12.2014).
- <http://www.bikudo.com/airclassifier> (Erişim Tarihi: 27.12.2014).
- <http://www.varlikmakina.com/kompletesisler> (Erişim Tarihi: 27.12.2014).

<http://www.cevherhazirlama.com> (Erişim Tarihi: 27.12.2014).

## ÖZGEÇMİŞ

Bilge ÖKSÜZOĞLU 18.01.1988 tarihinde Niğde’de doğdu. İlk orta ve lise öğrenimini Niğde’de tamamladı. 2008 yılında girdiği Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü’nden 2012 yılında mezun oldu. 2013 yılından itibaren Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.