

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI TÜR POMZALARIN KESİKLİ ÖĞÜTME
ORTAMINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ VE
MODELLENMESİ**

Serkan ÇAYIRLI

Danışman: Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI
ISPARTA - 2008**

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI' nda oybirliği ile YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. **Dr. Volkan BOZKURT**



Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Maden Mühendisliği Bölümü

Üye: Prof. **Dr. Lütfullah GÜNDÜZ**

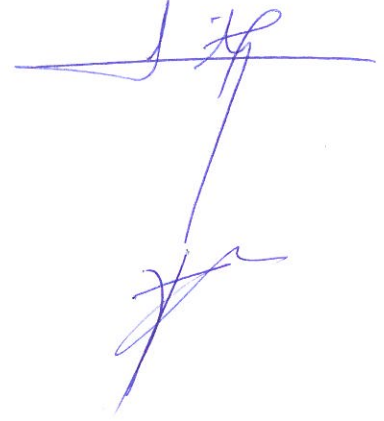
Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Maden Mühendisliği Bölümü

Üye: Yrd. **Doç. Dr. Yıldırım İsmail TOSUN**

Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi

Maden Mühendisliği Bölümü



ONAY

Bu tez 09.06.2008 tarihinde yapılan tez savunma sınavı sonucunda, yukarıdaki jüri üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

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

Prof. Dr. Fatma KOYUNCU

Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iv
ABSTARCT	v
TEŞEKKÜR	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Pomzanın Tanımı	3
2.1.1. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi	4
2.1.1.1. Orta Anadolu Pomza Yatakları	5
2.1.1.2. Doğu Anadolu Pomza Yatakları	6
2.1.1.3. Batı Anadolu Pomza Yatakları	7
2.2. Pomzanın Kullanım Alanları	7
2.2.1. İnşaat Sektöründe	8
2.2.2. Tekstil Sektöründe	8
2.2.3. Tarım Sektöründe	9
2.2.4. Kimya Sektöründe	9
2.2.5. Diğer endüstri ve Teknolojik Alanlarda	10
2.3. Çok İnce Pomzanın Kullanımı	10
2.4. Pomza Sektörüne Genel Bir Bakış	14
2.5. Pomzanın Ufalanması	15
2.5.1. Pomzanın Kırılması	15
2.5.1.1. Çeneli Kırıcılar	15
2.5.1.2. Jiroskopik Döner Kırıcı	16
2.5.1.3. Konik Kırıcılar	17
2.5.1.4. Merdaneli Kırıcılar	18
2.5.1.5. Darbeli Kırıcılar	19

2.6. Pomzanın Öğütülmesi	22
2.6.1. Değirmenler.....	22
2.6.1.1. Çubuklu Değirmenler.....	24
2.6.1.2. Bilyalı Değirmenler.....	25
2.6.1.3. Çakıl Değirmenler.....	26
2.6.1.4. Otojen Değirmenler.....	27
2.6.1.5. Valsli Değirmenler.....	27
2.6.1.6. Karıştırılmalı Değirmenler	28
2.6.1.7. Kule Değirmenleri.....	29
2.6.1.8. Yüksek Basıncılı Öğütme Merdaneli	30
2.6.1.9. Akışkan Enerjili Değirmenler	31
2.6.1.10. Titreşimli Değirmenler.....	32
2.7. Öğütmenin Tarihsel Gelişimi.....	33
2.7.1. Öğütme Kinetiğine Teorik Yaklaşım.....	35
2.7.2. Önceden Yapılmış Çalışmalar.....	36
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	41
3.1. Materyal	41
3.2. Yöntem.....	41
3.2.1. Standart Bond Bilyalı Değirmen Öğütülebilirlik Deneyleri	41
3.2.2. Kırılma Hız Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	43
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	45
4.1. Isparta Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	46
4.2. Kayseri Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	52
4.3. Kars Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	59
4.4. Nevşehir Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi.....	65
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	72
6. KAYNAKLAR	76
EKLER.....	79

EK-1 Bond Ögütülebilirlik Deneylerinde Kullanılan Pomza Örneklerinin Besleme, Ürün Elek Analizi Değerleri ve Grafikleri.....	79
ÖZGEÇMİŞ	82

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI TÜR POMZALARIN KESİKLİ ÖĞÜTME ORTAMINDAKİ DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ VE MODELLENMESİ

Serkan ÇAYIRLI

**Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**

Juri: Prof. Dr. Volkan BOZKURT

Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ (Danışman)

Yrd. Doç. Dr. Yıldırım İsmail TOSUN

Bu tez çalışmasında Isparta, Kayseri, Nevşehir ve Kars bölgelerinin pomza örneklerinin öğütülebilirlik özellikleri, hem Bond Öğütülebilirlik Testi hem de kesikli öğütme koşullarında bir kinetik model kullanılarak araştırılmıştır. Bunun için öncelikle, 1,7mm ile 0,106mm arası $\sqrt{2}$ elek serisine göre 8 dar boyut fraksiyonu hazırlanmış, daha sonra laboratuvar bilyalı değirmeninde üç farklı malzeme doluluk oranında (%5, %7,5, %10), üç farklı bilya yükünde (%20, %30 ve %40) ve üç farklı hızda (kritik hızın %65, %75, %85' i) farklı öğütme sürelerinde elde edilen boyut dağılımlarından kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonları elde edilmiş ve kinetik model parametreleri (S_b , a_b , α , γ ve ϕ_j) kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öğütme, Kinetik Model, Spesifik Kırılma Hızı, Kümülatif Kırılma Dağılımı Fonksiyonları

2008, 81 sayfa

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

THE INVESTIGATION AND MODELLING BEHAVIOUR OF DIFFERENT PUMICES IN USING BATCH GRINDING CONDITIONS

Serkan ÇAYIRLI

**Süleyman Demirel University Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Mining Engineering**

Thesis Committee: Prof. Dr. Volkan BOZKURT

Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ(Supervisor)

Asst. Prof. Yıldırım İsmail TOSUN

In this thesis, the grindability properties of different pumices samples is Isparta, Kayseri, Nevşehir and Kars regions are investigated both Bond Grindability Test and batch grinding conditions based on a kinetic model. For this purpose, firstly, eight different mono-size fractions were carried out between 1,7mm and 0,106mm formed by a $\sqrt{2}$ sieve series. Since then, S_i and $B_{i,j}$ equations were determined from the size distributions at different grinding times, and the model parameters ($S_{i,}$, $a_{i,}$, α , γ ve ϕ_j) were compared at three powder filling (%5, %7,5, %10), at three ball filling (%20, %30, %40), and at three mill speed (%65, %75, %85).

Key Words: Grinding, Kinetic Model, Specific Rate of Breakage, Cumulative Breakage Distribution Functions.

2008, 81 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın her aşamasında beni maddi manevi destekleyen Danışman Hocam Prof. Dr. Lütfullah GÜNDÜZ' e, çalışmalarımın planlanmasında ve yönlendirilmesinde büyük katkıları olan Doç. Dr. Vedat DENİZ' e teşekkürlerimi sunarım.

Yakın ilgi ve desteklerinden dolayı Arş. Gör. Yakup Umucu' ya, deneysel çalışmalarında yardımını esirgemeyen Maden Mühendisliği Bölümü öğrencisi Eren IŞIK' a teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme ve nişanlıma sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Serkan ÇAYIRLI
ISPARTA, 2008

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Pomzanın mobilya ve plastik sanayinde temizleme ve cila malzemesi olarak kullanımı	13
Şekil 2.2. Antika eşyaların ve gümüş gibi yumuşak metallerin parlatılmasında kullanılan pomza tozu	13
Şekil 2.3. Pomzalı topuk kremi, vücut yağlama kremi ve yüz parlatma kremi	13
Şekil 2.4. Çeneli kırıcı.....	16
Şekil 2.5. Döner kırıcı	17
Şekil 2.6. Konik kırıcı	18
Şekil 2.7. Merdaneli kırıcı.....	19
Şekil 2.8. Çekiçli kırıcılar	20
Şekil 2.9. Çekiçli kırıcı.....	20
Şekil 2.10. Düşey milli kırıcı	21
Şekil 2.11. Çubuklu değirmen.....	25
Şekil 2.12. Bilyalı değirmen.....	26
Şekil 2.13. Otojen değirmen.....	27
Şekil 2.14. Valsli değirmen	28
Şekil 2.15. Karıştırılmalı değirmenler	29
Şekil 2.16. Kule değirmenleri	30
Şekil 2.17. Yüksek basınçlı öğütme merdanesi	31
Şekil 2.18. Akışkan enerjili değirmen.....	32
Şekil 2.19. Titreşimli değirmen.....	33
Şekil 2.20. Farklı boyutlar için Karakaya ve Gelincik pomzalarının spesifik kırılma hızı (S_i) eğrileri	37
Şekil 2.21. Bilya çapının kırılma hızıyla olan ilişkisi	38
Şekil 3.1. Bond bilyalı değirmeni	43
Şekil 3.2. Öğütme deneylerinde kullanılan bilyalı değirmen.....	43
Şekil 4.1. Isparta pomzasının $fc=5$ için birinci kırılma doğruları.....	46
Şekil 4.2. Isparta pomzasının $fc=7,5$ için birinci kırılma doğruları.....	46
Şekil 4.3. Isparta pomzasının $fc=10$ için birincil kırılma doğruları.....	46

Şekil 4.4. Isparta pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	47
Şekil 4.5. Isparta pomzasının farklı fonksiyonları malzeme yükü için kümülatif dağılım	47
Şekil 4.6. Isparta pomzasının $J=20$ için birinci kırılma doğruları	48
Şekil 4.7. Isparta pomzasının $J=40$ için birinci kırılma doğruları	48
Şekil 4.8. Isparta pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	48
Şekil 4.9. Isparta pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları	48
Şekil 4.10. Isparta pomzasının $N_c=65$ için birinci kırılma doğruları	49
Şekil 4.11. Isparta pomzasının $N_c=85$ için birinci kırılma doğruları	49
Şekil 4.12. Isparta pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri	50
Şekil 4.13. Isparta pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları	50
Şekil 4.14. Isparta pomzasının $d=8\text{mm}$ için birincil kırılma doğruları	51
Şekil 4.15. Isparta pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları	51
Şekil 4.16. Isparta pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları	51
Şekil 4.17. Kayseri pomzasının $f_c=5$ için birinci kırılma doğruları	52
Şekil 4.18. Kayseri pomzasının $f_c=7,5$ için birinci kırılma doğruları	52
Şekil 4.19. Kayseri pomzasının $f_c=10$ için birincil kırılma doğruları	53
Şekil 4.20. Kayseri pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	53
Şekil 4.21. Kayseri pomzasının farklı malzeme yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları	53
Şekil 4.22. Kayseri pomzasının $J=20$ için birinci kırılma doğruları	54
Şekil 4.23. Kayseri pomzasının $J=40$ için birinci kırılma doğruları	54
Şekil 4.24. Kayseri pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	55
Şekil 4.25. Kayseri pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları	55

Şekil 4.26. Kayseri pomzasının $N_c=65$ için birinci kırılma doğruları.....	56
Şekil 4.27. Kayseri pomzasının $N_c=85$ için birinci kırılma doğruları.....	56
Şekil 4.28. Kayseri pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri	56
Şekil 4.29. Kayseri pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları	56
Şekil 4.30. Kayseri pomzasının $d=8\text{mm}$ için birincil kırılma doğruları	57
Şekil 4.31. Kayseri pomzasının farklı bilya çaplarında spesifik kırılma hızı eğrileri	58
Şekil 4.32. Kayseri pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları	58
Şekil 4.33. Kars pomzasının $f_c=5$ için birinci kırılma doğruları	59
Şekil 4.34. Kars pomzasının $f_c=7,5$ için birinci kırılma doğruları	59
Şekil 4.35. Kars pomzasının $f_c=10$ için birincil kırılma doğruları	59
Şekil 4.36. Kars pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	60
Şekil 4.37. Kars pomzasının farklı malzeme yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları	60
Şekil 4.38. Kars pomzasının $J=20$ için birinci kırılma doğruları.....	61
Şekil 4.39. Kars pomzasının $J=40$ için birinci kırılma doğruları.....	61
Şekil 4.40. Kars pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	61
Şekil 4.41. Kars pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları	61
Şekil 4.42. Kars pomzasının $N_c=65$ için birinci kırılma doğruları.....	62
Şekil 4.43. Kars pomzasının $N_c=85$ için birinci kırılma doğruları.....	62
Şekil 4.44. Kars pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri	63
Şekil 4.45. Kars pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları	63
Şekil 4.46. Kars pomzasının $d=8\text{mm}$ için birincil kırılma doğruları	64
Şekil 4.47. Kars pomzasının farklı bilya çaplarında spesifik kırılma hızı eğrileri.....	64

Şekil 4.48. Kars pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları	64
Şekil 4.49. Nevşehir pomzasının $f_c=5\%$ için birinci kırılma doğruları	65
Şekil 4.50. Nevşehir pomzasının $f_c=7,5\%$ için birinci kırılma doğruları	65
Şekil 4.51. Nevşehir pomzasının $f_c=10\%$ için birincil kırılma doğruları	66
Şekil 4.52. Nevşehir pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	66
Şekil 4.53. Nevşehir pomzasının farklı malzeme yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları	66
Şekil 4.54. Nevşehir pomzasının $J=20\%$ için birinci kırılma doğruları.....	67
Şekil 4.55. Nevşehir pomzasının $J=40\%$ için birinci kırılma doğruları.....	67
Şekil 4.56. Nevşehir pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri	68
Şekil 4.57. Nevşehir pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları	68
Şekil 4.58. Nevşehir pomzasının $N_c=65\%$ için birinci kırılma doğruları.....	69
Şekil 4.59. Nevşehir pomzasının $N_c=85\%$ için birinci kırılma doğruları.....	69
Şekil 4.60. Nevşehir pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri	69
Şekil 4.61. Nevşehir pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları	69
Şekil 4.62. Nevşehir pomzasının $d=8\text{mm}$ için birincil kırılma doğruları	70
Şekil 4.63. Nevşehir pomzasının farklı bilya çaplarında spesifik kırılma hızı eğrileri	70
Şekil 4.64. Nevşehir pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları	70
Ek Şekil 1. Bond öğütülebilirlik deneyinde kullanılan pomzaların kümülatif elek altı eğrileri	80
Ek Şekil 2. Bond öğütülebilirlik deneylerinden elde edilen ürünlerin kümülatif elek altı eğrileri	80

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Pomzanın ABD’ nin tüketilen ve kullanım alanına göre elde edilen değerleri.	11
Çizelge 2.2. ABD’ nin ithal ettiği tüvenan ve mamul pomza değerleri	11
Çizelge 2.3. Pomza ürün fiyatları.....	12
Çizelge 2.4. Türkiye pomza rezerv dağılımı	14
Çizelge 2.5. Kuvarsın kuru öğütülmesinde bilya boyutunun fraksiyonu olarak “B” parametreleri	38
Çizelge 2.6. Amorf silikanın farklı malzeme yükü için model parametreleri.....	39
Çizelge 2.7. Amorf silikanın farklı bilya yükü için model parametreleri	39
Çizelge 2.8. Bilya çapına bağlı olarak kalsitin kırılma hızı değerleri, dakika ⁻¹	40
Çizelge 2.9. Kalsitin birincil kırılma dağılım fonksiyon değerleri	40
Çizelge 2.10. 26mm çaplı bilya ile kuru öğütülmüş baritin özgül kırılma hızı değerleri	40
Çizelge 2.11 Kalsitin birincil kırılma dağılım fonksiyon değerleri	40
Çizelge 3.1. Pomza numunelerinin kimyasal analizleri	41
Çizelge 3.2. Bilyalı değirmen öğütme şartları	44
Çizelge 4.1. Pomza numunelerinin öğütülebilirlik değerleri	45
Çizelge 4.2. Isparta pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri.....	47
Çizelge 4.3. Isparta pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri	49
Çizelge 4.4. Isparta pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri	50
Çizelge 4.5. Isparta pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri.....	51
Çizelge 4.6. Kayseri pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri	53
Çizelge 4.7. Kayseri pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri.....	55
Çizelge 4.8. Kayseri pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri.....	57
Çizelge 4.9. Kayseri pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri	58
Çizelge 4.10. Kars pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri	60
Çizelge 4.11. Kars pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri.....	62
Çizelge 4.12. Kars pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri	63
Çizelge 4.13. Kayseri pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri	64
Çizelge 4.14. Nevşehir pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri	67
Çizelge 4.15. Nevşehir pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri.....	68

Çizelge 4.16. Nevşehir pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri...	69
Çizelge 4.17. Nevşehir pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri	71
Ek Çizelge 1. Bond öğütülebilirlik deneyinde kullanılan pomzaların besleme elek analizleri	79
Ek Çizelge 2. Bond öğütülebilirlik deneylerinden elde edilen ürünlerin elek analizleri	79

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

N_c	Kritik hız
D	Değirmenin iç çapı
d	Bilya çapı
J	Bilya yükü
fc	Malzeme yükü
U	Doluluk oranı
X_i	İ fraksiyonundaki üst boyut
S_i	Spesifik kırılma hızı
B_{i,j}	Kırılan malzemenin kümülatif kırılma dağılım fonksiyonu
a_T	1 mm tane boyutundaki kırılma hızı
α	Spesifik kırılma hızı eğrisinin eğimi
γ	Kümülatif kırılma dağılım fonksiyonu eğrisinin eğimi
φ_J	Kesişme değeri
G	Öğütülebilirlik değeri (dv/dk)
P_i	Bond öğütülebilirlik testinin yapıldığı elek açıklığı
P	Ürün
F	Besleme
W_i	İş endeksi (kwh/ston)

1. GİRİŞ

Ülkelerin kalkınmasının sanayileşme ile sağlandığı bilinen bir gerçektir. Sanayileşmenin ana girdisi ise doğal kaynaklardır. Bu nedenle, doğal kaynakları ülkelerin vazgeçilmez hazineleri olarak tanımlamak mümkündür. Diğer bir söylemle, bunlar sanayinin lokomotifidir. Dünyada endüstriyel devrimler ve onların ürünleri bu doğal kaynak girdileri ile gerçekleşmiştir. Endüstrinin temel taşları olan madenlerin tarihte çağlar başlattığı hepimizce bilinmektedir.

Ülkemizde de metalik madenler ve enerji hammaddeleri dışında yine sanayileşmemizde kullanılan endüstriyel hammaddeler de, günlük yaşantımızda kullandığımız binlerce malzeme içerisinde yer almaktadır. Örneğin; inşaat, gıda, seramik, boya, gübre, kimya, elektrik, optik, cam, kâğıt ve daha birçok sanayinin girdisi olan endüstriyel hammaddeler sayısal olarak yüz çeşidi aşmakta ve her gün bir yenisi bu hammaddeler sınıfına eklenmektedir. Ülkemiz endüstriyel hammadde çeşidi ve miktarı açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Yıldızı parlayan hammaddelerimizden biride pomza cevheridir. Pomza, ülkemizde ve dünyada en çok inşaat sanayinde kullanılmaktadır. Pomzanın hafif olması, ısı ve ses yalıtımı açısından diğer birçok malzemeden daha iyi olması sebebiyle BİMS amaçlı olarak oldukça yaygındır. Tarım sektöründe ise toprağı ıslah etmesi ve suni gübrenin topaklaşmasını önlemesi nedenleri ile de yaygın kullanımı söz konusudur. Hem İnşaat hem de tarım sektöründe bu yaygın kullanımı nedeniyle pomza ile uğraşan sektörler bu alanlara yatırım yapmakta ve ülkemizde bu amaçla son on yılda birçok fabrika kurulmuştur. Bu kadar fazla sayıda kurulan fabrika nedeni ile sektörde satılan ürün bazında her bir sanayi kuruluşu için pastadan aldığı pay düşmüştür. Ayrıca, bu kadar yaygın bir şekilde kurulan fabrika sayısından dolayı inşaat ve tarım alanlarında kullanılan pomza fiyatları düşmüş ve sanayicinin kazancıda azalmıştır.

Bu satış darboğazları nedeniyle sektörde bir arayış başlamış ve daha farklı ürün yelpazesine doğru itmiştir. Üstelik bu yeni alanlarda kullanım az, fakat birim ton başına kar ise daha fazla olmaktadır. Üstelik pomza da diğer yeraltı kaynaklarımız gibi tükenebilir olması pomza madenlerimizin katma değeri yüksek olan ürünler haline getirilerek satılması ülke çıkarları açısından da önemli bir unsurdur.

Ülkemizde, rezerv miktarı ile Dünyada 18 ülke arasında, İtalya' dan sonra Yunanistan ile ilk iki sırayı paylaşmakta, tüvenan üretim açısından üçüncü sıradayken mamul ürün açısından en gerilerde kalmaktayız.

Bu yeni çözüm arayışları bir yatırım zorunluluğu doğurmaktadır. Yapılan yatırımların doğru bir şekilde olması ve verimli bir şekilde sürdürülmesi gerekmektedir. Yapılan yatırımların bilinçsizce yapılması verim kaybına yol açmakta ve fazla enerji sarfıyatına neden olmaktadır.

Ülkemizde enerji kaynaklarımızın az olması nedeniyle harcanan enerji israf edilmeyecek kadar pahalalmıştır. Bilhassa madencilik sektöründe ufalama işlemleri enerji tüketimi açısından önemli yer tutmaktadır.

Ufalama özelliklerinin bilinmesiyle cevher hazırlamada ve bazı kimyasal endüstrilerinde kırma ve öğütme verimleri belirlenebilir. Ufalama işlerindeki verimi arttırmanın başarısı, enerji sarfıyatının azalışı ile ifade edilir. Bir ufalama işleminin amacı; uygun kırma ya da öğütme boyutunda, kırma veya öğütme miktarı maksimum olurken ufalanan malzemenin ton başına harcadığı enerjinin minimum olmasıdır. Cevher hazırlamada malzemenin uflanma özelliklerinin belirlenmesinden sonra ufalama işlemi için doğru ekipmanın seçilmesi ve ekipman parametrelerinin amaca uygun şekilde belirlenmesi gerekir.

Bu çalışma ince pomza konusunda ülkemizde yapılacak olan yatırımları teşvik ederken, bu amaçla kurulacak olan ufalama tesislerinin düzen ve yardımcılarının seçimi ve enerji harcamalarının hesaplanması bakımından uflanma özellikleri bir kinetik model ile incelenmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Pomzanın Tanımı

Pomza madeni, dünya endüstrisinde yeni olmamakla beraber, ülkemiz endüstrisine son yıllarda girmeye başlamış ve değeri yeni anlaşılan volkanik kökenli bir madendir.

Pomza, boşluklu, süngerimsi, volkanik olaylar neticesinde oluşmuş fiziksel ve kimyasal etkenlere karşı dayanıklı, gözenekli camsı volkanik bir kayadır. Bir başka deyişle, pomza çok poroz olan volkanik taş camıdır. Oluşumu sırasında bünyedeki gazların ani soğuma nedeniyle, makro ölçekten mikro ölçeğe kadar sayısız gözenek oluşur. Gözenekler arası genelde (özellikle mikro gözenekler) bağlantısız boşluklu olduğundan permeabilitesi düşük, ısı ve ses yalıtımı oldukça yüksektir.

Pomzada gözenekler, çoğunlukla birbiriyle bağlantılı değildir. İçerdiği gözenekler gözle görülebilecek boyutlardan, mikroskobik boyutlara kadar sayısız miktarda olup, her biri diğerinden camsı bir zarla yalıtılmıştır. Bu yüzden hafif, suda uzun süre yüzebilen, izolasyonu yüksek bir kayadır. Sertliği Mohs Skalasına göre 5-6'dır. Kimyasal olarak %75'e varan silis içeriği bulunabilmektedir. Pomzalarda genel olarak,

- %60 – 75 SiO₂
- %13 – 17 Al₂O₃
- %1 – 3 Fe₂O₃
- %1 – 2 CaO
- %7 – 8 Na₂O-K₂O ve
- eser miktarda TiO₂ ve SO₃ bulunmaktadır.

TS 3234 standartlarına göre pomza; birbirine bağlantısız boşluklu, sünger görümlü silikat esaslı, birim hacim ağırlığı genellikle 1 gr/cm³ ten küçük, sertliği Mohs skalasına göre yaklaşık 6 olan ve camsı doku gösteren volkanik bir madde olarak tanımlanmıştır.

Asidik ve bazik volkanik faaliyetler neticesinde pomza oluşur; asidik ve bazik pomza olarak adlandırılır (Gündüz vd., 1998).

2.1.1. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi

Türkiye pomza yatakları, İç ve Doğu Anadolu ile Akdeniz Bölgesinde, Tersiyer sonlarından Kuvaterner devrine kadar gelişen, volkanik faaliyetler sonucunda oluşmuşlardır. Pomza oluşumları genellikle aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Asidik magma bazik magmaya oranla daha viskozdur ve yüksek silis içerir. Bazik magmanın sıvı olduğu sıcaklıklarda asidik magma katı halde bulunur. Volkanik aktivenin durduğu zamanlarda magma akışı durarak kayaçlar oluşur. Volkanik baca içerisinde tıkanma sonucu doğal basınç şekillenir. Basıncın artmasıyla volkanik malzeme ile büyük patlamalar şeklinde bacadan püskürmeye başlar. Ani basınç serbestleşmesi genleşmelere neden olur. Magma bünyesinde bulunan uçucular yüksek basınçla krateri terk ederken magmayı küresel parçacıklar halinde atmosfere taşır. Uçucuları takiben arkada kalan erimiş küresel parçalar, atmosfere temas eder etmez hızla soğurlar. Böylelikle pomza oluşur. Ani soğuma ile pomza oluşur. Kayanın parçaları volkan çerçevesinde depolanır. Volkan çevresinde depolanan pomza yataklarının jeolojik zaman içinde akarsular tarafından taşınarak uygun yerlerde depolanmasıyla ikincil pomza yatakları şekillenir. Pomza yataklarında volkan kraterinden koparılan volkanik kayaç parçalarında % 1–3 oranında andezit, bazalt, obsidyen gibi volkanik kayaç parçaları bulunur. İkincil pomza yataklarında çevre kayaçlarından aşınıp taşınan çeşitli kayaç parçaları da bulunabilir (Bilgin, vd., 1988).

Pomza oluşumunu kontrol eden faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

- 1) Püskürme Süresi
- 2) Ara Süreler
- 3) Magmanın Isısı
- 4) Magmadaki Erimiş Gaz Miktarı
- 5) Püskürtülen malzemenin Soğuma Zamanıdır.

Türkiye pomza yataklarını üç bölgede tanımlayabiliriz.

2.1.1.1. Orta Anadolu Pomza Yatakları

Genellikle bu yörede bulunan pomza yatakları Avanos ve Derinkuyu ilçeleri arasında yayılım göstermektedir ve Nevşehir ili pomza yatakları olarak da adlandırılırlar.

Bölgede temeli oluşturan en yaşlı kayaç birimleri Üst Kratese yaşlı serpantin, granodiyorit gibi kayaçlardır. Bunların üzerine Paleosen, Neojen yaşlı ignimbiritik tuf, riolitik tuf, andezitik tuf, gölsel kireçtaşı ve bazalt gibi kayaç birimleri gelmektedir. Yöredeki en genç kayaç birimleri, Kuvaterner yaşlı traverten, pomza, volkan külü ve alüvyon gibi birimlerdir. Bu yörede bulunan pomza seviyelerinin kalınlığı yer yer 1–20 m arasında değişmektedir. Bu pomza seviyelerinin içinde %1–3 arasında değişen miktarda bazalt, diyabaz ve obsidiyen parçaları bulunmaktadır. Pomza seviyelerinin üzerinde 1–35 m arasında değişen kalınlıklarda volkan külü seviyesi ve en üstte kalınlığı 1–15 m arasında değişen kalınlıklarda alüvyon seviyesi bulunabilmektedir (Çevikbaş, vd., 1997).

Nevşehir ve civarındaki pomza yatakları tercih edilen kalitede pomza yataklarıdır. Makroskobik olarak, tane boyutu genellikle 0,1–7 cm arasında değişmektedir. Daha iri ve ince boyutlarda pomza görmek mümkündür. Aksaray ve Ihlara civarında 20 cm boyutuna kadar ulaşabilen iri pomzalar görülebilmektedir. Pomza boyutundaki bu oranlar yataktan yatağa değişebilmektedir. Bu değişimler, pomzanın çıktığı volkan bacasına olan uzaklıkla ilgilidir. Volkan bacasına yakın pomzalar iri, bacadan uzaklaştıkça pomza boyutları küçülür. Bazı yataklarda ise gang oranı seviyeden seviyeye fark göstermektedir. Pomza, beyaz, gri, krem renklerde olup, üst seviyeler ve altere zonlar sarımtırak beyaz ve kirli bej renklerde. Yapılan çalışmalar sonucunda, bu bölgedeki sahalardaki pomzaların hafif yapı elamanı olarak kullanılabilecek kalitede oldukları saptanmıştır (Çevikbaş, vd., 1997).

Kayseri bölgesinde bulunan pomza yatakları birbirine bağlı Talas, Tomarza ve Develi ilçeleri arasında yayılım göstermektedir. Yörede temeli oluşturan en eski kaya birimi Paleozoik yaşlı kristalize kireçtaşlarıdır. Bunun üzerine pliyosen yaşlı tuf ve gölsel kireçtaşları gelir. Tüflerin üzerine gelen pomza seviyelerinin kalınlığı yer yer 6–20 m arasında değişmekte olup, üzerine 1–50 m arasında değişen ignimbiritik tüfler gelir. Bu ignimbiritik tüflerin üzerine de ikinci bir pomza seviyesi gelmektedir

(Kepez pomzası). Kepez pomzası üzerine kalınlığı 10 m' ye varan ignimbiritik tüfler gelmektedir. Yörede en genç olarak Kuvaterner yaşı volkanizmanın en son ürünü olarak andezit, bazalt türünden kayaçlar bulunmaktadır. En üstte 1–5 m kalınlığında yamaç molozu ve alüvyon örtü bulunmaktadır ( evikbaşı, vd., 1997).

Bu yöredeki pomzalar Nevşehir'e göre daha fazla gaz boşluklu ve hafiftir. Boyutları 0,1–8 cm. arasında değişir. Pomzalarda açık gri, gri, beyaz ve krem renkler h kimdir. Genellikle pomza seviyelerinin üzerinde 0,5–2 m. arasında dekapaj vardır. Pomza içinde ince ve iri boyutlardaki malzemelerinin oluşturduğu ayrı ayrı seviyeler (10–20 cm.) ardalanmalıdır ( evikbaşı, vd., 1997).

Yapılan kimyasal analizler ve teknolojik testler sonucunda, bu yöredeki sahalardaki pomzaların hafif yapı gereci olarak kullanılabilecek kalitede oldukları belirlenmişlerdir ( evikbaşı, vd., 1997).

2.1.1.2. Doğu Anadolu Pomza Yatakları

Doğu Anadolu Bölgesinde pomza yatakları çok geniş alanlara yayılır. Bitlis (Ahlat-Tatvan), Van (Erciş-Mollakasım), Ağrı (Patnos-Doğubeyazıt) ve Kars (Digor-Sarıkamış) illerinde geniş pomza yatakları bulunmaktadır (Arslan, 1997).

Bölgede temeli oluşturan en yaşı kayaçlar Paleozoik yaşı Bitlis masifi diye adlandırılan (gnays, şist ve mermer gibi) kayaçlar  zerine Mezozoik yaşı ofiyolitik melan  (serpantin, diyabaz, kireçtaşı gibi) gelmektedir. Bunun  zerine ise Tersiyer yaşı fliş ve volkano-sedimanter (kumtaşı, marn, t f, aglomera, kireçtaşı, bazalt, andezit, riyolit gibi) kayaç birimleri bulunmaktadır. Bu bölgede pomza yatakları Kuvaterner devrinde oluşmuş olan volkanik faaliyetler sonucu oluşmuşlardır. En altta ignimbiritik t f, aglomera, obsidiyen ve trakitik kaya birimleri bulunmaktadır. Bunların kalınlığı ortalama 350 m. civarındadır. Bu birimlerin üzerine kalınlığı yer yer 1–25 m. arasında değişen pomza oluşumları gelmektedir. Pomza seviyesinin üzerine kalınlığı 1–20 m. arasında bazalt ve en üstte ise, 1–5 m. kalınlığında alüvyon bulunmaktadır. Yukarıda sözü edilen pomzalar asidik kökenlidir (Arslan, 1997).

Bu bölgedeki pomzalar makroskopik olarak Kayseri ve Nevşehir pomzalarına oranla daha iri olup, 0,1–8 cm. boyutlarındadır. Daha iri ve ince malzemeler çok az oranda bulunur. Van, Erciş, Ağrı ve Doğubeyazıt yöresindeki pomzalar genelde beyaz, diğer illerdeki pomzalar ise bej, gri ve kirli beyaz renklere sahiptir. Pomza içinde yer yer ince ve iri malzemelerin oluşturduğu seviyeler ardalanmalıdır (Arslan, 1997).

2.1.1.3. Batı Anadolu Pomza Yatakları

Bu bölgede bulunan pomza yatakları Isparta, Burdur ve Muğla illeri çevresinde bulunmaktadır. Temeli Mezozoik yaşlı kireçtaşları ile Pliosen-Kuvaterner yaşlı volkano-tortul birimler oluşturmaktadır. Gölcük volkanitleri, Toros kuşağında yer alan seriler üzerine yerleşmiştir (Karaman, 1988).

Yörede pomza oluşumları en yoğun olarak Isparta-Gölcük çevresinde gözlenmektedir. Pomza taşları patlayıcı traki-andezit volkanizmaya bağlı olarak oluşmuştur. Pomza seviyeleri alttan üste doğru alt volkano-tortul birim içerisinde, andezit, çakıl ve blokları ile diyorit çakılları bulunur (Koçyiğit, 1984).

Çeşitli boyutlardaki pomzaların rengi açık gri ile gri renk tonları arasında değişir. Gevşek dokulu pomza düzeylerinin tabanında kahverengi kül, silt, kum karışımı bir seviye bulunur ve üst kısımlarda ise tuf, kum ardalanmasına geçer. Ayrıca Niğde, Konya, Ankara ve Muğla ili çevresinde de pomza yatakları bulunmaktadır. Fakat ekonomik değildir (Poisson vd., 1984).

2.2. Pomzanın Kullanım Alanları

Pomza başlıca şu sektörlerde kullanılmaktadır (Gündüz vd., 1998)

- İnşaat sektöründe,
- Tekstil sektöründe,
- Tarım sektöründe,
- Kimya sektöründe,
- Diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda.

2.2.1. İnşaat Sektöründe

Pomza normal kum ve çakılın $1/3 - 2/3$ 'ü kadar yoğunluğa sahiptir. Aynı durum pomza ile yapılan betonlarda da görülür. Pomza betonu normal betondan hafif olması sebebiyle zaman ve işçilikten tasarruf sağlamaktadır. Ayrıca zemin mekaniği açısından, temele iletilen yükler dikkate alındığında %17 civarında inşaat demirinden tasarruf sağlar. Pomzanın ısı iletkenlik katsayısı dikkate alındığında, normal betondan 6 kat daha fazla izolasyon sağladığı tespit edilmiştir. Bu özelliğinden dolayı yaşam ve iş mekânlarında kullanımı ile büyük çapta enerji tasarrufu sağlamaktadır.

Hafif tuğlalar, bloklar, asmolonlar, paneller ve diğer kullanım şekilleri inşaatta kullanılan harç ve inşaat demirinden tasarruf sağladığı gibi inşaatlarda önemli oranda ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Ayrıca yangına dayanıklılık açısından da normal betona kıyasla %20'ye varan oranda daha emniyetli olduğu kabul edilmektedir. Pomzalı betonun normal betona kıyasla önemli bir avantajı deprem yüklerine karşı daha elastik davranış gösterebilmesidir. Ayrıca pomzalı beton ve yapı elemanları dondan etkilenmemektedir (Gündüz vd., 1998).

2.2.2. Tekstil Sektöründe

Yaygın olarak kot taşlama olarak bilinen bu işlemde ve kot kumaşların renklerinin açılması (ağartılması) ve kumaşın yumuşatılması yapılmaktadır. Bu sektörde pomzanın belirli fiziko-kimyasal özellikleri taşıması aranır (Gündüz vd., 1998). Bu özellikler özetle aşağıda sunulmuştur.

- Pomza orta sertlikte olmalı ve kırılmadan ezilmelidir,
- Minerolojik yapısında pomzadan sert mineral olmamalıdır (Kumaşı çizmemelidir),
- Yabancı madde içermemeli, kimyasal yapısında içerdiği FeO , K_2O ve Na_2O miktarları istenilen limitlerde olmalıdır, (Kumaşı boyamamalıdır)
- Kuru, yüksek poroziteli ve yuvarlatılmış olmalıdır,
- Kullanılan pomzanın kalitesi standart olmalıdır,

- Beyaz renkte ve suda belirli süre yüzme kabiliyetine sahip olmalıdır,
- Su emme miktarı, istenilen limitlerde olmalıdır.
- Kot taşlama işleminde 0,5 kg/giysi miktarlarında pomza tüketilmektedir.

2.2.3. Tarım Sektöründe

Pomza gelişmiş ülkelerin çoğunda tarımda kuraklığa çare olarak başvurulacak seçeneklerden bir tanesidir. Bünyesine aldığı suyu uzun müddet muhafaza ederek sürekli olarak nemli bir ortamın oluşmasını temin ettiğinden, kuraklığa çare olarak kısmi bir çözüm getirir de yaygın şekilde kullanılmaktadır.

İklimin sıcak olması ve sulama suyunun da aşırı buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının önüne geçilebilmesi için, toprağın altında belirli bir derinlikte ve belirli bir kalınlıkta serilen pomza tabakası (yastıklama) içerisine, toprak altından su vererek, bitkinin ihtiyacı olan suyun direkt olarak köklere ulaşması sağlanmakta ve buharlaşmadan kaynaklanan su kaybının önüne geçilmektedir.

Öte yandan sıvı gübre kullanımı söz konusu olduğunda, pomza gübre kaybını minimuma indirdiği gibi, yeraltı su kaynaklarının kirlenmesinin de önüne geçmektedir (Gündüz vd., 1998).

2.2.4. Kimya Sektöründe

Günümüzde pomza aşağıda tanımlanan kimya endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Tarım ilaçları sanayinde taşıyıcı olarak,
- Gübre sanayinde gübrenin topaklaşmasının önlenmesinde kek önleyici maddesi olarak,
- Diş macunlarında ve dişçilikte parlatma keki ve tozu olarak,
- Birçok sektörde absorban malzeme olarak,
- Temizlik ve deterjan sanayinde katkı malzemesi olarak,

- Özel tip boyalarda (akustik ve yalıtımlı boyalarda, pürüzlü duvar kaplamalarında, trafik boyalarında, kaymaz tip boyalarda) katkı maddesi olarak.

2.2.5. Diğer Endüstri ve Teknolojik Alanlarda

- Kuyumculuk, metal, cam ve plastik sanayinde abrasif (aşındırıcı),
- TV tüpleri ve elektronik devre ve ciplerin üretiminde hassas temizleme maddesi,
- Yol tutucu-kaymaz tip oto lastikleri üretiminde katkı,
- Asfalt kaplamalarda (özellikle sıcak iklimli bölgelerde) yüzeye bitüm kusmayı engelleyici katkı maddesi,
- Karayollarında; buzlanmaları kontrol altına almada,
- Dekoratif ve yalıtımlı, hafif tavan kaplama malzemelerinin imalinde,

Gibi pek çok sektörde kullanım imkânı bulmaktadır. Ayrıca günümüzde seramik malzemelerinin sır tabakalarının yapımında, refrakter malzeme, hafif-izo-akustik sıva imalinde biyoteknoloji alanlarında absorban malzeme olarak ve su arıtım teknolojisi gibi pek çok alanda kullanımına ilişkin çalışmaların da sürdürüldüğü bilinmektedir (Gündüz vd., 1998).

2.3. Çok İnce Pomzanın Kullanımı

Pomza bilindiği üzere ülkenizde başta inşaat sektörü olmak üzere ziraat ve çeşitli sanayi sektörlerinde kullanılmaktadır. Pomzanın çok ince boyutlarda öğütülmesi ile birçok alanda katma değeri yüksek ürünler olarak satılmaktadır. Pomza tüketim miktarı ile elde edilen kazanç arasındaki fark, ABD’ de yapılmış olan bir çalışmada 12005 ve 2006 yıllarında çok açık bir şekilde çok ince pomzanın getirisinin fazla olduğu Çizelge 2.1’ de gösterilmiştir (Deniz, 2005). Ülkemiz, rezerv miktarı ile tüvenan üretim açısından dünyada sıralamasında ön sıralardayken mamul ürün açısından en gerilerde kalmaktadır. Çizelge 2.2’ de ABD’ nin 2005 ve 2006 yıllarında ithal ettiği tüvenan ve mamul pomza ürün değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.1. Pomzanın ABD’ nin tüketilen ve kullanım alanına göre elde edilen değerleri
(www.indexmundi.com)

Kullanım	2005			2006		
	Miktar (1000×Ton)	Değeri (1000×USA\$)	Birim değeri (USA\$)	Miktar (1000×Ton)	Değeri (1000×USA\$)	Birim değeri (USA\$)
Abrasif ¹	41	9,340	228,42	45	9,390	208,69
Bims blok ²	1,040	26,500	25,52	1,310	31,300	23,87
Çimento ve agrega kalıntısı	30	648	21,42	27	761	28,19
Tarımsal	143	2,340	16,30	75	1,590	21,19
Kot Taşlama	15	436	32,04	75	1,250	16,68
Diğer ³	1,270	39,300	31,00	1,540	44,300	28,85

¹ Temizleme, kozmetik ve aşındırma işlemlerine eklenen

² Dekoratif amaçlı bimsler dâhil

³ Absorbenler, filtre yardımcıları, dolgu, v.d.

Çizelge 2.2. ABD’ nin ithal ettiği tüvenan ve mamul pomza değerleri
(www.indexmundi.com)

Ülkeler	2005				2006			
	Tüvenan		Mamul Ürün		Tüvenan		Mamul Ürün	
	Miktar (1000× Ton)	Değeri (1000× USA\$)	Miktar (1000× Ton)	Değeri (1000× USA\$)	Miktar (1000× Ton)	Değeri (1000× USA\$)	Miktar (1000× Ton)	Değeri (1000×USA\$)
Yunanistan	188	11,500	<1/2	3,400	232	6,080	<1/2	1,040
İtalya	45	17,200	<1/2	507	131	5,450	<1/2	410
Türkiye	4	1,020	---	---	---	---	---	---
Diğer	2	2,080	<1/2	1,850	1	3	<1/2	1,930
Toplam	239	31,800	1	5,750	364	11,500	1	3,380

Pomzanın inşaat ve tarım sektörü dışında kullanıldığı ve ince boyutta öğütülmesinin gerektiği alanlar aşağıda sıralanmıştır. İnce pomzadan yapılmış mamul ürünlerin birkaçı şekil 2.1, şekil 2.2 ve şekil 2.3’ de gösterilmiştir.

- Abrasif sanayi,
- Doğal ve doğal olmayan madeni ve yumuşak metallerin cilalanmasında,
- Mobilya ve plastik sanayinde, temizleme ve cila malzemesi yapımında,
- Elektronik malzemelerin temizlenmesinde,
- Kimya sanayinde, kimyasal taşıyıcı ve filtrasyon malzemesi olarak,
- Elektrikli ve gazlı barbekü ve mangallarda kömür yerine kullanımı,
- Seramik sektöründe astar malzemesi olarak,
- Toz ve el sabunu imalinde ve cam temizleme malzemelerinde,
- Kozmetik sanayinde temizleme losyonları ve kremlerinde,
- Kurşun kalem silgilerinde,
- Dişçilikte parlatma amaçlı olarak,
- Cam sanayinde televizyon tüpü düzeltmek, cam cilalamak için ve kesik camları taşlamada ince pomza kullanılmaktadır.

Yukarıda sözü edilen sanayi alanlarında pomzanın temiz yani zenginleştirilmiş ve de çok ince boyutlarda öğütülmüş olması gerekir. Pomzanın klasik anlamda kullanıldığı alanlar ve yukarıda sözü edilen ince pomza ürünlerin bazılarının birim fiyatları Çizelge 2.3’ de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Pomza ürün fiyatları (www.indexmundi.com)

Ürün	Miktarı	USA(\$)
Bimslik pomza	1 ton	4-5
Tarımsal pomza	1 ton	20-25
Tekstil pomzası	1 ton	41-70
Antika ağaç ve gümüş parlaticıları	150 gr	4-5
Pomza kömürü	5000 gr	15-20
Pomzalı sabun	200 gr	4-5
Pomzalı topuk ovma kremi	100 gr	15-20
Pomzalı vücut düzenleyicisi	100 gr	4-5
Kozmetik temizleme kremi	200 gr	10-12
Kurşun kalem silgisi	50 gr	12-15
Dişçilikte kullanılan pomza tozu	150 gr	13-15
Pomzalı diş macunu	175 gr	14-17
Gözlük taşlama ve televizyon camları düzeltmede	450 gr	2-3



Şekil 2.1. Pomzanın mobilya ve plastik sanayinde temizleme ve cila malzemesi olarak kullanımı



Şekil 2.2. Antika eşyaların ve gümüş gibi yumuşak metallerin parlatılmasında kullanılan pomza tozu



Şekil 2.3. Pomzalı topuk kremi, vücut yağlama kremi ve yüz parlatma kremi

2.4. Pomza Sektörüne Genel Bir Bakış

Pomza, yıllar boyunca inşaatlarda yapı elamanı olarak kullanıla gelmiş, ustaların elinde şekillendirilerek günümüze kadar geçmişin tarihini ve tekniğini taşımıştır. Türkiye, pomza rezervleri bakımından oldukça önemli bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte resmi olarak elde edilebilen verilere göre, 18 milyar m³ civarında olan dünya pomza rezervlerinin yaklaşık %40' ına (7,4 milyar m³ den fazla) sahip ülkemiz açısından, pomza madeni potansiyelimiz çok önemli bir yer tutmaktadır. Pomza rezervlerinin İç Anadolu bölgesinde yoğunlaşmış olmasına karşın, Akdeniz ve Doğu Anadolu bölgelerinde de pomza oluşumlarına önemli derecelerde rastlanmakta ve üretim faaliyetleri yapılmaktadır. Dünya pomza rezervleri bakımından önemli bir yeri olan Türkiye, 10' a varan renk ve doku kalitesine sahip pomza çeşitleri oldukça yüksek bir pazar şansına sahiptir. Dünyanın en önde gelen ham pomza üreticisi ülkeler İtalya, Yunanistan, Türkiye, Almanya, ABD, Meksika, Fransa, ve İzlanda' dır. Bu ülkelere son yıllarda Çin, Kanada, Yeni Zelanda, Endonezya gibi ülkeler de dâhil olmuştur. Pomza, dünya da halen elliden fazla endüstriyel alanda farklı amaçlarda kullanım imkânı bulmaktadır (Gündüz, 2005).

Çizelge 2.4. Türkiye pomza rezerv dağılımı (Gündüz, 2005)

Yeri	Rezerv miktarı	Rezerv kategorisi
Nevşehir-Ürgüp-Avanos	400.412.834	A+B
Kayseri-Gömeç	48.660.500	C
Kayseri-Develi58.500.000	58.500.000	A+B
Bitlis-Tatvan	1.100.000.000	A+B
Kars	40.150.250	B
Isparta-Gölcük	30.983.250	A+B
Ağrı	27.812.000	A+B
Ağrı-Doğubeyazıt	26.875.000	A+B

A: Görünür Rezerv, B: Muhtemel Rezerv, C: Mümkün Rezerv

2.5. Pomzanın Ufalanması

Ufalama dünya genelinde elektrik enerjisinin %3 ile %4 gibi bir kısmını ve tipik bir cevher hazırlama tesisinde ise ihtiyaç duyulan toplam enerjinin %70 in üzerinde harcayan önemli bir süreçtir. Bu nedenle ufalama veriminde çok küçük bir kazancın sağlanması, enerji maliyetinin azaltılmasına çok fazla etkisi olacaktır (Deniz, 2004). Pomzanın gözenekli olması iri boyutlu ufalamada yani kırma işlemlerinde biraz avantaj sağlarken, ince boyutlarda bu avantajı kaybetmektedir. Bu nedenle ufalanma özelliği diğer kayaçlardan farklı bir yapıya sahiptir. Bünyesindeki SiO₂ içeriğinin fazla olması sebebiyle de hem kırmada hem de öğütmede aşınma problemi doğurması sorun teşkil etmektedir. Buradan yola çıkarak ufalama makineleri ve özellikleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

2.5.1. Pomzanın Kırılması

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).

Her ufalama aletinin bir ağız kısmı, kırmanın yapıldığı kısım ve parçaların kırıcıdan çıkış kısmı vardır. Çeşitli kırıcılardan hangisinin uygun olacağının tespiti bu kırıcıya girecek en büyük parça ebadına, istenilen ufalama oranına, kırma kapasitesine ve ayrıca ufalanacak malzemenin özelliklerine bağlıdır.

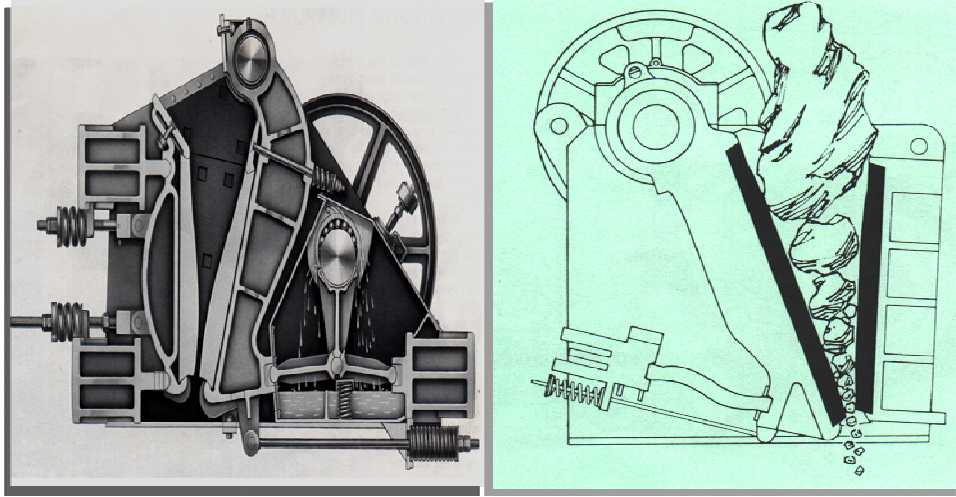
Ufalama aletleri yapı özelliklerine veya ufalamayı doğuran hareketin cinsine göre sınıflandırılabilir (İpekoğlu, 1994).

2.5.1.1. Çeneli Kırıcılar

Kırma, cihazın çene adı verilen iki plakası arasında olur. Çenelerden biri genellikle gövdeye sabit şekilde bağlı, diğeri hareketlidir. Çeneli kırıcı fasılalı olarak kırma yapar. Çalışma süresinin yaklaşık % 70' inde kırma yapacak şekilde dizayn edilmişlerdir (İpekoğlu, 1994).

Bunlar hareketli çenenin mafsallanma şekline göre sınıflandırılırlar. Piyasada en çok kullanılan blake tipi çeneli kırıcıdır.

BLAKE TİPİ: Hareketli çene yukarıdan mafsallı, ağız açıklığı sabit, çıkış açıklığı değişken. En küçük parçaya, en büyük hareketi yapar. Çeneli kırıcılar tek ve çift istinat kollu olmak üzere ikiye ayrılırlar. Şekil 2.4’ de tek ve çift istinat kollu çeneli kırıcılar gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Çeneli kırıcı

Pomzanın kırılmasında çeneli kırıcıları seçerken aşınmanın az olduğu çift istinat kollu olanların seçilmesinde yarar vardır. Tek istinatlı olanlarında kesme kuvvetleri de etkin olduğu için aşınma fazla olacak çeneli plakaların aşınma ömürleri azalacaktır.

2.5.1.2. Jirokopik Döner Kırıcı

Bu tip kırıcılar daha fazla kapasite temin etmek için çeneli kırıcılardan sonra yapılmışlardır (İpekoğlu, 1994).

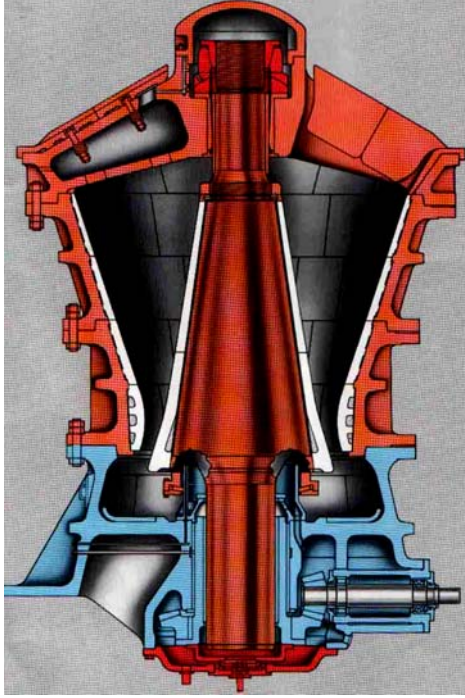
- Ana Mil**: Köprü ortasından asılı ve alt kısmı hızla serbest döner ve sabit kırma zonu içinde eksantriğin jirokopik hareketi nedeniyle konik bir alanı tarar.
- Göbek veya Kırıcı Kafa**: Sert dövme çelikten yapılmıştır. Çan şeklindedir, ana mil ile birlikte döner.

c) Gövde veya Kabuk: Alt ve üst gövde olarak iki kısımdadır. Üst gövde iç yüzeyleri konkavlarla kaplıdır. Tersine dönmüş bir koni şeklindedir. Şekil 2.5’ de döner kırıcı kesiti gösterilmiştir.

Jiroskopik kırıcıların çeşitli tipleri arasında en çok tanınan iki temel tipi vardır.

Oynar Milli

Sabit Milli



Şekil 2.5. Döner kırıcı (Yıldız, 2007)

2.5.1.3. Konik Kırıcılar

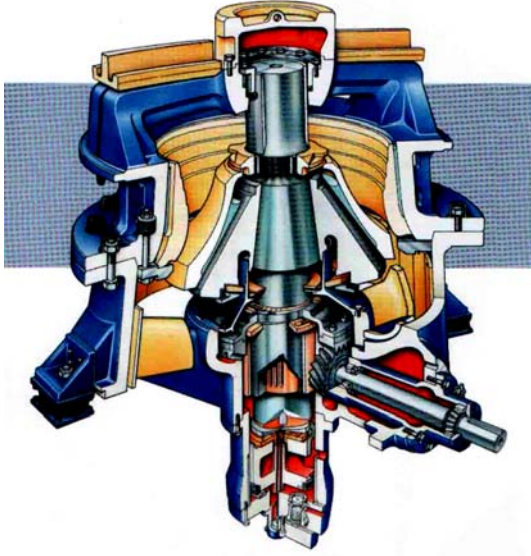
Ana mil, kırıcı kafa veya göbek, kesik koni şeklinde gövde gibi 3 ana parçadan meydana gelmektedir. Daha kısa olan ana mil, üstten asılma yerine kırıcı kafa altında bulunan alt gövdeyle irtibatlı küresel yatak tarafından taşınır. Yukarıdan aşağıya genişleyen bir kesik koni şeklindedir. Kırma zonunun üst kısmını oluşturan göbek konisi yayvandır. Bu kırıcılarda yüksek dönme hızları kullanılır. Bir devir için geçen zaman herhangi bir parçanın paralel bir zondan gravite ile düşmesi için geçen zamandan kısa olduğu için ince kırma zonunda parçaların birden fazla sıkıştırılması mümkün olur. Genelde sert ve aşındırıcı olan malzemelerde ince kırma olarak kullanılırlar (İpekoğlu, 1994).

Şekil 2.6’ da konik kırıcı kesiti gösterilmiştir.

İki tipi mevcuttur.

Standart Tip: Normal sekonder kırma işlemleri için dizayn edilmiştir.

Kısa Kafalı Tipi: Daha ince veya tersiyer kırma işlemlerinde kullanılır.



Şekil 2.6. Konik kırıcı (Yıldız, 2007)

2.5.1.4. Merdaneli Kırıcılar

Yatay ve paralel eksenler etrafında zıt yönlerde dönen iki silindirden ibarettir. Kırılacak parça bu iki silindir arasına girecek baskı zorlaması ile kırılır. Kırıcının ana yapı unsurları şunlardır;

Gövde; Tek bir parçadan ibarettir. Sabit yatağın yatak mesnedi gövdenin bir parçasıdır.

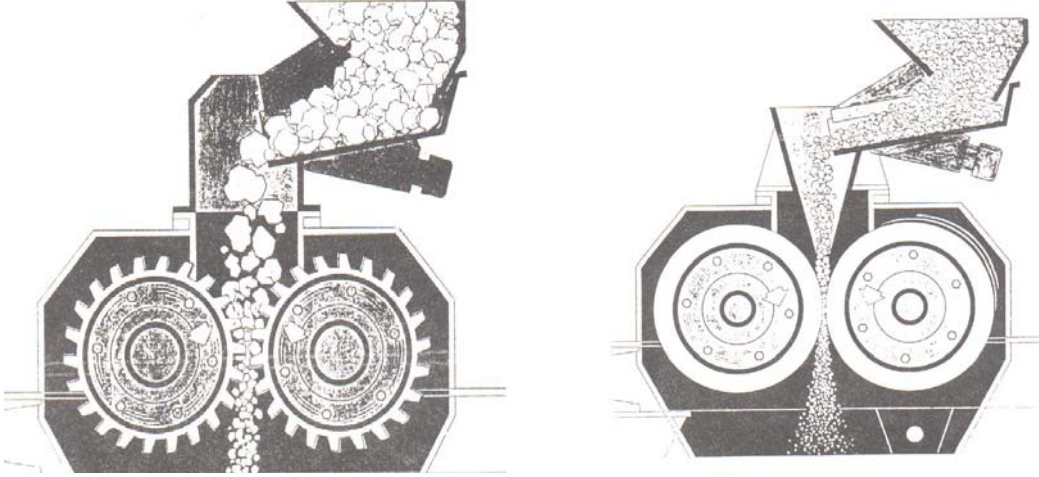
Gergi Çubukları ve Yayları; Bunların görevi kırma esnasında doğacak aşırı yüklere karşı esneklik sağlanmasıdır.

Merdaneler; Merdane milleri yeteri çapta dökme çelikten ve ısıtılmış olarak yapılır. Merdane göbeği milin orta kısmına geçer ve buraya kamalanır.

Volanlar; Dökümden yapılmıştır ve yeteri ağırlıkta ki volanların üst yüzeyleri trapez kayış geçecek şekilde yivlidir.

Merdaneli kırıcılarda malzemenin kırma işleminde kalma süresinin az olması nedeniyle, diğer kırıcılara nazaran daha ince malzeme içeren ürün verirler. İki tip üretilirler.

Düz olan merdaneler ince kırmada, dişli olanlar ise daha çok iri kırmada kullanılırlar. Dar boyutta ürün verirler, yapışkan ve donmuş haldeki cevherlerde kullanılabilirler. Şekil 2.7’ de dişli ve düz merdaneli kırıcılar gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Merdaneli kırıcı (İpekoğlu, 1994)

2.5.1.5. Darbeli Kırıcılar

Kırma işlemi basınçtan ziyade darbe zorlaması ile gerçekleşir. Darbe kuvveti, cevher içinde gerilmelere ve kısa sürede parçalanmaya neden olmakta ve bu kuvvetler parçaların kırıcı plakalarına çarptırılmasıyla daha da arttırılmaktadır (İpekoğlu, 1994).

Bu gerilmesiz tane hali özellikle tuğla, bina inşaatı, yol yapımında, bitüm veya çimento gibi bağlayıcı maddelerin sonradan ilave edildiği endüstri dallarında kullanılan taşlar için önemlidir. Bu nedenle darbeli kırıcılar taş ocaklarında daha çok kullanılmaktadır.

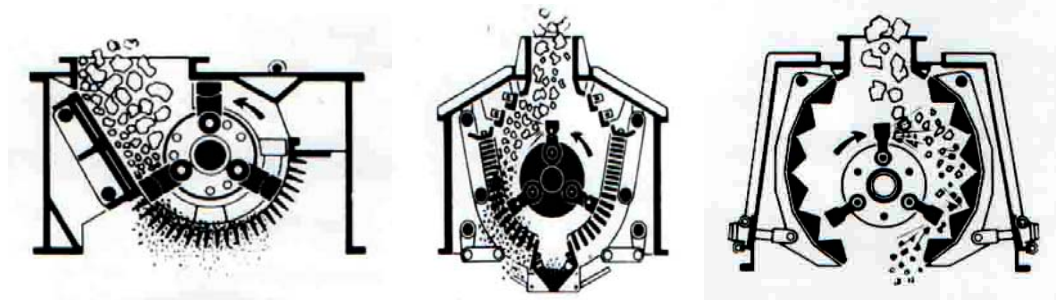
a) Yatay Milli Darbeli Kırıcılar

Çekiçli Kırıcılar; Çekiçten yapılmış bir çeper içinde yatay bir eksen etrafında dönen bir göbek ve bu göbeğin çevresine yerleştirilmiş çekiçler vardır. Çekiçler göbeğe

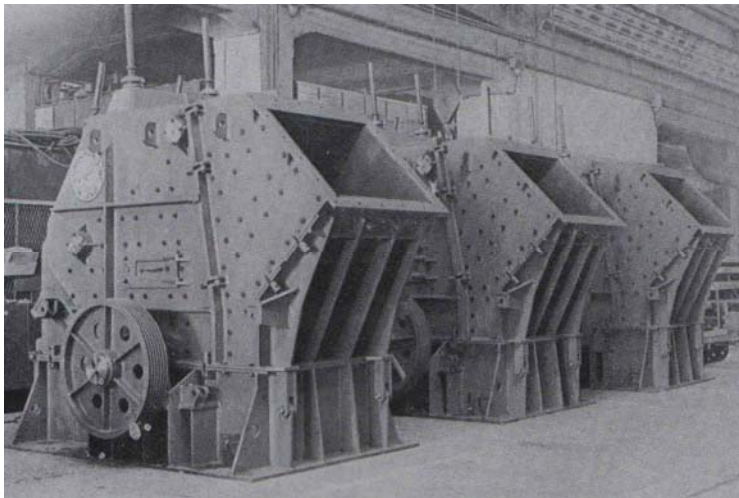
pimler ile gevşek olarak bağlanmıştır. Dönme esnasında merkezkaç kuvveti tesiriyle eksene dik, gergin dururlar. 500–300 dv/dk arasında değişen dönme hızları, 15' e kadar çıkabilen kırma oranına sahiptirler. Yüksek oranda aşınmaları nedeniyle aşındırıcı olmayan yumuşak cevherlerin kırılmasında daha çok tercih edilirler. Ürün özellikleri açısından daha kübik ürün verirler. Ayrıca plastik özellik gösteren malzemelerde daha çok tercih edilirler. Şekil 2.8' de tek rotorlu darbeli kırıcılar gösterilmiştir.

Şoklu Kırıcılar;

- Kırıcı elemanları; yatay mil üzerinde sabit olarak sağlanmışlardır.
 - Elek yoktur,
 - Çok ince malzeme istenmiyor fakat darbe kuvvetine ihtiyaç varsa kullanılırlar.
- Aşınmaya maruz kaldığı için 250–350 dv/dk dönme hızına sahiptirler. Kademeli bir kırma sağlanır. Şoklu kırıcılar, çekiçli kırıcılara oranla daha homojen ürün verirler. Kırma oranları 40' a kadar çıkabilir. Mırcı üretiminde çok kullanılır (İpekoğlu, 1994).



Şekil 2.8. Çekiçli kırıcılar (Yıldız, 2007)



Şekil 2.9. Çekiçli kırıcı

b) Düşey Milli Darbeli Kırıcılar

Aşınma sorunu yatay milli kırıcılara göre biraz daha azdır. Düşey bir mil üzerine yerleştirilmiş olan bir motor sayesinde yüksek bir hızla merkezkaç' a kapılarak aşınmayı önlemek için besleme malzemesi ile doldurulan yan kayaç astarına çarptırılarak darbe etkisiyle kırma yaparlar. Çarpma hızları 50–85 m/sn' dir. Taneler enerjilerini kaybettikçe hazne içindeki girdaba kapılarak dönerler ve birbirlerine sürterek ufalanmaya devam ederler (Yıldız, 1999).

— Besleme akışı iyi sağlanmış olmalı ve kırılacak taneler arası enerji alış verişi dolayısıyla kırma etkinliği arttırılmış olur.

— Düşey milli darbeli kırıcılarda ufalanma; sertlik, öğütülebilirlik, nemlilik, parça boyotu vb. malzeme özelliklerinin yanında rotor hızı, rotor çapı, kırma haznesi profili makine özelliklerine bağlıdır. (Gevşek malzemelerde ve kuru malzemelerde tercih edilir)

— Parça kırılması çoğunlukla mineralleri toz sınırları ve mikro çatlaklar gibi zayıf düzlemler boyuncadır. Kırılmış ürün, geniş bir dağılıma sahip olup ayrıca kübik şekilli ve iç gerilmeleri en aza indirilmiş olur. Şekil 2.10' da düşey milli darbeli kırıcı gösterilmiştir.



Şekil 2.10. Düşey milli kırıcı (Yıldız, 2007)

2.6. Pomzanın Öğütülmesi

Pomza her ne kadar iri boyutlarda ufalanması kolaysa, ince boyutlarda özellikle çok ince boyutlarda (mikron boyutlarında) öğütülmesi diğer tüm cevherlerde olduğu gibi daha zordur. Bunun nedeni, pomzanın mevcut olan gözeneklerinin öğütme boyutunda kaybolması ve kristal boyutuna yakın boyutlara gelmesi yani tek kristal tane boyutuna gelmesidir. Ayrıca bünyesinde bulunan SiO_2 öğütmede aşınma problemini de doğurmaktadır. Öğütme ekipmanlarının seçiminde pomzanın bu özellikleri dikkate alınmalıdır.

2.6.1. Değirmenler

Öğütme, ufalama sürecini en son aşamasıdır. Bu işlemde cevher taneleri şok ve aşındırma işlemleri sonucu, kuru veya yaş olarak ufalanmaktadır. Öğütme işlemi yatay eksenleri etrafında dönen ve değirmen adı verilen aygıtlarla yürütülür. Aygıt içerisinde öğütme ortamı denilen ve serbestçe hareket edebilen öğütme elemanları bulunur. Öğütme ortamı veya elemanları çelik çubuklar, bilyalar, sert kayalar bazı durumlarda cevherin kendisidir. Öğütme işleminde, boyutları 5 ile 50 mm arasında değişen cevher taneleri boyutları 10 ile 300 mikron arasında değişen taneler indirgenirler.

Bütün cevherler için ekonomik bir tane iriliği söz konusudur. Ekonomik tane iriliği pek çok etkene bağlıdır. Bunların en önemlileri; değerli mineral tanelerinin cevher içindeki dağılımı ve öğütmeden sonra cevherin tabi tutulacağı işlemlerdir. Gereğinden az öğütme iri tane üretimine, buna bağlı olarak serbestleşmenin yeteri kadar sağlanamamasına neden olur. Gereğinden çok öğütme ise çok ince tane oluşturarak etkin bir zenginleşmeyi önlediği gibi gereksiz yere enerji tüketimine yol açar.

Doğru bir serbestleşme derecesi öğütmenin ana amacı olmasına rağmen serbestleşmiş cevherin, geniş yüzey alanları elde etmek için daha da öğütülmesi gerekir. Bu durum, eğer cevher hidrometalurjik bir işleme sokulacaksa, çok önemlidir.

Bir değirmendeki öğütme, öğütme ortamının miktarına, hareket şekline ve öğütücü elemanlar arasındaki boşluklara bağlıdır.

Bu özel durumlar dışında, öğütme yaşı olarak yapılan işlemdir. Laboratuvar deneyleri dışında, öğütme sürekli işlemdir. Cevher ön görülen bir hızla, silodan değirmene beslenir, belli bir kalma süresinden sonra, taşımayla değirmeni terk eder. Öğütülen cevherin tane iriliği, öğütme ortamının tipi, değirmen dönme hızı, cevherin doğası ve kullanılan öğütme devresinin tipi tarafından kontrol edilebilir.

Değirmenlerin iç yüzeyleri astarlarla kaplıdır. Astarların iki görevi vardır. Birincisi, değirmen gövdesinin aşınma sonucu zarar görmesini önlemek, ikincisi ise öğütme elemanlarının değirmen içinde belirli bir yüksekliğe çıkmasını sağlamaktır. Değirmen dönme sırasında öğütme elemanları ile astar sürtünmeden dolayı, öğütme elemanları dinamik dengeye ulaşmaya kadar yukarı kaldırılırlar. Öğütme elemanlarının bir kısmı, bu hareket sırasında geriye doğru kayarken bir kısmı biraz daha yükseldikten sonra düşmeye maruz kalırlar. Düşük dönme hızlarında veya astarların düz olması durumunda, öğütme elemanları yuvarlanarak aşağı kayarlar. Bu harekete kaskedon denir ve sonucunda aşınma ile öğütme gerçekleşir. Kaskedon hareketi, oldukça ince tane oluşumuna ve değirmen astarlarının daha fazla aşınmasına neden olur. Yüksek hızlarda veya değirmen astarlarının düz olmaması durumunda öğütücü elemanlar, değirmen içinde daha yükseğe çıkarılırlar ve buradan düşerler. Düşükleri yerlerde bulunan cevher parçalarını, şok ve aşındırma yoluyla öğütürler. Bu hareket ise katarkit adını alır ve daha iri ürün sağlandığı daha iri ürün sağlandığı gibi daha az astar aşınmasına neden olur.

Dönme hızı çok yüksek olursa, öğütme elemanları düşmeden değirmen astarına yapışık olarak kalırlar. Bu durumda öğütme söz konusu olmayacaktır. Öğütme elemanlarının değirmen iç yüzeylerine yapışarak, değirmenle birlikte dönmelerine neden olan değirmen hızı kritik hız olarak tanımlanır.

$$N_c = 42,3 / (D - d)^{1/2} \quad (2.1)$$

D = değirmen iç çapı (m)

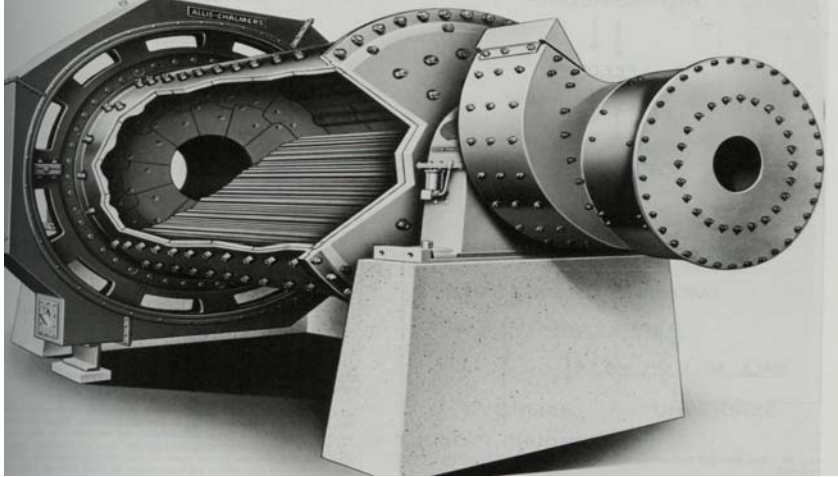
d = öğütme elemanlarının çapı (m)

Eşitlik değirmen astarı ile öğütme elemanı arasında kayma olmadığını varsaymaktadır. Değirmenler, uygulamada kritik hızların % 50–90 arasındaki hızlarda çalıştırılırlar (Özdağ, 1992).

2.6.1.1. 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. Uzunluk/çap oranının 2,5’den 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 yapılır. Kuru malzeme, düşük bir akıcılığa sahiptir ve çubukların bükülmesine ve kırılmasına yol açan çubuk şişmesine neden olurlar. 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 gerekmiyor. Şekil 2.11’de çubuklu değirmen kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Çubuklu değirmen (Yıldız, 2007)

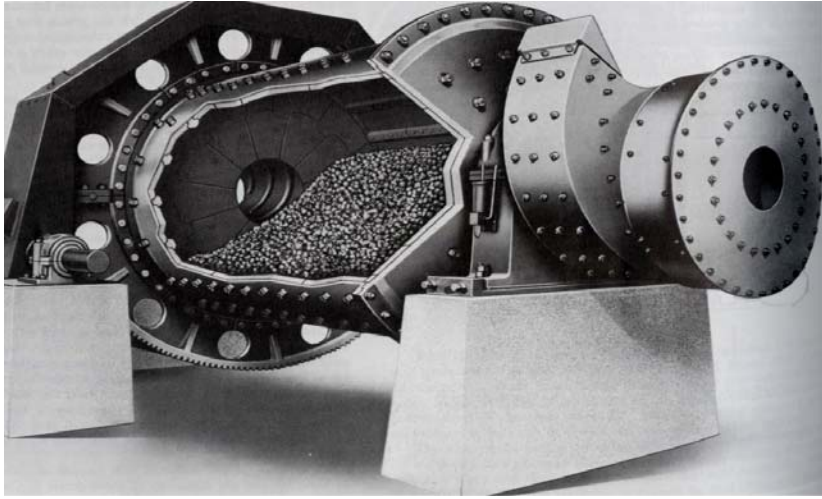
2.6.1.2. Bilyalı Değirmenler

Bilyalı değirmenler, ufalama sürecinin en son aşamasında kullanılan öğütme aygıtlarıdır. Birim ağırlık için bilya yüzey alanı çubuklardan daha fazla olduğu için bilyalı değirmen ince öğütme için daha uygundur. Bunların uzunluk/çap oranı 1–1,5 ile sınırlıdır. Bilyalı değirmenlerde öğütme işlemi, yaş veya kuru olarak yapılabilir. Kuru öğütme de, 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 boyutunu 1 mm olduğu bulunmuştur. Bazen çok daha iri beslemede yapılabilir. 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. Bilyalı 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 iyidir. İnce öğütmede daha düşük pülp yoğunlukları istenir. Pülpün viskozitesi ince tane miktarı arttıkça artar.

Bilyalı 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, 1994). Çubuklu değirmen astarlarının aksine, bilya ile astar arasında noktasal değme söz konusu olduğundan, bilyalı değirmen astarlarının daha sağlam olmaları istenir. Şekil 2.12' de bilyalı değirmen kesiti gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Bilyalı değirmen (Yıldız, 2007)

2.6.1.3. Çakıl Değirmenler

Çakıl değirmenlerde, cevherin daha ince öğütülebilmesi için öğütücü olarak, otojen değirmenlerden alınmış kritik boyuttaki cevherin yanı sıra, çakmak taşı veya seramik çakıl da kullanılmaktadır. Öğütücü çakıl, kırma veya otojen öğütme devrelerinden cevher elenerek sağlanır. Bazen kullanılan çakıl, doğadan cevher olmayan kayaçlardan da elde edilebilir. Otojen ve yarı otojen değirmenler birinci, çakıl değirmenler, ikinci kademe öğütmede kullanılırlar (Yıldız, 1999).

Tek kompartımanlı ve öğütücü ortam olarak elekten geçirilmiş sert cevher parçaları kullanan değirmene çakıllı değirmen adı verilmektedir. Birim hacim için çakıl ağırlığı bilya ağırlığının %35-50'si kadar olduğunda ve güç sarfıyatı öğütücü ortam

ağırlığı ile direk bağlantılı olduğundan, çakıllı değirmen kapasitesi ve güç sarfıyatı, bilyalıya göre düşüktür (İpekoğlu, 1994). Özellikle, cam kumu, seramik hammaddeleri gibi öğütülecek malzemelerde herhangi bir metal kirlenmesi istenmiyorsa, çakıl değirmenler kullanılabilir (Özdağ, 1992).

2.6.1.4. Otojen Değirmenler

Otojen öğütme, tüvenan veya iri kırılmış cevherin, herhangi bir öğütücü ortam kullanmaksızın, bir değirmende öğütülmesi işlemini ifade eder. Yarı-Otojen öğütme, tüvenan veya ince kırılmış cevherin, bir değirmende, metal bilyaların da kullanılmasıyla öğütülmesi demektir. Parça öğütmesi, iri cevher parçalarının aynı cevherin ince tanelerini, bir değirmende, öğütmesi işlemini belirtmek için kullanılır. Bu işlemin olabilmesi için öğütülecek cevherin ince kırma işleminden geçirilmesi gerekmektedir (İpekoğlu, 1994).

Şekil 2.13' de otojen değirmen gösterilmiştir.



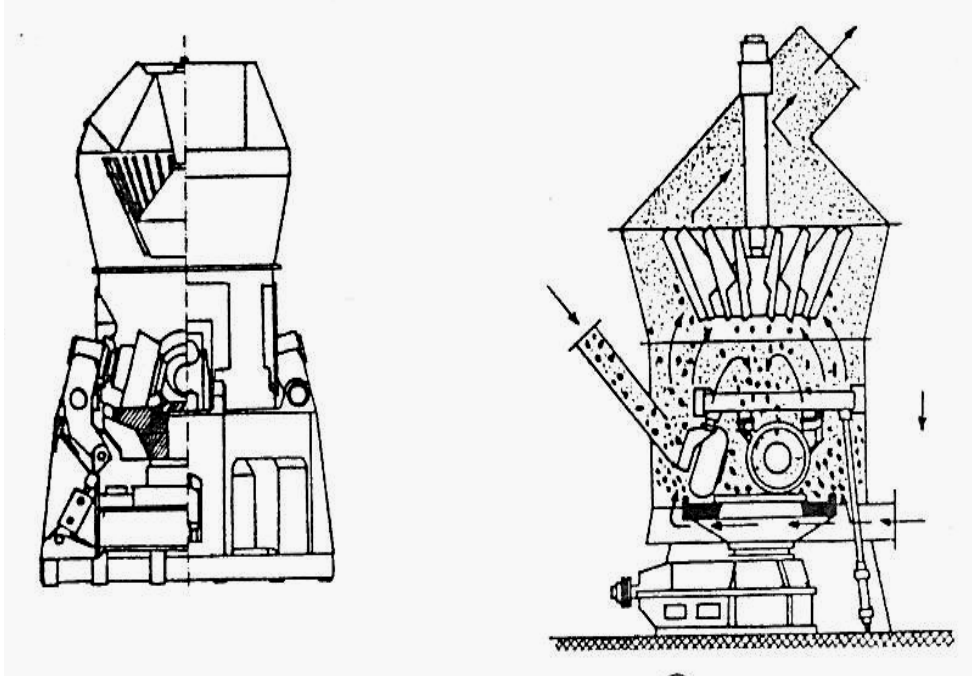
Şekil 2.13. Otojen değirmen (Yıldız, 2007)

2.6.1.5. 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. Rulolar üzerine öğütülecek malzemeye, istenilen boyuta ve kapasiteye göre belirli bir basınç uygulanır. Öğütülen malzeme, ortamdaki fanların oluşturduğu hava akımı ile alınır. Son yıllarda 600t/h kapasiteli 4000 kw motor gücünde valsli değirmenler üretilmiştir.

Düşük enerji maliyeti, az yer kaplamaları, düşük ses seviyesi, malzemenin değirmende kalış zamanının az olması, öğütme ve sınıflandırmanın aynı makine içerisinde yapılabilmesi, toz emisyonunun olması başlıca avantajlarıdır. Bunların yanında yalnız kuru öğütme yapması, aşınma probleminin olması ve çok ince ürün eldesinin (10mikron altı) zor olması dezavantajlarıdır. Şekil 2.14’ de valsli değirmenler gösterilmiştir (Yıldız, 2007).

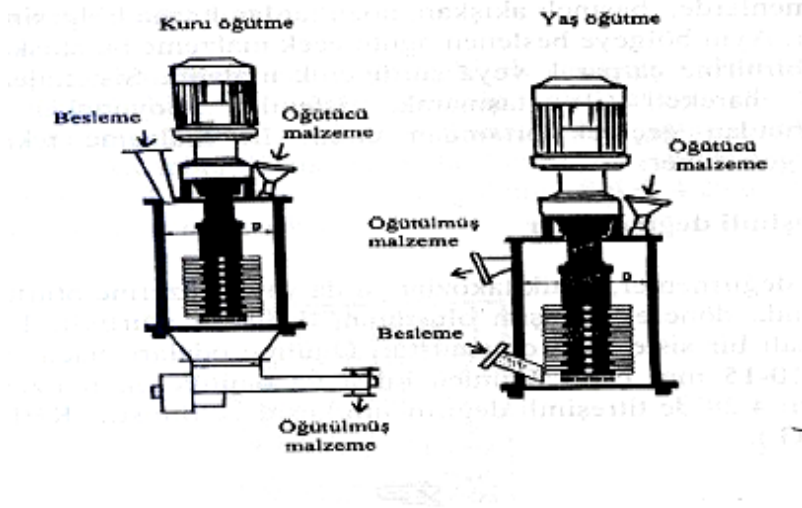


Şekil 2.14. Valsli değirmen (Yıldız, 2007)

2.6.1.6. Karıştırma Değirmenleri

En çok bilinen Karıştırma değirmenleri SAM tipi olup, 1,5–3 m yüksekliğinde 28–85 cm çapında yüksek kromlu gövdeden oluşmuştur. 10–35 cm çapında bir mil (Kule değirmenlerinkinde daha büyük çaplı) gövde içinde üstten yataklanmıştır. Bu milin üzerinde aşındığında kolayca değiştirilen, tungsten karbit pimleri (pim, disk veya boru) yerleştirilmiştir. Mil döndürüldüğünde, pimler değirmen içerisindeki ortamı karıştırmakta, karıştırma süresince malzeme öğütülmektedir. Değirmenin iç kısmı

aşınmaya karşı Mn'li astarla kaplanmıştır. Genelde düşey olarak tasarlanan bu tip değirmenler günümüzde yatay olarak tasarlanabilmektedir. Öğütme ortamı olarak 0,3-2mm boyutunda çelik bilya ilave edilmektedir. Öğütme işlemi yaş ve kuru olabilmektedir. En büyük dezavantajları aşınma sorunu olmasıdır. Enerji maliyetleri, bilyalı değirmenlerin %25 ile %50'si kadardır. Şekil 2.15' de dikey çalışan karıştırırmalı değirmenler gösterilmiştir (Yıldız, 2007).

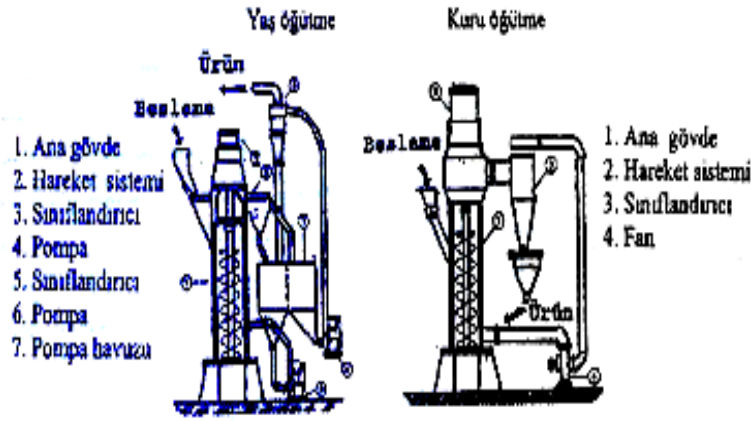


Şekil 2.15. Karıştırırmalı değirmenler (Yıldız, 2007)

2.6.1.7. Kule Değirmenleri

Aktarılan ortam değirmenlerinde öğütmede enerji masrafının çoğu ısı ve ses olarak kaybedildiği için bu değirmenler geliştirilmiştir. Kule değirmenler yaş ve kuru olarak özellikle çok ince öğütme de yaygın kullanım alanı bulmaya başlamıştır. Çelik bilya, seramik veya doğal çakıllar ve diğer öğütücü malzemeler, çift sarımlı spiral ile karıştırılarak öğütme işlemi yapmaktadırlar. Karıştırma spirali, bilyaları yukarı doğru kaldırırken daha çok aşındırma etkisi ve spirallerin üst kısımlarından düşen bilyalar ise basınç etkisi ile öğütme sağlarlar. Bir araştırmaya göre kule değirmenleri %35 - %40 oranında bilyalı değirmenlere göre daha az enerji harcarlar. —6,5mm' lik malzemelerin öğütülmesinde kullanılır ve 5mikronun altına çok kolay indirilebilmektedir. Kapasiteleri 50t/h' den 100t/h' e kadar çıkabilen değirmenler üretilebilmektedir.

Sonuç olarak kule değirmenler çok düşük çalışma maliyeti, az yer kaplama ve daha az gürültü ve titreşim gibi özellikleri ile tercih edilen bir değirmen olup, çok ince boyutlarda öğütme için önemli bir aygıt olmaktadır. Bunun yanında ise aşınma ve kapasite gibi dezavantajları da vardır. Şekil 2.16’ da kule değirmenler gösterilmiştir (Yıldız, 2007).

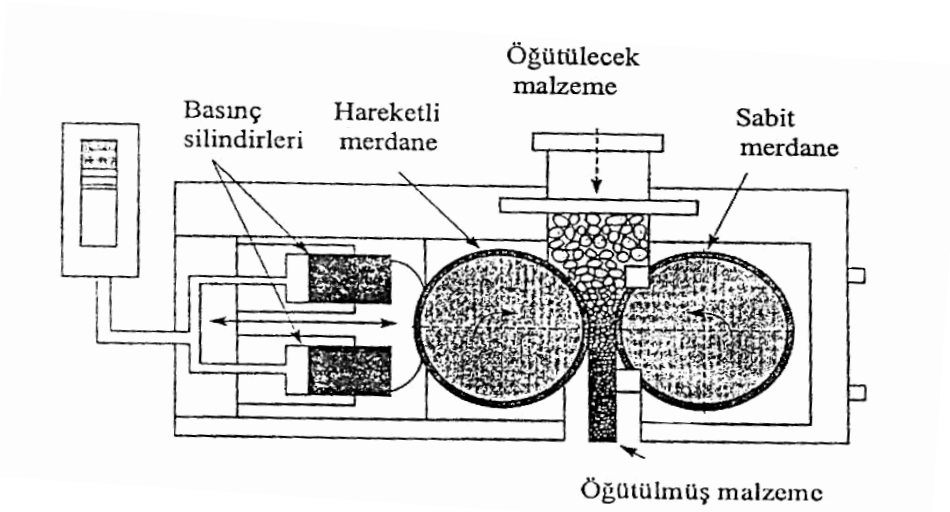


Şekil 2.16. Kule değirmenleri (Yıldız, 2007)

2.6.1.8. Yüksek Basıncılı Öğütme Merdaneli

Yaygın olarak, çimento sektöründe klinker öğütülmesinde kullanılan yüksek basınçlı öğütme merdaneleri, kireçtaşı, dolomit, kurşun, çinko, altın, demir, elmas, bakır, krom gibi cevherlerin, kırma ve öğütme devrelerinde de kullanılmaktadır. Yüksek basınçlı öğütme sistemi, birbirine doğru dönen, iki adet geniş çaplı, dar yüzeyli merdanelerden oluşmuştur. Yüksek basınçlı öğütme merdanelerinin çalışma prensibi, hareket halindeki cevhere biri sabit diğeri hareketli yeterli büyüklükte bir basıncın uygulanmasına dayanır. Yüksek basınçlı öğütme merdaneleri, şekil olarak merdaneli kırıcılara benzemesine karşın uygulaması oldukça farklıdır. Basıncılı öğütme merdanelerinde, kırma bölgesinde uygulanan basınçtan dolayı işletme yoğunluğu, malzemenin özgül ağırlığının %85’i kadar yüksek olabilir. Bu nedenle kapasiteleri oldukça yüksektir.

Kullanılan merdaneler, aşınmaya dayanıklı Ni-hard yada yüksek Cr'lu aşınma plakaları ile kaplanmıştır. Yüksek basınçlı öğütme merdaneleri kullanılarak klasik boyut küçültme teknolojilerine göre enerji tüketiminde %15-50 oranlarında tasarruf sağlanmıştır. Yüksek basınçlı öğütme merdanelerin uygulama alanları genellikle gevrek yapılı, yumuşak ve orta sertlikte az aşındırıcı malzemelerin öğütülmesi ile sınırlı kalmaktadır. Şekil 2.17' de yüksek basınçlı öğütme merdanesi gösterilmiştir (Yıldız, 2007).



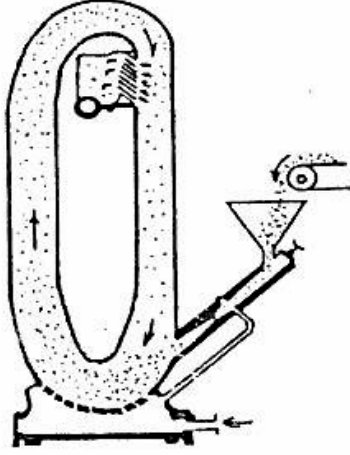
Şekil 2.17. Yüksek basınçlı öğütme merdanesi (Yıldız, 2007)

2.6.1.9. Akışkan Enerjili Değirmenler

Bu değirmenler, -325 mikron boyutundaki malzemeyi 1–4 mikron boyutuna kadar öğütebilir. Genellikle yumuşak ve az aşındırıcı malzemeler için kullanılan bu değirmenler, son yıllarda silis, feldspat, cam, zirkon, kömür gibi aşındırıcı malzemelerin öğütülmesinde de kullanılmaktadır.

Değirmende akışkan olarak genellikle 100–150 psi basınçlı hava, ya da 400C⁰ üzerine ısıtılmış basınçlı buhar kullanılır. Bu değirmenlerde, basınçlı akışkan, nozullardan kırma bölgesine büyük bir hızla girer. Aynı bölgeye beslenen öğütülecek malzeme bu akışkanın hızının etkisiyle birbirine çarparak ya da sürtünerek ufalanır, Sistemdeki malzeme akışkanın hareketiyle taşınarak, istenen boyuttaki malzemeler

sınıflandırıcıdan geçerek ortamdan alınır. İri malzeme tekrar öğütme bölgesine geri döner. Şekil 2.18’ de akışkan enerjili değirmen gösterilmiştir (Yıldız, 2007).



Şekil 2.18. Akışkan enerjili değirmen (Yıldız, 2007)

2.6.1.10. Titreşimli Değirmenler

Titreşimli Değirmenler dar bir boyut sağlayabilmeleri, düşük enerji tüketimleri düşük ürün kirliliği vs. gibi nedenlerden dolayı birçok endüstride minerallerin ince ve de süper ince boyutlara öğütülmesini sağlamak için kullanılmakta olan önemli bir değirmen türüdür. Bu değirmenlerde değirmenin kabı, bir boru olmaktadır ve hacminin %65–80 i öğütücü ortam ile doldurulur. Bilyalı değirmenlere göre daha düşük bir kapasiteye de sahiptir. Bu kapasite yaklaşık 18 ton/h civarındadır.

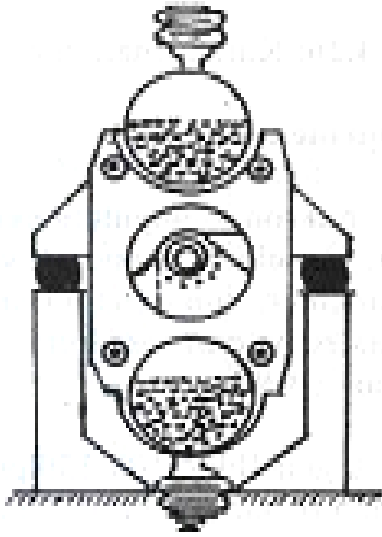
Öğütücü ortam bilyalar, çubuklar ya da silindirler olabilir. Öğütücü ortamın şekli ise ya boru şeklinde silindirik ya da halka şeklindedir. Sert ve aşındırıcı malzemelerin öğütülmesinde oldukça uygundur. Salınım çapı, alıkonma süresi vs. gibi parametrelerin ayarlanmasıyla beslemeleri de işleyebilmektedir. Bunlar kireçtaşı, alçıtaşı, boksit, dolomit, alumina, korundum, silimanit, manyezit, kromit, florit gibi malzemelerdir. Öğütme hem yaş hem de kuru olarak gerçekleştirilebilmektedir. Fakat yaş öğütme burada nadiren uygulanmaktadır.

Ayrıca titreşimli değirmenlerin bazı özel uygulamaları vardır.

- Kurutulmuş kömürün öğütülmesi
- Hidrometalurjide liç reaktörü olarak kullanımı

Besleme boyutu 30 mm' dır. Öğütülen ürünün %90'ının tane inceliği $-5 \mu m$ kadar uzak olabilmektedir.

Titreşimli değirmenlerde titreşim genlik ve frekansı, değirmen dolma oranı, öğütücü ortamın şekli, boyutu ve yoğunluğu, gibi parametreler öğütmeyi doğrudan veya dolaylı olarak etkileyen parametrelerdir. Genellikle düşey bir düzlemde titreştirilecek şekilde tasarlanmıştır. Şekil 2.19' da titreşimli değirmen gösterilmiştir (Yıldız, 2007).



Şekil 2.19. Titreşimli değirmen (Yıldız, 2007)

2.7. Öğütmenin Tarihsel Gelişimi

Bugüne kadar birçok öğütme devreleri klasik metotlar kullanılarak dizayn edilmiştir. Klasik boyut küçültme yasalarından Rittinger(1867); boyut küçültme işlemi sonucu tüketilen enerjinin yeni oluşan yüzey alanı ile orantılı olduğunu, Kick (1885) ise; eşit teknolojik konumda ve geometrik olarak benzer cisimlerde benzer değişiklikler için gerekli enerji, cismin ağırlığına ve hacmine göre değişir, görüşümü öne sürmüştür. Andreasen (1957); Kick yasasına benzer olarak yola çıkmış, ancak tane boyu azaldıkça öğütme veriminin azalması nedeniyle, enerjinin yüzey alanı ile orantılı olabileceği görüşüne yer vermiştir. Bond (1952) ise bir cismin enerji içeriğinin cismin tane boyunun tersinin karekökü ile orantılı olduğunu öne sürmüştür. Bütün bu yasalar enerji ve tane boyu arasındaki ilişkileri matematiksel olarak ortaya koymaya

çalışmışlardır. Bu yasalar birçok eksiklerine rağmen belirli koşullarda geçerli olup, birbirini tamamlayıcı niteliktedir (Teke, 1998).

Öğütebilirliğin tayini için Bond tarafından geliştirilen ve yaygın biçimde kullanılan iş endeksi tahmini güç hesaplamalarında daha güvenilir sonuçlar verdiği ve daha geniş uygulama alanına sahip olduğu görülmüştür (Demirel ve Öztürk, 1988). Ancak çok uzun zaman alması ve işlemsel hatalara duyarlı olması nedeniyle son yıllarda uygulaması pratik olan yeni metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlardan en önemlileri Magdalinoviç (1989)' in geliştirdiği yöntem ile Kapur (1970) ve Kara (1981)' nın simülasyon yöntemleridir. Yapılan çalışmalarda, en iyi yöntemin Magdalinoviç olduğu, bu yöntemi Kapur ve Kara yöntemlerinin izlediği tespit edilmiştir. Ayrıca Köse ve Koç (1990) daha az deneyle, Demirel ve Sönmez (1992) ise benzetişim kullanarak, Bond iş endeksini başarıyla tespit etmişlerdir (Teke, 1998).

Son yıllarda bilhassa öğütme konusunda teorik bazda yeni bir yaklaşım geliştirilmiş olup, iki temel kavram kullanılmaktadır. Birincisi kümülatif kaybolma hızına dayalı model, ikincisi ise enerji tüketimine dayalı modeldir. Kümülatif kaybolma hızına bağlı modelde, kırılma malzemelerin tane boyuna bağlı olarak hangi hızda kırıldığı ve hangi boyutlara dağıldığı esas alınmaktadır. Enerji tüketimine bağlı modelde ise kırılma hızı değerlerinin saptanması sırasında $T(\text{zaman})$ değeri yerine $E(\text{özellik enerjisi})$ değeri alınmaktadır.

Kinetik modelde, her bir malzemenin kırılma ve dağılma özelliklerini tanımlayan parametreler tespit edilerek kırılma hızını ve dağılımını tanımlayan matematiksel ifadeler geliştirilmiştir. Bu şekilde kırılma işlemi, matematiksel ifadelerle tanımlandığından, kırma ve öğütme işlemi sonunda elde edilecek ürünün tane boyu dağılımı ile miktarının hesaplanması mümkün olmaktadır. Bu hesaplamaların yapılmasında benzetişim metotları ve hazır simülasyon programları kullanılmaktadır (Austin ve Ark., 1984).

2.7.1. Öğütme Kinetiğine Teorik Yaklaşım

Bir değirmende etkili bir kırılma oluştuğunda, malzemenin birinci boyut fraksiyonu veren kırılma, birincil kanuna uyar. Böylece, en üst boyut içinde malzemenin kırılma hızı aşağıdaki şekilde tarif edilebilir (Austin ve Ark., 1981).

$$\frac{-dw_1}{dt} = S_1 w_1(t) \quad (2.2)$$

S_1 , zaman bağlı olduğu kabulüyle eşitliğin entegrali alındığında;

$$\log(w_1(t)) - \log(w_1(0)) = \frac{-S_1 t}{2.3} \quad (2.3)$$

Burada, $W_{1(0)}$ ve $W_{1(t)}$; sırasıyla t' inci ve 0'inci zamandaki birinci boyutun spesifik kırılma hızı (dk^{-1}), t ise; öğütme zamanıdır.

Lineer bir ölçekte t zamanına karşı, Spesifik Kırılma Hızı (S_1) eğilimli olan düz bir doğru elde edilmektedir.

Spesifik kırılma hızının genel bir matematiksel formülü Austin ve arkadaşları (1984) tarafından verilmiştir

$$S_i = a_T X_i^\alpha \quad (2.4)$$

Burada; X_i : i fraksiyonundaki üst boyutu (mm), a_T ve α ise; öğütme şartları ve malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametreleridir.

Kırılan veya öğütülen malzemenin hangi boyut fraksiyonuna nasıl dağıldığı “kümülatif kırılma fonksiyonu” olarak tariflenmiş ve aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Kısa öğütme süresi verilerinden elde edilen boyut dağılım serisini temsil eden bu fraksiyonda, söz konusu parametreler, Austin ve arkadaşlarının (1984) verdiği, eşitlik (2.3)'den (BII yaklaşımı) elde edilen değerlere karşı nispi bir boyut grafiği çizildiğinde bulunur.

$$B_{i,j} = \sum_{k=n}^i b_{k,j} \quad (2.5)$$

$$B_{i,j} = \frac{\log[(1-P_i(0))/\log(1-P_i(t))]}{\log[(1-P_{j+1}(0))/\log(1-P_{j+1}(t))]} \quad n \geq i \geq j+1 \quad (2.6)$$

Burada;

$P_{i(0)}$ = i. boyut aralığında beslenen malzemenin kümülatif elek altı %' si

$P_{2(0)}$ = 2. boyut aralığında beslenen malzemenin kümülatif elek altı %' si

$P_{i(t)}$ = i. boyut aralığında t anındaki malzemenin kümülatif elek altı %' si

$P_{2(t)}$ = 2. boyut aralığında t anındaki malzemenin kümülatif elek altı %' si

$B_{i,j}$ deneyseldir ve aşağıdaki fonksiyona göre çizilmelidir.

$$B_{i,j} = \phi_j (X_{i+1}/X_j)^\gamma + (1-\phi_j)(X_{i+1}/X_j)^\beta \quad 0 < \phi_j < 1 \quad (2.7)$$

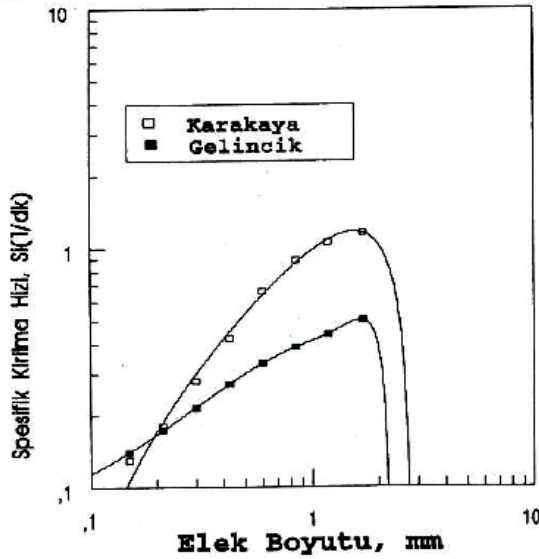
$$\phi_j = \phi_1 [X_i / X_1]^{-\delta} \quad (2.8)$$

Burada δ , β , γ ve ϕ_1 malzemenin özelliklerine bağlı olan model parametreleridir. Bu parametreler farklı bilya oranları, değirmen çapları vb. için aynıdır (Austin ve Ark., 1984). Eğer $B_{i,j}$ değerleri normalize olmuş ise yani boyut açıklığından bağımsız ise $\delta=0$ 'dır ve bu durumda $\phi_j=\phi_1$ dir. Kırılma fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan iki genel metot vardır. Birincisi, kesikli şartlarda pilot veya laboratuvar değirmende S ve B fonksiyonlarının deneysel olarak belirlenmesidir. İkincisi, endüstriyel değirmenlerde ölçülen verilerden ters hesaplama metodu ile S ve B'nin belirlenmesidir (Austin ve Ark., 1984).

2.7.2. Önceden Yapılmış Çalışmalar

Onur (1999) Karakaya ve Gelincik isimli iki farklı pomza örneğinin kesikli öğütme koşullarında öğütülebilirlik özelliklerini, kritik model kullanarak araştırmıştır. Bunun için öncelikle 1,7–0,106 mm arası kök iki elek serisine göre 8 dar boyut fraksiyonu

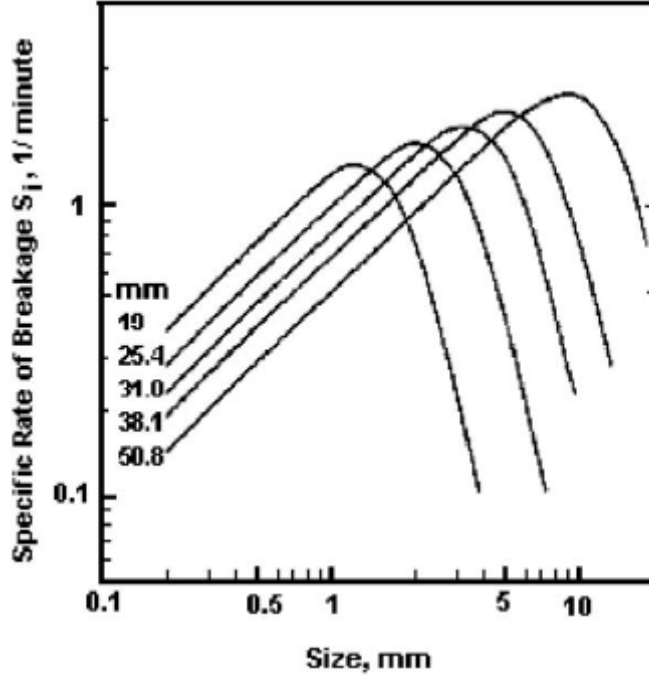
hazırlamış ve farklı öğütme zamanlarında elde edilen boyut dağılımlarından S_i ve B_{ij} denklemleri elde edilmiş ve model parametreleri kıyaslanmıştır. Şekil 2.20’ de görülen sonuç Karakaya pomzasının Gelincik pomzasına göre daha etkin bir şekilde öğütülebileceğidir. Bunun nedeni ise Karakaya pomzasının SiO_2 oranının az ve gözenekliliğin fazla olması Gelincik pomzasının ise kompakt ve SiO_2 oranının daha yüksek olmasıdır.



Şekil 2.20. Farklı boyutlar için Karakaya ve Gelincik pomzalarının spesifik kırılma hızı (S_i) eğrileri

Yekeler (1995) tarafından -600+425 mikron besleme boyutundaki kuvars mineralinin %100’ünün 38 mikronun öğütülebilmesi için 194 mm iç çapında değirmen, 25 mm çapında çelik bilyalar kullanarak standart kırılma testleri yapılmıştır. Amaç, yaş öğütme koşulları ile kırılğan endüstriyel minerallerden biri olan kuvarsın öğütülebilirlik limitini ve kuru öğütme süresi artıkça değirmende ince tanelerin artması, öğütmenin “yavaşlama etkisi “ nedeniyle zorlaşması ve aglomerasyon oluşması bilinmektedir. Bunları önlemek için artan değişimlerde disperant (sodyum metafosfat) kullanılarak ulaşabilecek en son öğütme kinetiğine ulaşılmıştır. Elek analizi standart eleklerle önce yaş sonra kuru olarak yapılmıştır ve kısa öğütme süreli (1 dakika) üründen “Kümülatif Kırılma Dağılım Fraksiyonu “değerleri (B_{ij}) elde edilmiştir. Kuru öğütme ile kıyaslandığında yaş öğütmenin daha verimli olduğu bulunmuştur. Standart kırılma testleri sonucunda -600+425 mikron fraksiyonunun kırılma hızı (S_i) $0,63 \text{ dak}^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Austin ve çalışma arkadaşları (1984) bilya çapının kırılma hızıyla olan ilişkisini Şekil 2.21’ de gösterildiği şekilde olduğunu belirtmişlerdir. Buna göre bilya çapının artması kırılma hızını oluşturduğu gözlenmektedir (Erkan, 2000).



Şekil 2.21. Bilya çapının kırılma hızıyla olan ilişkisi

Austin ve çalışma arkadaşları (1984) kümülatif kırılma parametrelerine (β 'nın sabit kaldığı durumdaki γ ve Φ değerleri) Kuvarsın kuru öğütülmesi üzerine bilya boyutunun etkisini Çizelge 2.5’deki gibi olduğunu belirtmiştir(Erkan, 2000).

Çizelge 2.5. Kuvarsın kuru öğütülmesinde bilya boyutunun fraksiyonu olarak “B”parametreleri

d, mm	γ	Φ
19	1.10	0,51
22	1,09	0,58
25	1,08	0,63
32	1,05	0,68
38	1,00	0,69
44	0,95	0.70
51	0,80	0.70
64	0,78	0.70

V. Deniz & N. Sütçü tarafından, son yıllarda çimento sektöründe önemli kullanım alanına sahip olan Doğal Amorf Silika (DAS) örneği üzerinde (Isparta- Keçiborlu), kesikli öğütme koşullarında bilya yükü ve malzeme yükünün etkisi bir kinetik model üzerinde araştırılmıştır. Bunun için, öncelikle 1.7-0.106 mm arası $\sqrt{2}$ elek serisine göre 8 dar boyut fraksiyonu hazırlanmış ve laboratuvar bilyalı değirmeninde (20 x 20 cm) dört farklı malzeme doluluk oranında (%5, %10, %15, ve %20) ve dört farklı bilya yükünde (%10, %20, %30 ve %40), farklı öğütme sürelerinde elde edilen boyut dağılımlarından kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonları elde edilmiş ve kinetik model parametreleri (S_f , a_b , α , γ ve ϕ_J) kıyaslanmıştır. Bu parametreler Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7’ de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Amorf silikanın farklı malzeme yükü için model parametreleri

f_c %	S_f -0.425+0,300 mm	α	a_t	γ	ϕ_J
5	1,739	1,47	3,83	0,73	0,39
10	1,101	1,28	2,93	0,64	0,31
15	0,772	0,97	1,85	0,54	0,29
20	0,654	1,02	1,28	0,51	0,27

Çizelge 2.7. Amorf silikanın farklı bilya yükü için model parametreleri

J %	S_f -0.425+0,300 mm	α	a_t	γ	ϕ_J
20	1,677	1,23	2,54	0,61	0,24
30	1,597	1,22	2,99	0,67	0,36
40	1,603	1,18	3,26	0,69	0,44
50	1,715	1,25	3,98	0,75	0,53

Teke (1998) tarafından yapılan doktora tez çalışmasında; kalsit ve barite ait kırılma karakteristiğini belirleyen parametrelerin tespit edilmesi için laboratuvar ölçekli değirmende S(özellik kırılma hızı) ve B(kümülatif kırılma dağılımı) testleri yapılmıştır. Deneylerde kullanılmak üzere $\sqrt{2}$ serisine göre -850+600, -600+425, -425+300 ve -300+212 μm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan

numuneler üç farklı bilya çapında (46mm, 26mm, 12,8mm) laboratuvar ortamında denenmiş ve kırılma hızı ve kümülatif kırılma dağılımı fonksiyonları elde edilmiş ve kinetik model parametreleri (S_i , α , β ve ϕ_I) kıyaslanmıştır. Bu parametreler Çizelge 2.8, Çizelge 2.9, Çizelge 2.10 ve Çizelge 2.11’ de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Bilya çapına bağlı olarak kalsitin kırılma hızı değerleri, dakika⁻¹

Değirmen bilya çapı, mm	Besleme Boyut Fraksiyonu			
	-850+600 μm	-600+425 μm	-425+300 μm	-300+212 μm
12,8	1,25	1,00	0,80	0,64
26,0	0,86	0,72	0,53	0,42
46,0	0,60	0,50	0,38	0,29

Çizelge 2.9. Kalsitin birincil kırılma dağılım fonksiyon değerleri

Parametreler	Besleme Boyut Fraksiyonu			
	-850+600 μm	-600+425 μm	-425+300 μm	-300+212 μm
Φ	0,62	0,67	0,65	0,67
γ	1,06	0,94	0,92	0,87
β	4,45	4,11	4,25	4,80

Çizelge 2.10. 26mm çaplı bilya ile kuru öğütülmüş baritin özgül kırılma hızı değerleri

Özellikler	Besleme Boyut Fraksiyonu		
	—850+600 μm	-600+425 μm	-425+300 μm
Özgül kırılma hızı, dakika ⁻¹	0,99	0,78	0,66

Çizelge 2.11. Kalsitin birincil kırılma dağılım fonksiyon değerleri

Parametreler	Besleme Boyut Fraksiyonu		
	-850+600 μm	-600+425 μm	-425+300 μm
Φ	0,67	0,70	0,69
γ	0,79	0,80	0,85
β	4,28	3,81	3,73

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Öğütme deneylerinde kullanılmak üzere Isparta, Kayseri, Kars ve Nevşehir bölgesinden alınmış parça pomzalar kullanılmıştır. Bu numunelere ait analiz değerleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir. Pomza örneklerinin kimyasal analizleri incelendiğinde Nevşehir pomzasının SiO_2 değerinin en yüksek olması, Kayseri pomzasının SiO_2 değerinin ise en düşük olması göze çarpmaktadır. Ayrıca Al_2O_3 miktarı Isparta pomzasın da en yüksek değerdedir.

Çizelge 3.1. Pomza numunelerinin kimyasal analizleri

Eleman(%)	Nevşehir	Kars	Isparta	Kayseri
SiO_2	73,36	72,30	71,20	67,40
Al_2O_3	10,30	10,26	13,01	11,63
Fe_2O_3	2,13	1,62	1,80	3,29
CaO	6,69	6,52	5,94	7,18
MgO	0,67	0,14	0,96	0,85
SO_3	0,00	0,01	0,33	0,00
Na_2O	3,12	2,95	3,28	3,06
K_2O	1,72	1,65	0,89	1,88
TiO_2	0,25	0,28	0,48	0,76

3.2. Yöntem

Bu çalışmanın kapsamı içinde aşağıdaki çalışma programı uygulanmıştır.

- 1- İlk olarak numunelerin Standart Bond Öğütülebilirlik deneyleri yapılmıştır.
- 2- Numunelerin kırılma karakteristiğini belirleyen parametrelerin tespit edilmesi için laboratuvar ölçekli bilyalı değirmende deneyler gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Standart Bond Bilyalı Değirmen Öğütülebilirlik Deneyleri

Standart Bond öğütülebilirlik testi, sabit konum şartları tamamen sağlanmış olan bir kapalı devre kuru öğütme ve eleme prosesidir. Test, Bond değirmeni olarak tanımlanan bir özel bilyalı değirmende yapılmaktadır. Değirmenin iç ölçüleri 30.5 x

20.4 cm'dir. Değirmende kaldırıcılar yoktur ve tüm iç köşeleri düzleştirilmiştir. 10.2 x 20.4 cm'lik bir kapak, şarj amacı için dış gövdede açılmıştır. Değirmen 70 dev/dk'da sabit olarak çalıştırılmakta ve bir devir sayacı ile teçhiz edilmiştir. Değirmenin bilya şarjı yaklaşık 20.125 kg ağırlığındaki çelik bilyalardan ibarettir.

Test örnekleri, çeneli ve merdaneli kırıcılar vasıtasıyla kademeli olarak -3.36 mm' ye kırılmış olup, pomza numuneleri deneylere geçmeden önce etüvde 48 saat süreyle 105⁰C' de kurutulmuşlardır. Kurutulan numuneler bir sallantılı masa kullanılarak mezür kullanılarak 700 cm³'lük hacme sıkıştırılmıştır. Numunenin, bu hacimdeki miktarı değirmenin başlangıçtaki şarjıdır ve bu miktar test süresince korunmaktadır. İlk öğütme devresi için, değirmen 100 devir döndürülmüştür. Daha sonra sına boyutu olan 106µm' lik elekten malzeme elenmiş ve üst boyut fraksiyonu ikinci öğütme devresi için değirmene verilirken, sınıyan parça boyutunun altındaki malzeme tartılarak yerine taze beslemeden aynı miktar değirmene ilave edilmiştir, yani 700cm³'lük şarj orijinal miktarına getirilmiştir. Sınıyan parça boyutundaki malzemeden başlangıç beslemenin aynı parça boyutlu malzeme miktarı çıkarılarak net öğütülen malzeme miktarı bulunmuştur. Elde edilen değer, o periyottaki dönme sayısına bölünerek öğütülebilirlik değeri “ G ” elde edilmiştir. Bu değer, % 250'lik bir devreden yük işlemine göre bir sonraki öğütme periyodu için ihtiyaç duyulan dönme sayısının belirlenmesinde kullanılır. Kesikli bir testle sonuçlanmış ürün ağırlığı orijinal cevher şarjının 1/3.5'ine (% 28.57'sine) eşittir.

Kapalı devre test işlemi, denge konumuna erişinceye kadar devam edilmiştir. Buna ilave olarak denge durumunu doğrulamak için 3 periyot daha deney yapılarak, bu son üç deney periyodunun öğütülebilirlik değerlerinin ortalaması alınmıştır. Aynı şekilde, bu son üç devre süresince meydana gelen sonuçlanmış ürünler birleştirilir, karıştırılır ve elek analizi için örnek alınır. Daha sonra aşağıdaki eşitlik 3,1'de Bond İş endeksi değeri (kwh / ston) hesaplanır (Deniz, 1996). Şekil 3.1' de bond bilyalı değirmeni gösterilmiştir.

$$W_1 = \frac{44.5}{(P_1)^{0.23} * (G)^{0.82} * |(10/\sqrt{P}) - (10/\sqrt{F})|} \quad (3.1)$$

burada;

P₁ = Testin yapıldığı elek açıklığı (µm)

G = Bond'un standart bilyalı değirmen öğütülebilirlik değeri (g/dv)
P = Sonuçlanmış ürünün % 80'inin geçtiği elek açıklığı (μm)
F = Beslemenin % 80'inin geçtiği elek açıklığı (μm)



Şekil 3.1. Bond bilyalı değirmeni

3.2.2. Kırılma Hız Fonksiyonlarının Belirlenmesi

Pomza numuneleri öğütme testleri için gerekli olan boyuta, yani 1,7 mm' nin altına kademeli olarak çeneli ve merdaneli kırıcılarda kırılmıştır. Kırılan numuneler etüvde 48 saat süreyle 105⁰C' de kurutulmuşlardır. Daha sonra 8 dar fonksiyona (-1,7+1,18, -1,18+0,850, -0,850+0,600, -0,600+0,425, -0,425+0,300, -0,300+0,212, -0,212+0,150, -0,150+0,106 mm) $\sqrt{2}$ elek serisine göre gruplandırılmıştır. Hazırlanan her fraksiyon kırılma fonksiyonlarının belirlenmesi için laboratuvar çaplı bir bilyalı değirmende kesikli bir tarzda öğütülmüştür. Her bir öğütme periyodu sonrası tüm değirmen şarjı boşaltılarak elek analizi yapılmıştır. Eleme işlemi kuru ve elle yapılmıştır. Öğütme deneylerinde kullanılan değirmenin özellikleri ve deney koşulları Çizelge 3.2' de verilmiştir. Şekil 3.2' de laboratuvar tipi bilyalı değirmen gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Öğütme deneylerinde kullanılan bilyalı değirmen

Çizelge 3.2. Bilyalı değirmen öğütme şartları

Değirmen	İç çap	200 mm			
	İç uzunluk	200 mm			
	Hacim	6283 cm ³			
Değirmen hızı	Kritik hız	101 dv/dk			
	Çalışma hızı	66–76–86 dv/dk			
Bilyalar	Ortalama çap	25,4mm			
	Sayı	88–132–176 adet			
	Ortalama ağırlık	66,86 gr			
	Özgül ağırlığı	7,8 gr/ cm ³			
	Kalite	Çelik alaşım			
	Porozite	% 40			
	Hacim doluluğu (%J)	20	30	40	
Malzeme	Bulk Yoğunluğu	Nevşehir	Kars	Isparta	Kayseri
		0,91	0,68	0,57	0,55
	Malzeme Doluluk Oranı(%fc)	5	7,5	10	
	fc' ye göre Boşluk Doldurma Oranı (%U)	41,6	62,5	83,3	
	J' ye göre Boşluk Doldurma Oranı (%U)	62,5	41,66	38,25	

$$\%fc = \frac{\text{Malzeme Miktarı} / \text{Malzemenin Bulk yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} \quad (3.2)$$

$$\%J = \frac{\text{Bilya Miktarı} / \text{Bilya Yoğunluğu}}{\text{Değirmen Hacmi}} * \frac{1,0}{0,6} \quad (3.3)$$

$$U = \frac{fc}{0,4 * J} \quad (3.4)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Laboratuarda yapılan çalışmalarda Isparta, Kayseri, Kars ve Nevşehir pomzalarının ilk olarak standart bond öğütülebilirlik deneyleri yapılarak (G g/dv) ve W_i (kwh/ton) hesaplanmış ve bu değerler çizelge 4.1’ de verilmiştir.

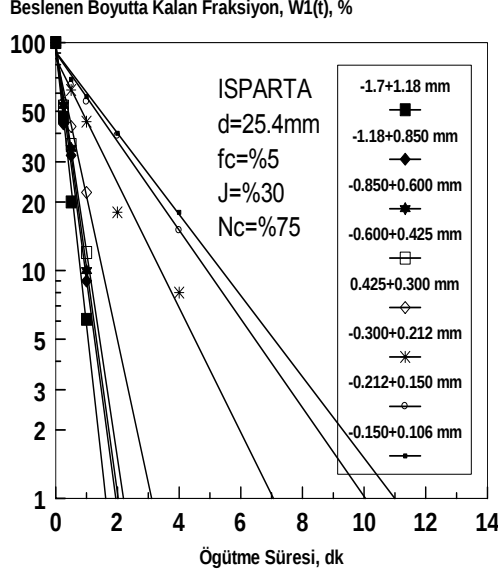
Çizelge 4.1. Pomza numunelerinin öğütülebilirlik ve iş endeksi değerleri

Numuneler	Öğütülebilirlik Değerleri (G g/dv)	W_i (kwh/ton)
Isparta	1,82	11,78
Kars	1,88	11,09
Nevşehir	1,95	10,55
Kayseri	2,05	9,07

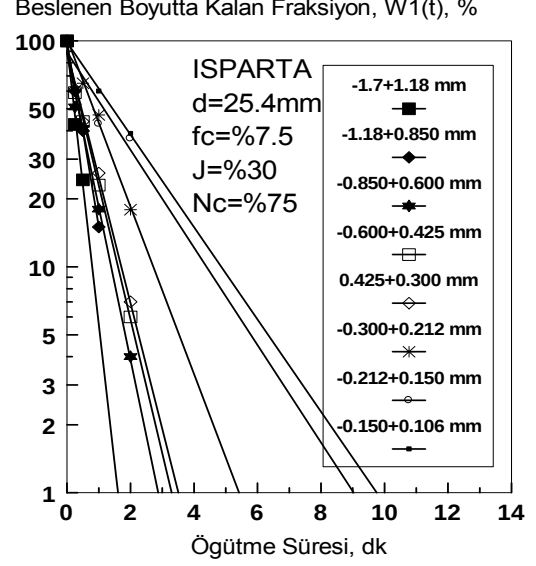
Bond öğütülebilirlik deneylerinden sonra kırılma hız fonksiyonlarını belirlemek için yapılan deneylerde Isparta, Kayseri, Kars ve Nevşehir pomzalarının her biri için birinci derece kırılma kinetiği davranışı sergileyen 8 dar besleme boyut fraksiyonları için spesifik kırılma hızları ve S_i değerlerine karşı boyut fraksiyonu grafikleri ilk önce malzeme doluluk oranına etkisi sonra bilya doluluk oranına etkisi sonra değirmen hızı üzerine etkisi ve en son olarak da bilya çapı üzerine etkisi gösterilmiş ve bu eğrilerden elde edilen kırılma hız parametreleri verilmiştir.

Kümülatif kırılma fonksiyonu ($B_{i,j}$) değerleri, en kısa öğütme sürelerinden elde edilmiş ve verilerin normalize olduğu yani boyuttan bağımsız olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen $B_{i,j}$ değerlerine karşılık boyut oran grafiğinden $B_{i,j}$ fonksiyonu ilk önce malzeme doluluk oranı için sonra bilya doluluk oranı için sonra değirmen hızı için ve en son olarak da bilya çapı üzerine etkisi verilmiştir. Kümülatif kırılma fonksiyonlarından elde edilen model parametreleri parça boyut dağılımını ifade etmektedir. Bu parametreler kırılma hız parametreleri ile birlikte verilmiştir.

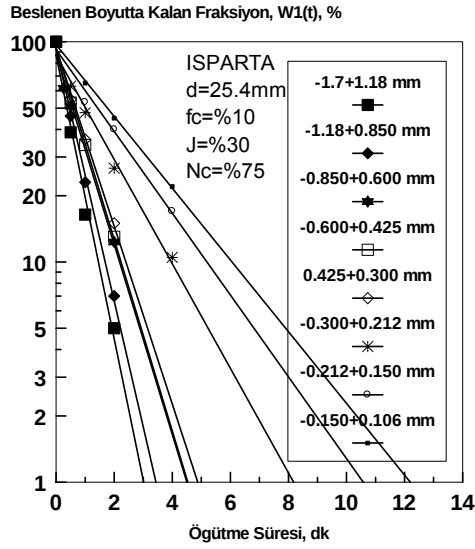
4.1. Isparta Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi



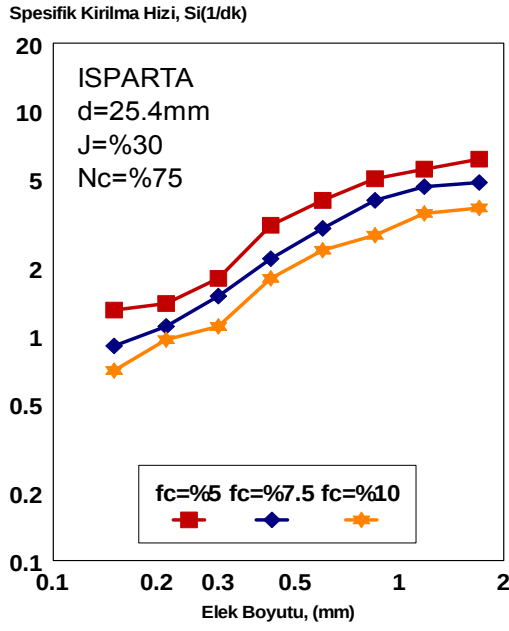
Şekil 4.1. Isparta pomzasının $f_c=\%5$ için birinci kırılma doğruları



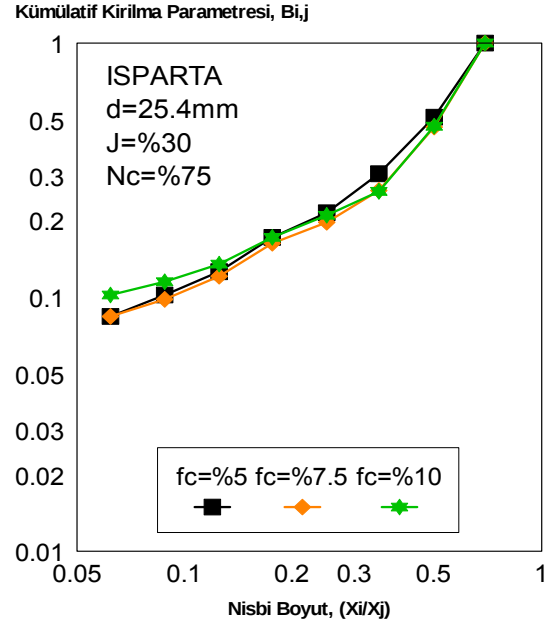
Şekil 4.2. Isparta pomzasının $f_c=\%7,5$ için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.3. Isparta pomzasının $f_c=\%10$ için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.4. Isparta pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

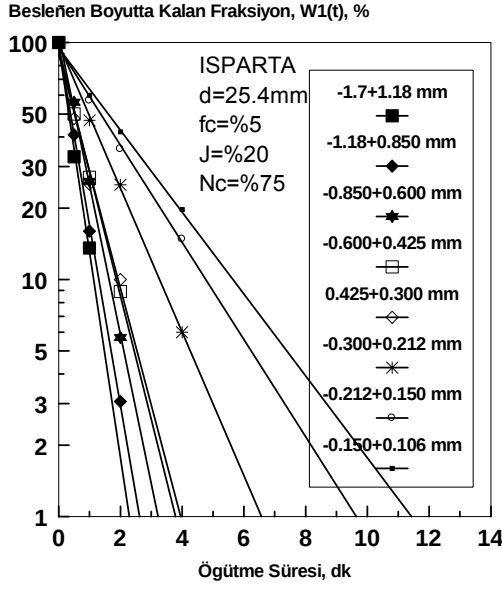


Şekil 4.5. Isparta pomzasının farklı malzeme yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

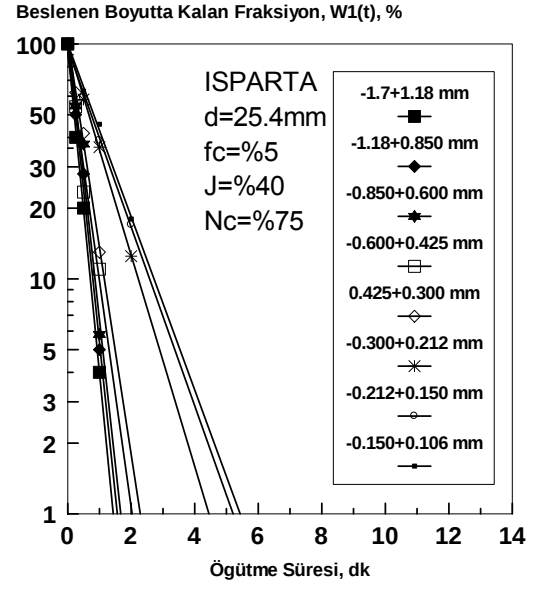
Çizelge 4.2. Isparta pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri

fc(%)	S_i -0,425+0,300mm	α	a_T	γ	Φ_j
5	3,10	0,820	5,3	0,67	0,47
7,5	2,20	0,861	4,4	0,63	0,40
10	1,80	0,855	3,1	0,53	0,36

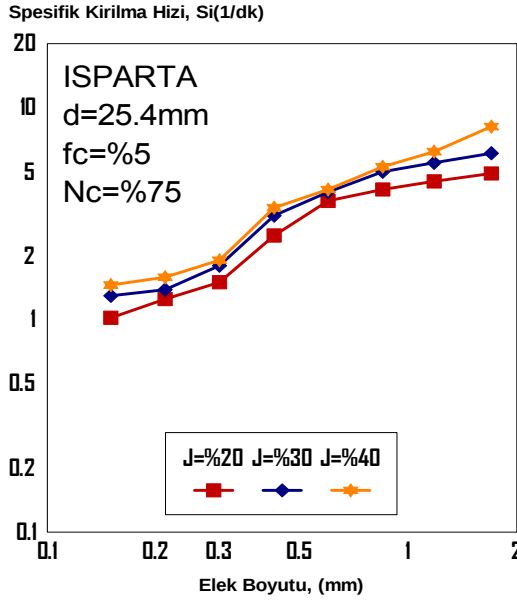
Isparta pomzasının malzeme yükü için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; S_i değerlerinin ya da a_T değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmekte olup, elde edilen a_T değerlerine göre, malzeme yükü arttıkça kırılma hızının azaldığı gözlenmektedir. Φ_j değerinin artması en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. Φ_j değerlerine bakıldığında, malzeme yükü arttıkça üst boyutların kırılma hızı azalmaktadır. γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir. γ değerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça γ değerinin arttığı gözükmemektedir.



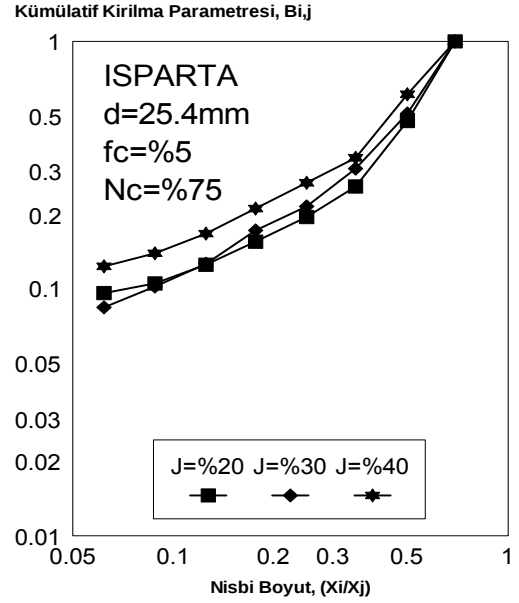
Şekil 4.6. Isparta pomzasının J=%20 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.7. Isparta pomzasının J=%40 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.8. Isparta pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

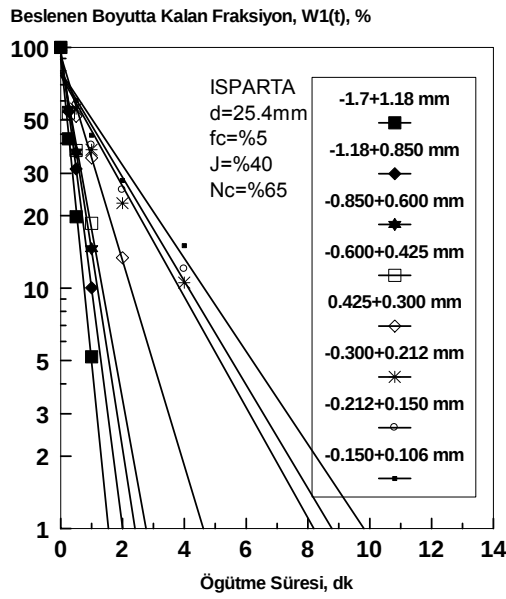


Şekil 4.9. Isparta pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

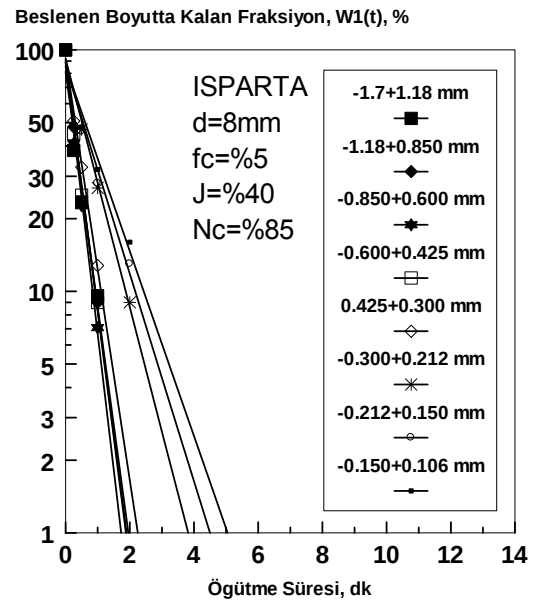
Çizelge 4.3. Isparta pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri

J(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_T	γ	Φ_j
20	2.50	0,824	4,2	0,68	0,32
30	3.10	0,825	5,3	0,67	0,47
40	3.38	0,778	5,8	0,56	0,48

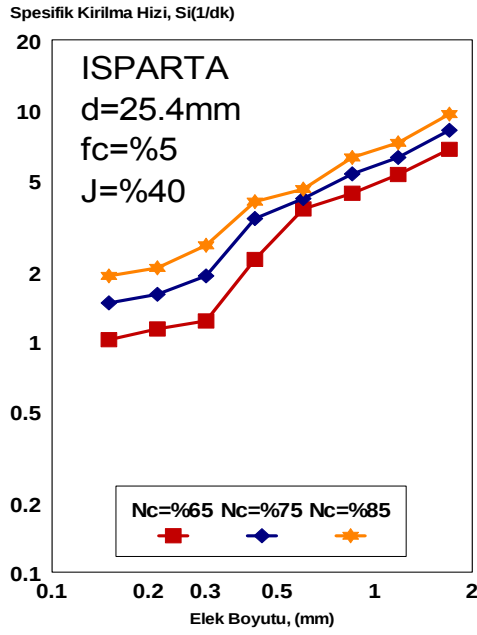
Isparta pomzasının bilya yükü için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; Si ve a_t değerine bakıldığında bilya yükü arttıkça kırılmanın hızlı olduğu gözükmemektedir. Φ_j değerlerinin bilya yükü attıkça arttığı böylelikle üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığı anlaşılmaktadır. γ değerine bakıldığında bilya yükü artması ile ince ürün miktarının arttığını görmekteyiz.



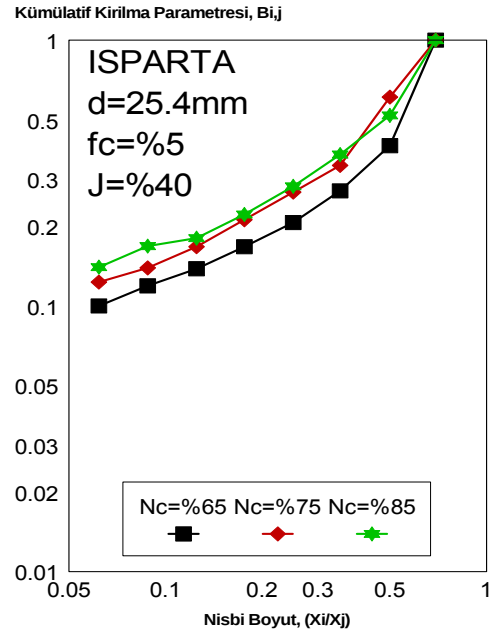
Şekil 4.10. Isparta pomzasının Nc=%65 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.11. Isparta pomzasının Nc=%85 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.12. Isparta pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri

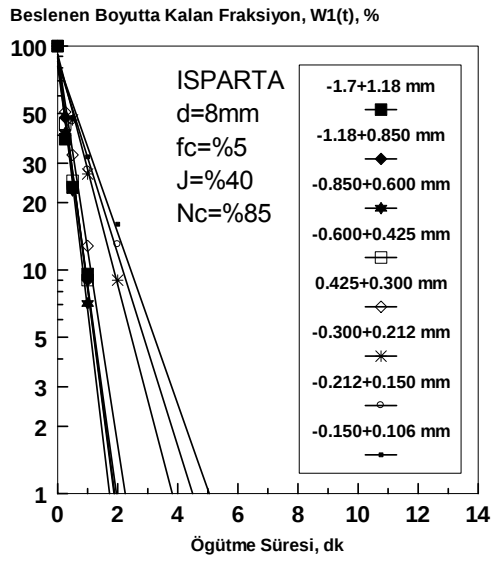


Şekil 4.13. Isparta pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları

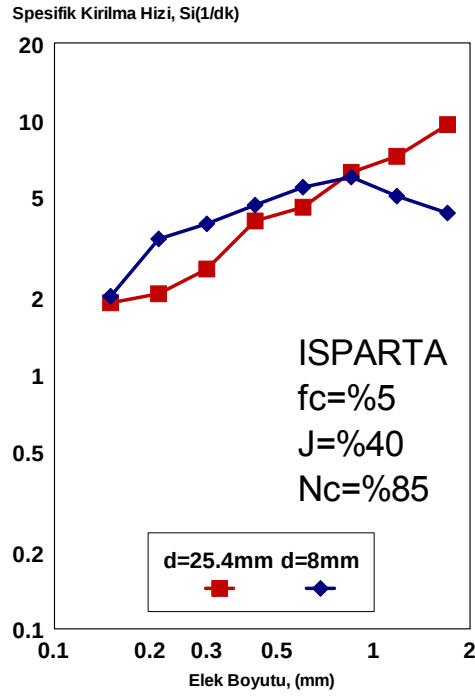
Çizelge 4.4. Isparta pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri

Nc(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
65	2,25	0,713	4,9	0,51	0,34
75	3,38	0,778	5,8	0,56	0,45
85	4,52	0,703	6,9	0,58	0,46

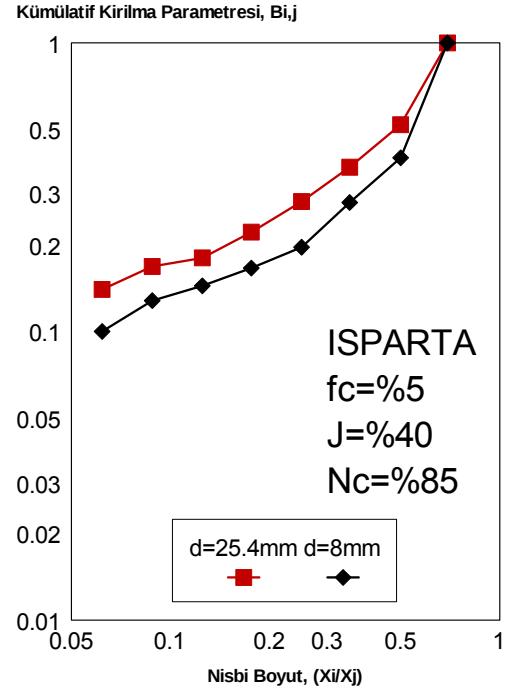
Isparta pomzasının değirmen hızı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; S_i ve a_t değerlerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça kırılma hızının arttığı ortaya çıkmıştır. Φ_j değerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değeri bakıldığında ise değirmen hızı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.14. Isparta pomzasının d=8mm için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.15. Isparta pomzasının farklı bilya çaplarında spesifik kırılma hızı eğrileri



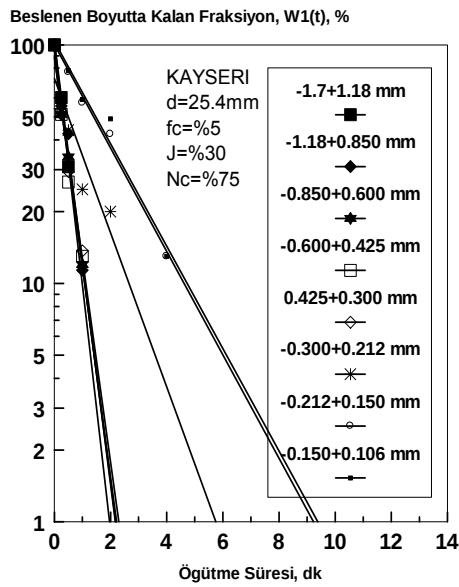
Şekil 4.16. Isparta pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları

Çizelge 4.5. Isparta pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri

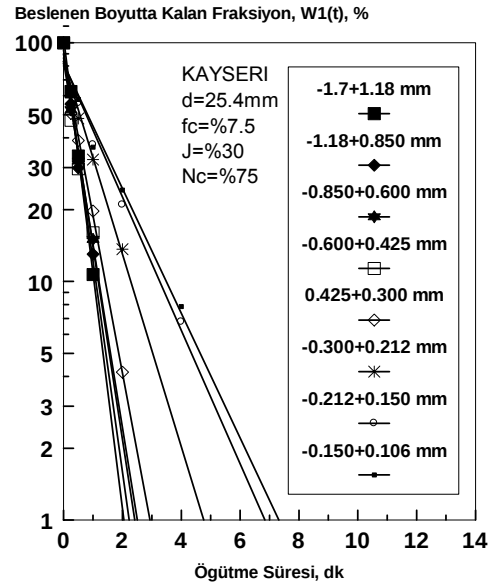
D(mm)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
8	4,62	0,75	5,56	0,48	0,32
25,4	4,52	0,703	6,9	0,58	0,46

Isparta pomzasının bilya çapı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; bilya çapı büyüdükçe iri boyutlarda daha etkin bir kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Φ_j değerine bakıldığında bilya çapı büyüdükçe üst boyuların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise bilya çapı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı gözlenmektedir.

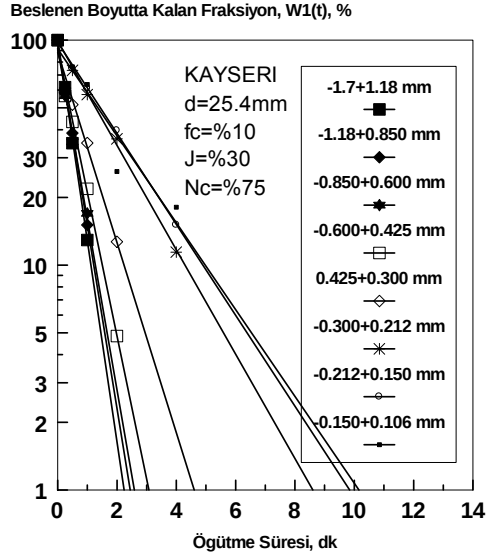
4.2. Kayseri Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi



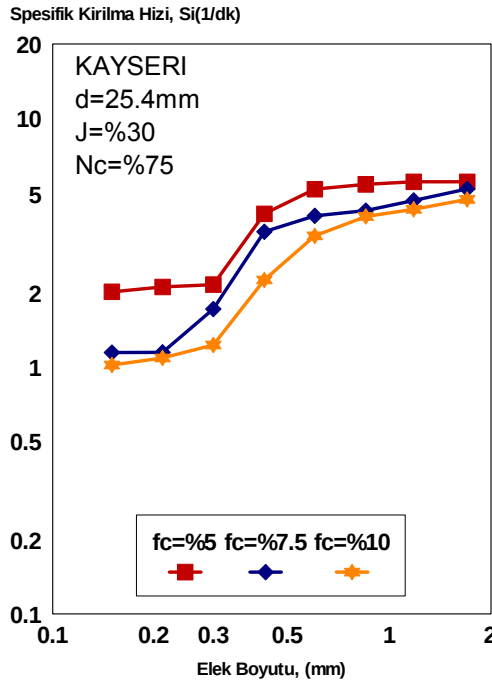
Şekil 4.17. Kayseri pomzasının $f_c=\%5$ için birinci kırılma doğruları



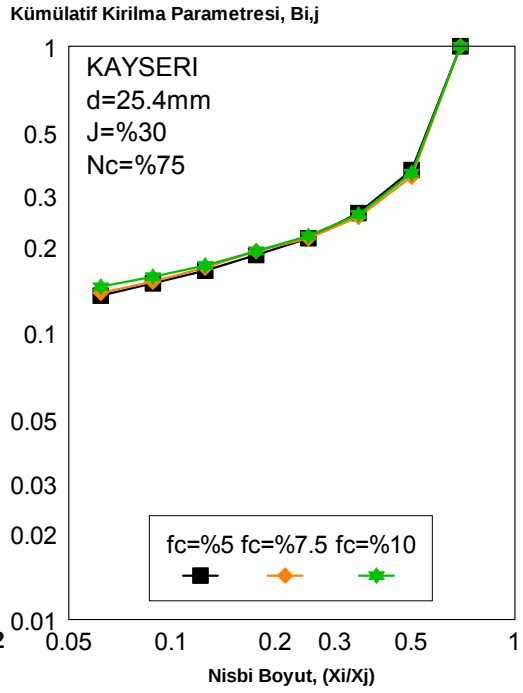
Şekil 4.18. Kayseri pomzasının $f_c=\%7,5$ için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.19. Kayseri pomzasının $f_c=\%10$ için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.20. Kayseri pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

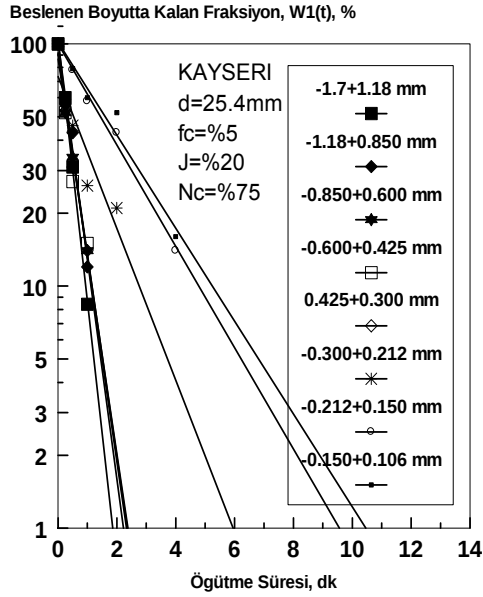


Şekil 4.21. Kayseri pomzasının farklı malzeme yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

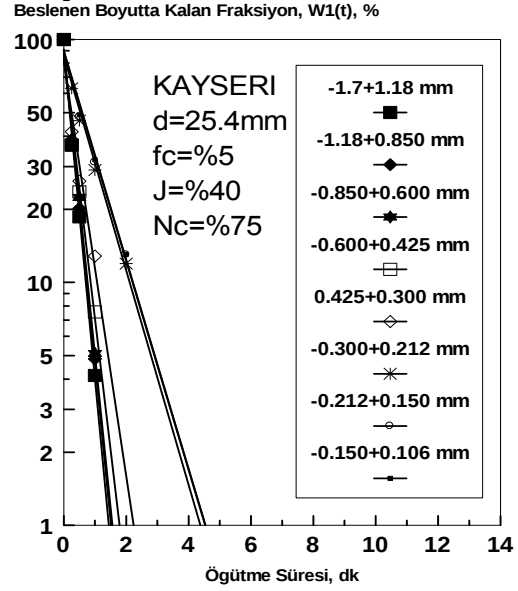
Çizelge 4.6. Kayseri pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri

$f_c(\%)$	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
5	4.126	1,02	5,5	0.33	0,29
7,5	3.49	1,05	4,5	0.32	0,28
10	2.231	0,99	4,1	0.29	0,27

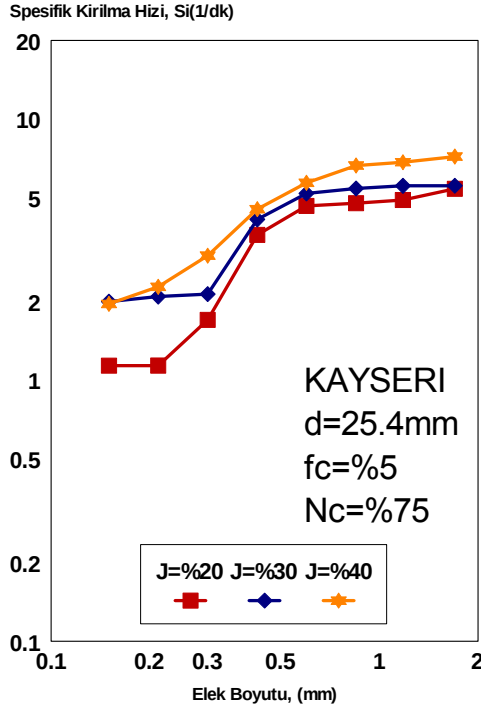
Kayseri pomzasının malzeme yükü için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; S_i değerlerinin ya da a_t değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmekte olup, elde edilen a_t değerlerine göre, malzeme yükü arttıkça kırılma hızının azaldığı gözlenmektedir. Φ_j değerinin artması en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. Φ_j değerlerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça üst boyutların kırılma hızı azalmaktadır. γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir. γ değerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça γ değerinin arttığı gözükmemektedir.



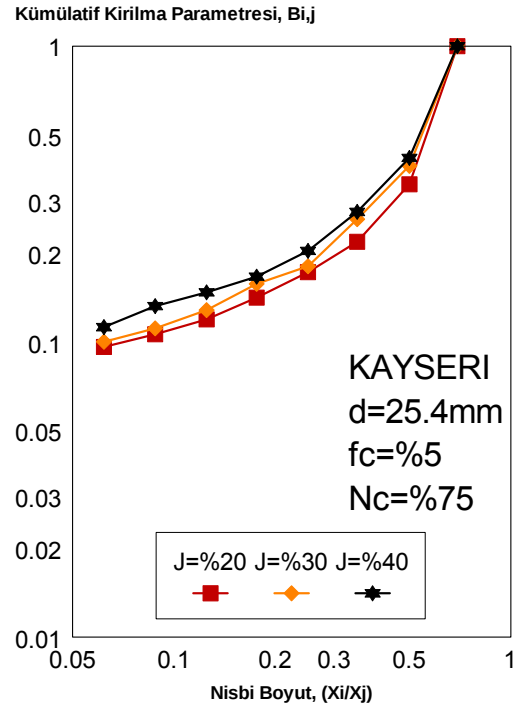
Şekil 4.22. Kayseri pomzasının J=%20 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.23. Kayseri pomzasının J=%40 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.24. Kayseri pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

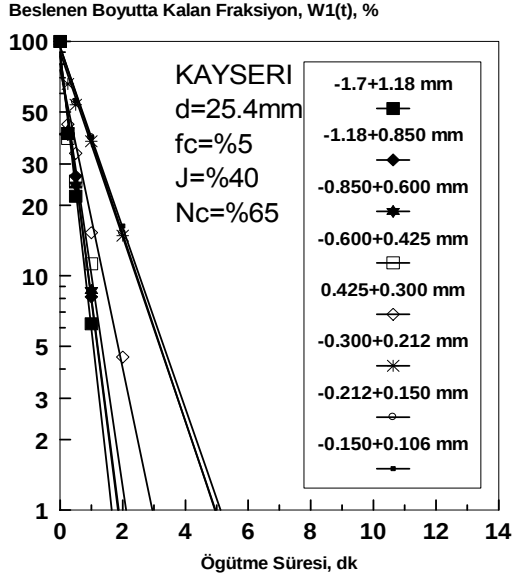


Şekil 4.25. Kayseri pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

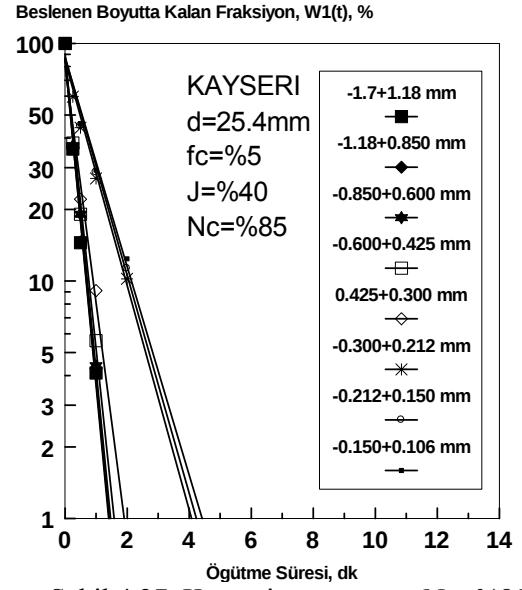
Çizelge 4.7. Kayseri pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri

J(%)	S_i -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
20	3.6	0,99	4,9	0,416	0,25
30	4.126	1,02	5,5	0.410	0,29
40	4.517	0,78	6,8	0,387	0,30

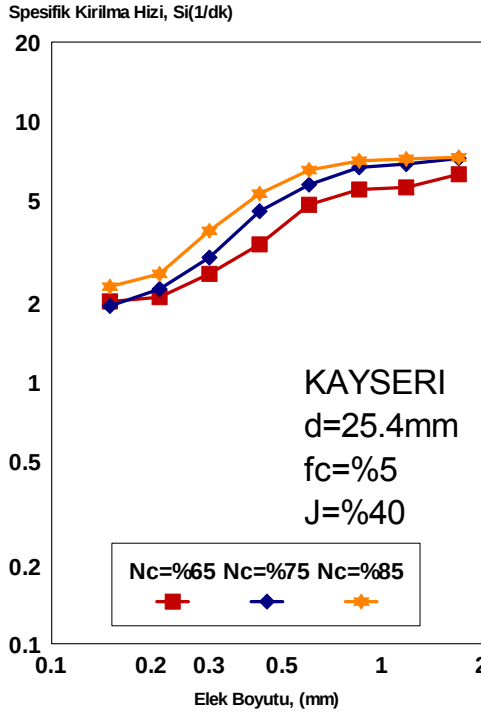
Kayseri pomzasının bilya çapı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; bilya çapı büyüdükçe ince boyutlarda daha etkin bir kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Φ_j değerine bakıldığında bilya çapı büyüdükçe üst boyuların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise bilya çapı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı gözlenmektedir.



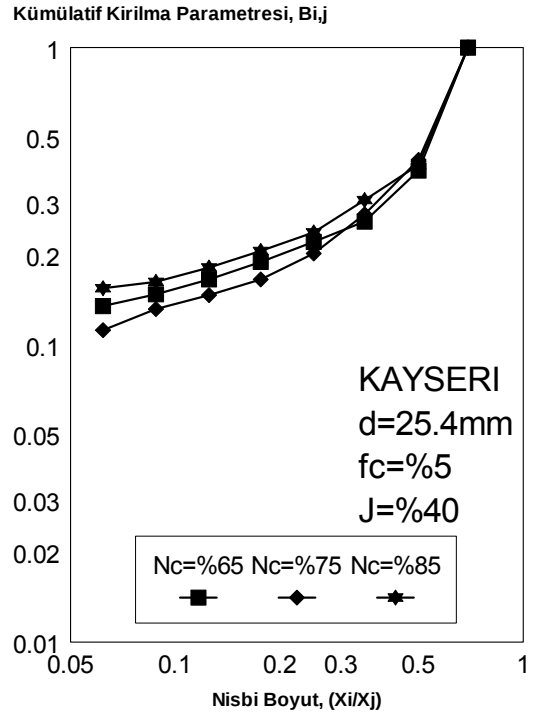
Şekil 4.26. Kayseri pomzasının $N_c=\%65$ için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.27. Kayseri pomzasının $N_c=\%85$ için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.28. Kayseri pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri

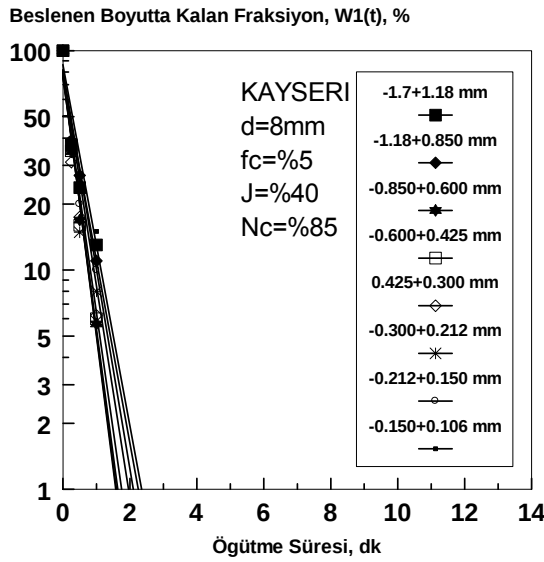


Şekil 4.29. Kayseri pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları

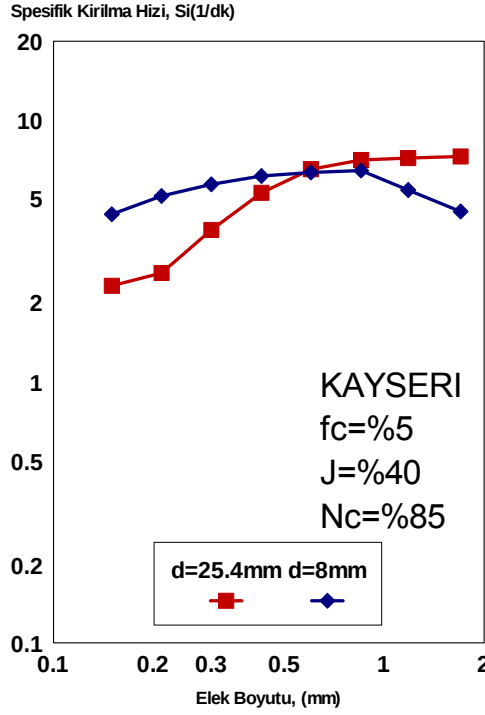
Çizelge 4.8. Kayseri pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri

Nc(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
65	3.369	0,693	5,4	0,381	0,29
75	4.517	0,78	6,8	0,387	0,30
85	5.267	0,816	7,1	0,391	0,35

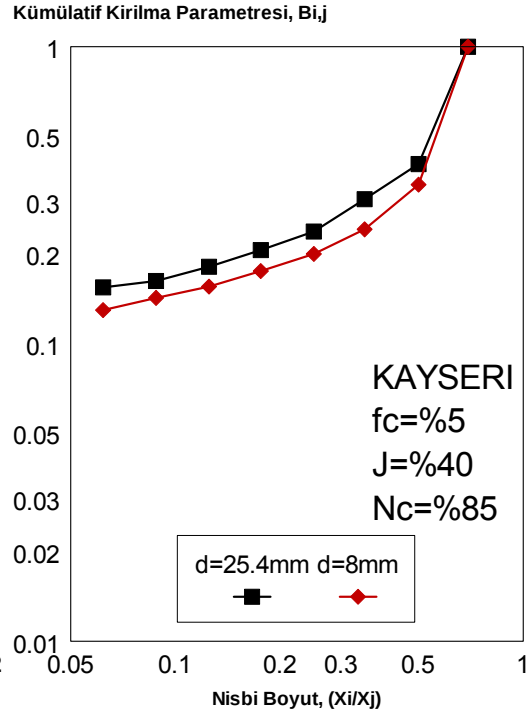
Kayseri pomzasının değirmen hızı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; Si ve a_t değerlerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça kırılma hızının arttığı ortaya çıkmıştır. Φ_j değerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise değirmen hızı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.30. Kayseri pomzasının d=8mm için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.31. Kayseri pomzasının farklı bilya çaplarında spesifik kırılma hızı eğrileri



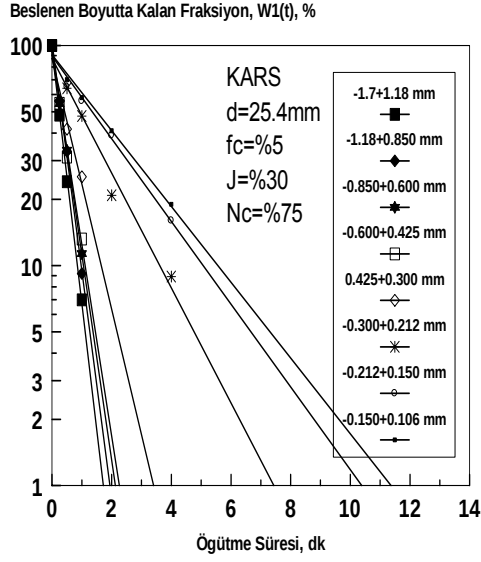
Şekil 4.32. Kayseri pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları

Çizelge 4.9. Kayseri pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri

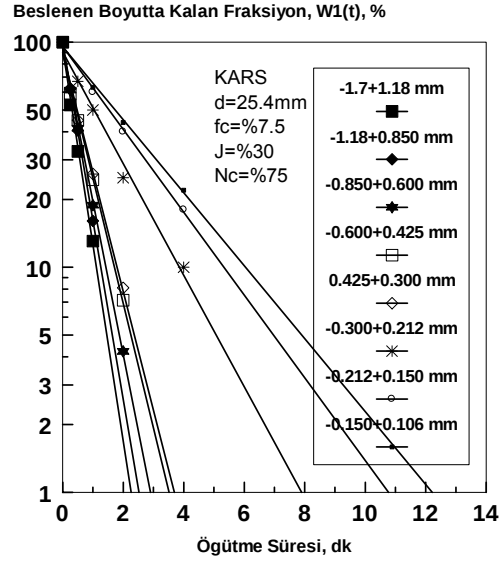
D(mm)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
8	6,108	0,260	5,9	0,36	0,25
25,4	5.267	0,816	7,1	0,39	0,35

Kayseri pomzasının bilya çapı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; bilya çapı büyüdükçe iri boyutlarda daha etkin bir kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Φ_j değerine bakıldığında bilya çapı büyüdükçe üst boyuların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise bilya çapı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı gözlenmektedir.

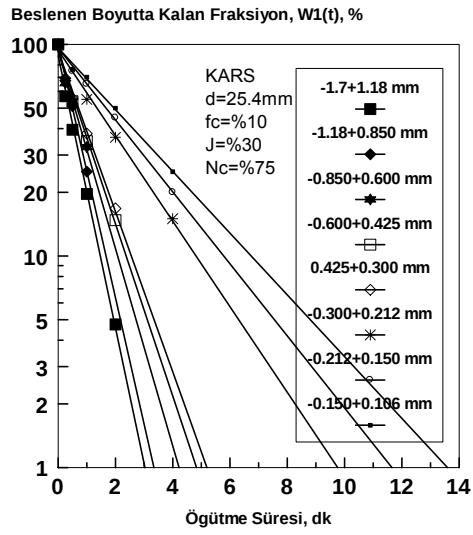
4.3. Kars Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi



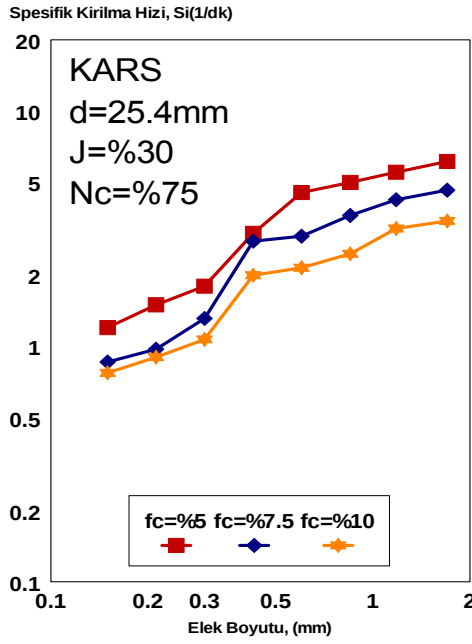
Şekil 4.33. Kars pomzasının $fc=5\%$ için birinci kırılma doğruları



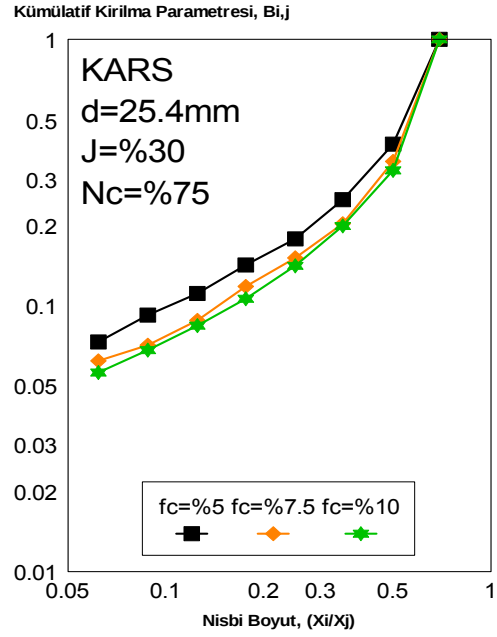
Şekil 4.34. Kars pomzasının $fc=7.5\%$ için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.35. Kars pomzasının $fc=10\%$ için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.36. Kars pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

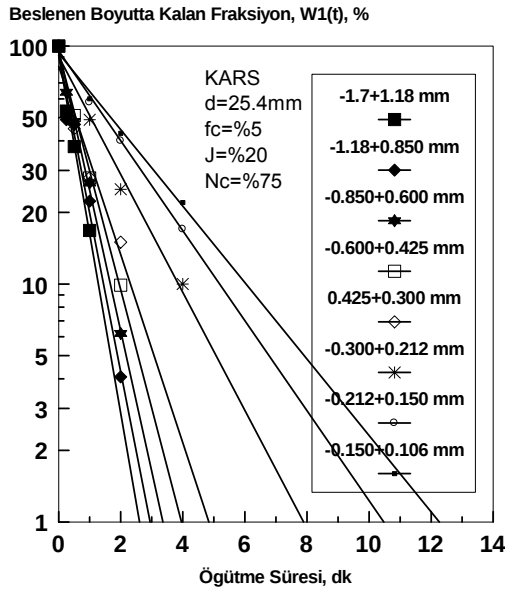


Şekil 4.37. Kars pomzasının farklı malzeme yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

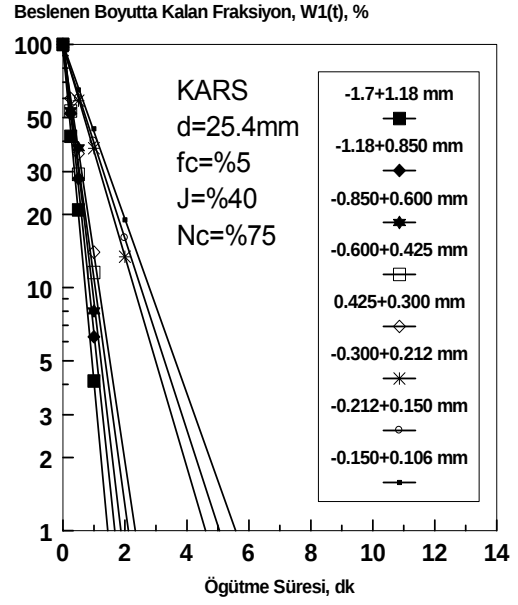
Çizelge 4.10. Kars pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri

fc(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
5	3.017	0,84	5,2	0,627	0,33
7,5	2.794	1,108	3,9	0,615	0,27
10	2.001	0,874	2,8	0,610	0,25

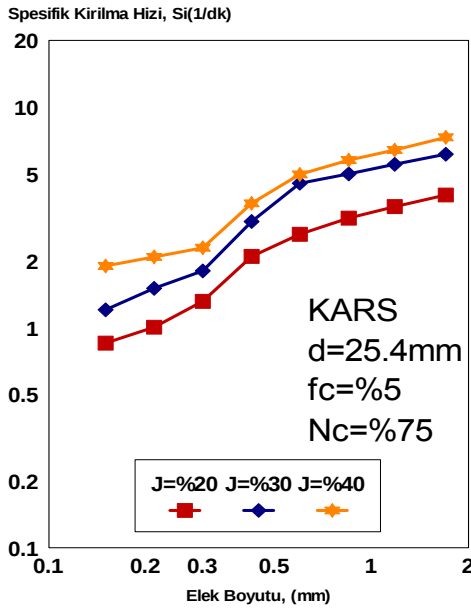
Kars pomzasının malzeme yükü için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; Si değerlerinin ya da a_t değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmekte olup, elde edilen a_t değerlerine göre, malzeme yükü arttıkça kırılma hızının azaldığı gözlenmektedir. Φ_j değerinin artması en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. Φ_j değerlerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça üst boyutların kırılma hızı azalmaktadır. γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir. γ değerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça γ değerinin arttığı gözükmemektedir.



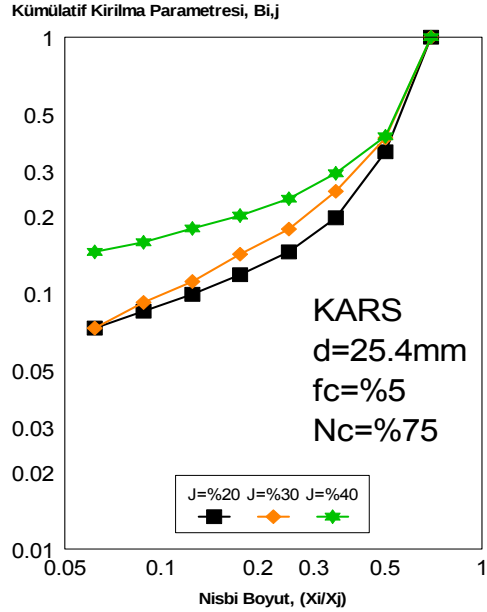
Şekil 4.38. Kars pomzasının J=%20 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.39. Kars pomzasının J=%40 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.40. Kars pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

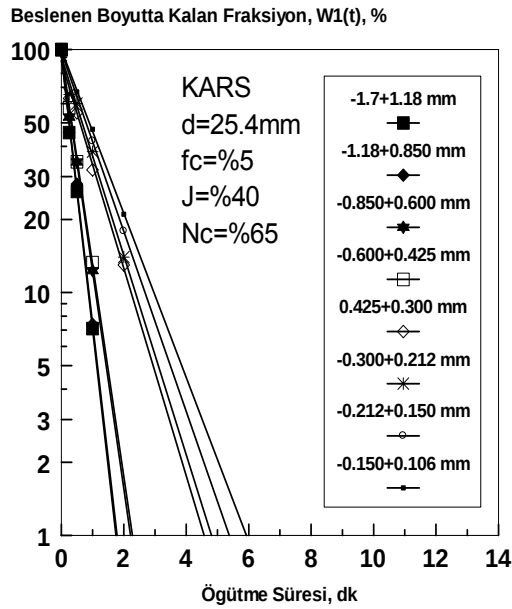


Şekil 4.41. Kars pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

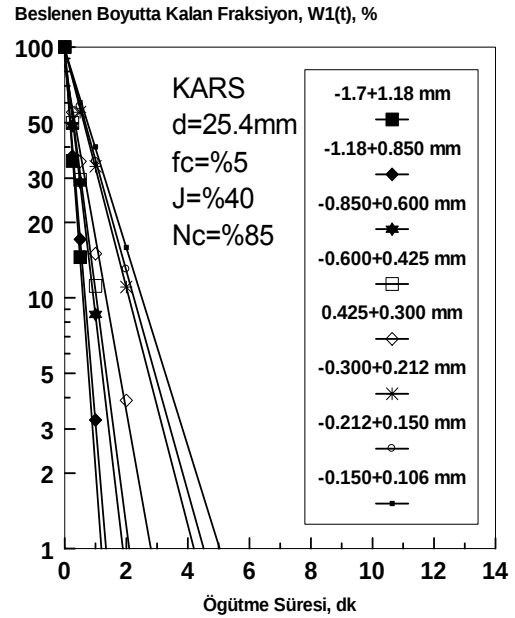
Çizelge 4.11. Kars pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri

J(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
20	2.095	0,86	3,5	0,63	0,25
30	3.017	0,84	5,2	0,62	0,33
40	3.65	0,59	6,00	0,48	0,34

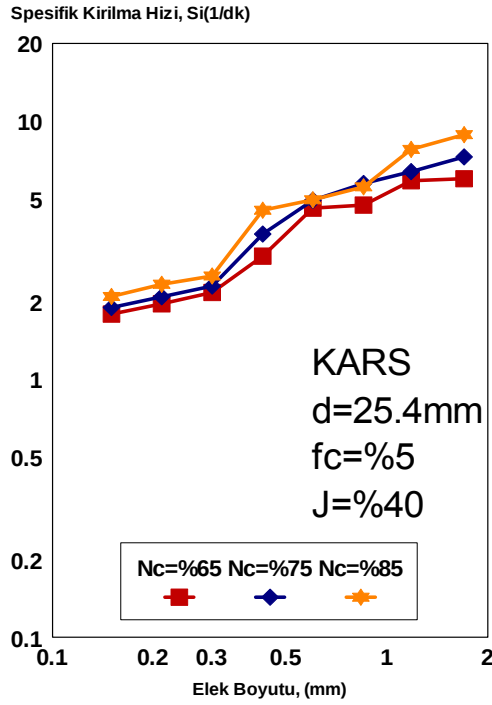
Kars pomzasının bilya çapı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; bilya çapı büyüdükçe ince boyutlarda daha etkin bir kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Φ_j değerine bakıldığında bilya çapı büyüdükçe üst boyuların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise bilya çapı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı gözlenmektedir.



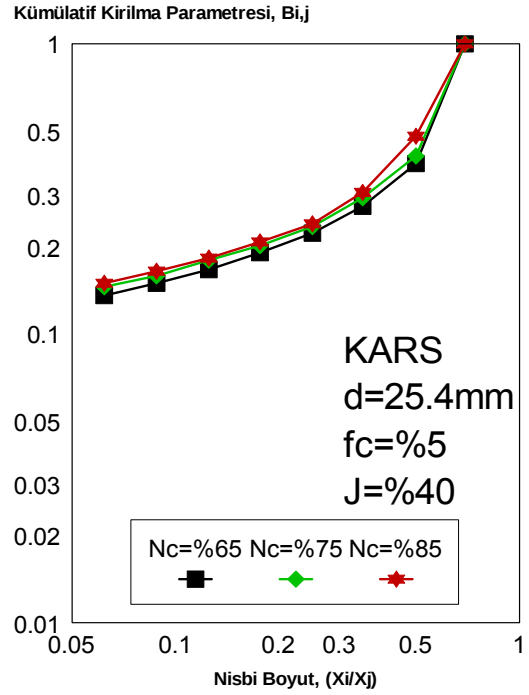
Şekil 4.42. Kars pomzasının Nc=%65 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.43. Kars pomzasının Nc=%85 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.44. Kars pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri

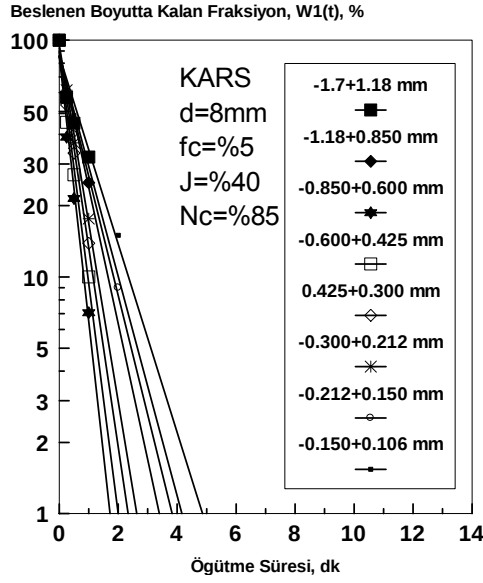


Şekil 4.45. Kars pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları

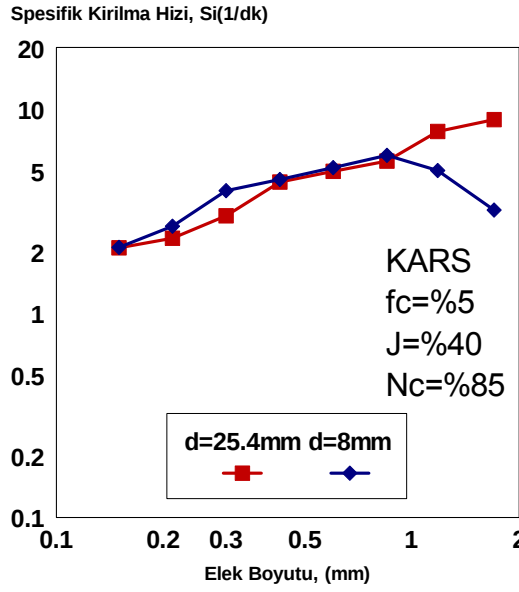
Çizelge 4.12. Kars pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri

Nc(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
65	3,00	0,66	5,2	0,47	0,33
75	3.65	0,59	6,00	0,48	0,34
85	4.514	0,69	6,8	0,49	0,38

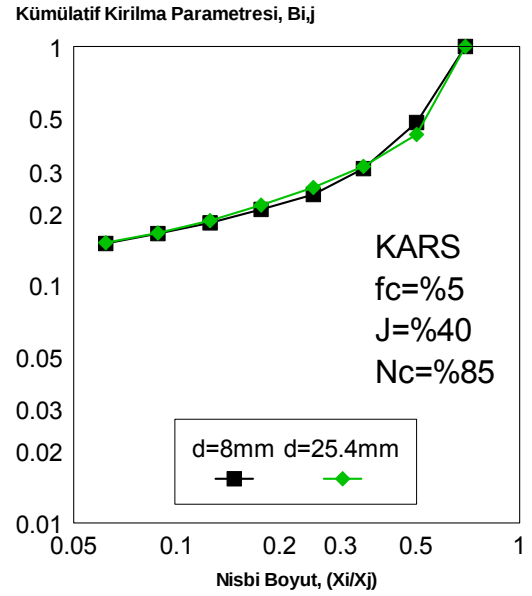
Kars pomzasının değirmen hızı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; S_i ve a_t değerlerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça kırılma hızının arttığı ortaya çıkmıştır. Φ_j değerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değeri bakıldığında ise değirmen hızı arttıkça ince ürün miktarının azaldığını anlaşılmaktadır.



Şekil 4.46. Kars pomzasının d=8mm için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.47. Kars pomzasının farklı bilya çaplarında spesifik kırılma hızı eğrileri



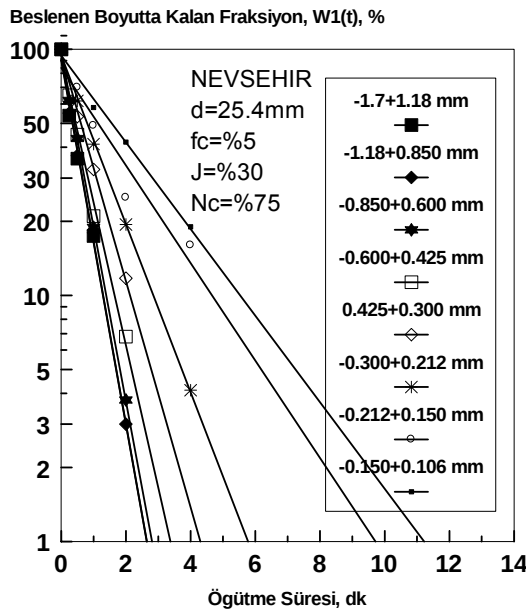
Şekil 4.48. Kars pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları

Çizelge 4.13. Kars pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri

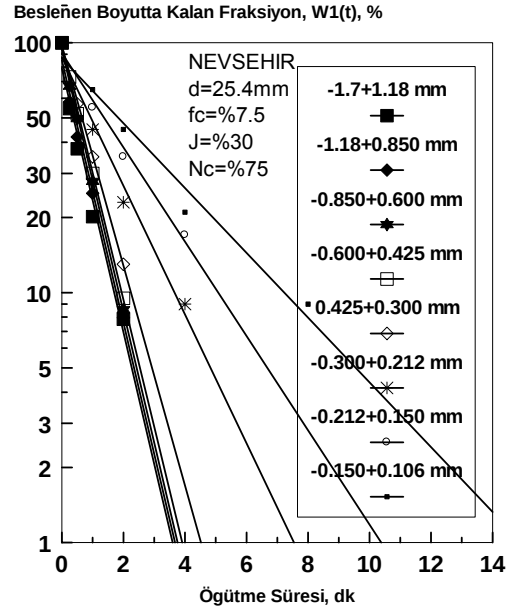
D(mm)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
8	4.519	0,75	5,5	0,47	0,33
25,4	4.393	0,69	6,8	0,49	0,38

Kars pomzasının bilya çapı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; bilya çapı büyüdükçe iri boyutlarda daha etkin bir kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Φ_j değerine bakıldığında bilya çapı büyüdükçe üst boyuların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise bilya çapı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı gözlenmektedir.

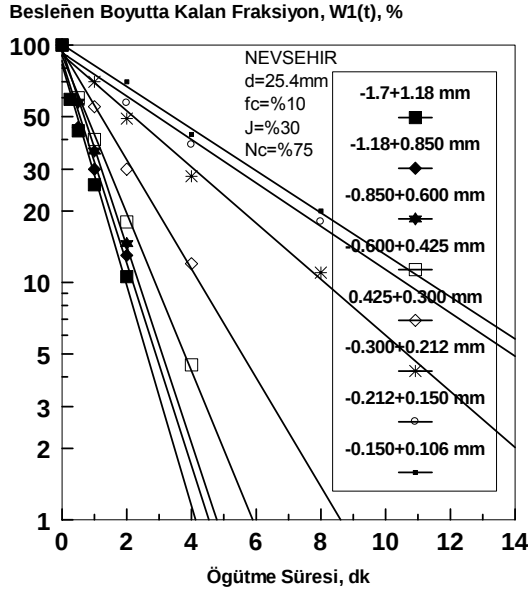
4.4. Nevşehir Pomzasının Spesifik Kırılma Hız Fonksiyonlarının ve Kümülatif Kırılma Fonksiyonlarının Belirlenmesi



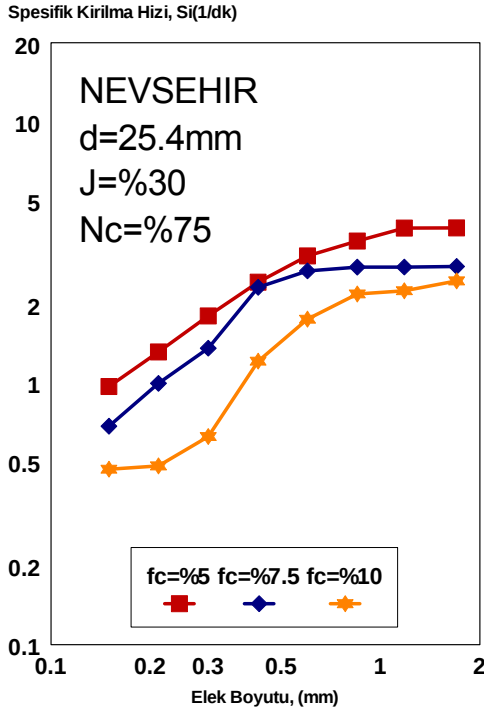
Şekil 4.49. Nevşehir pomzasının $f_c=\%5$ için birinci kırılma doğruları



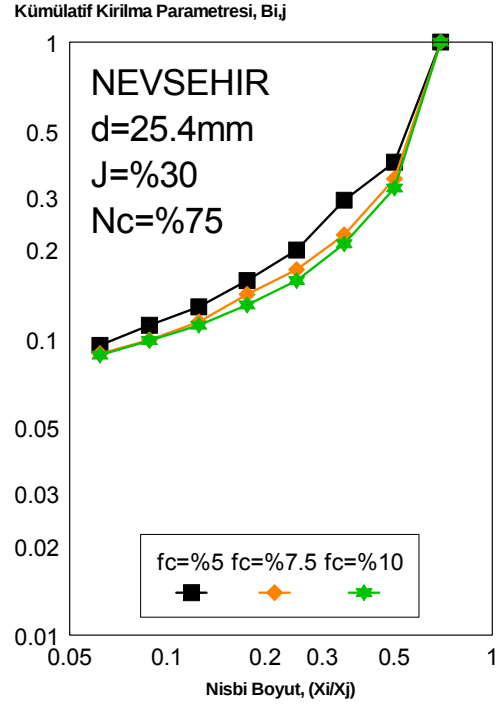
Şekil 4.50. Nevşehir pomzasının $f_c=\%7,5$ için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.51. Nevşehir pomzasının $fc=10$ için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.52. Nevşehir pomzasının farklı malzeme yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

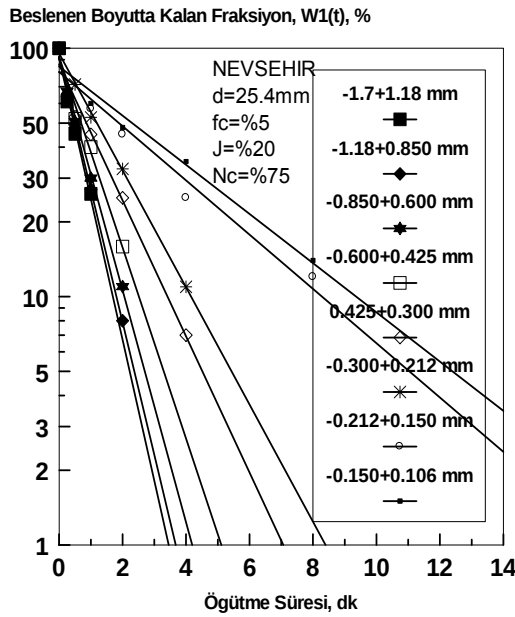


Şekil 4.53. Nevşehir pomzasının farklı malzeme yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

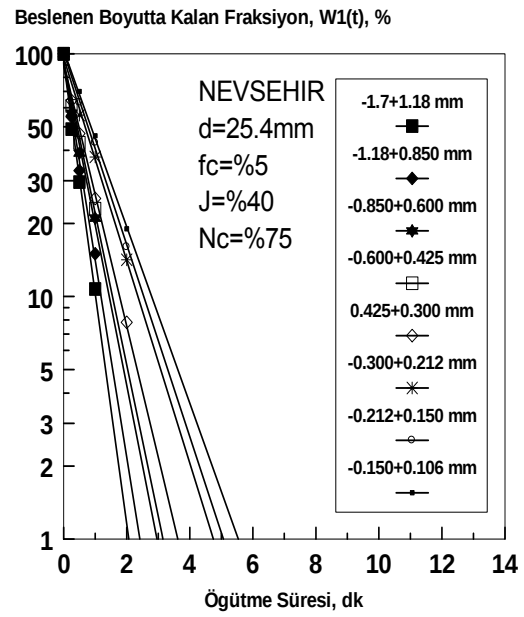
Çizelge 4.14. Nevşehir pomzasının farklı malzeme yükü için model parametreleri

fc(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
5	2.433	0,88	3,9	0,50	0,33
7,5	2.327	1,14	2,9	0,47	0,28
10	1.214	0,99	2,4	0,41	0,24

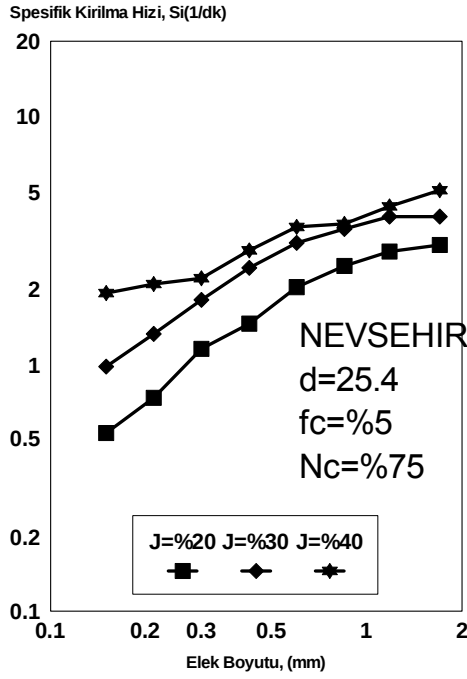
Nevşehir pomzasının malzeme yükü için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; Si değerlerinin ya da a_t değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmekte olup, elde edilen a_t değerlerine göre, malzeme yükü arttıkça kırılma hızının azaldığı gözlenmektedir. Φ_j değerinin artması en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. Φ_j değerlerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça üst boyutların kırılma hızı azalmaktadır. γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir. γ değerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça γ değerinin arttığı gözükmemektedir.



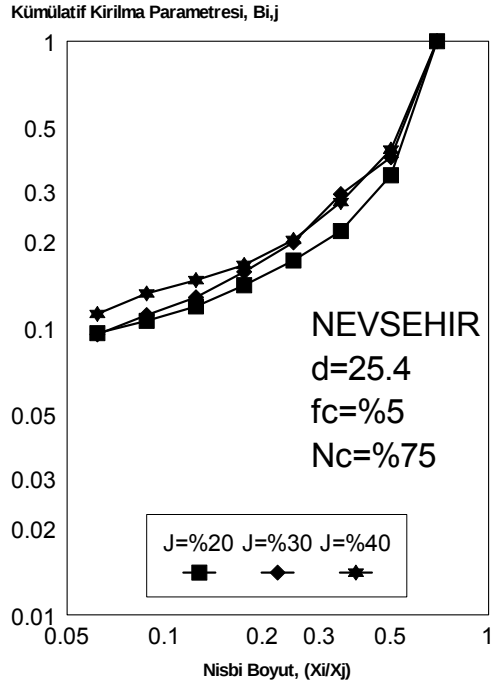
Şekil 4.54. Nevşehir pomzasının J=%20 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.55. Nevşehir pomzasının J=%40 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.56. Nevşehir pomzasının farklı bilya yükü için spesifik kırılma hızı eğrileri

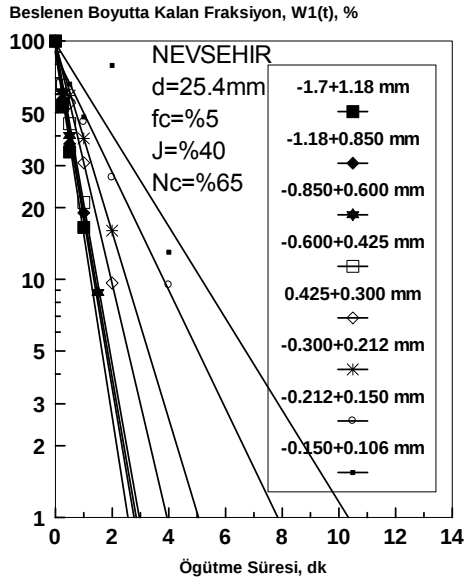


Şekil 4.57. Nevşehir pomzasının farklı bilya yükü için kümülatif dağılım fonksiyonları

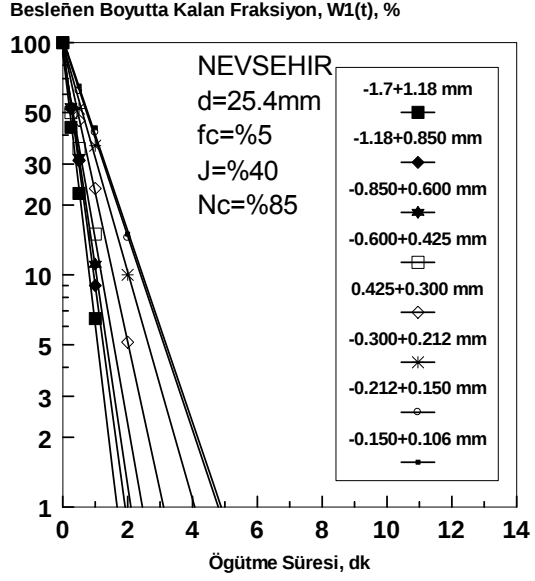
Çizelge 4.15. Nevşehir pomzasının farklı bilya yükü için model parametreleri

J(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
20	1.449	0,76	2,70	0,51	0,26
30	2.433	0,88	3,9	0,50	0,33
40	2.865	0,41	4,00	0,46	0,34

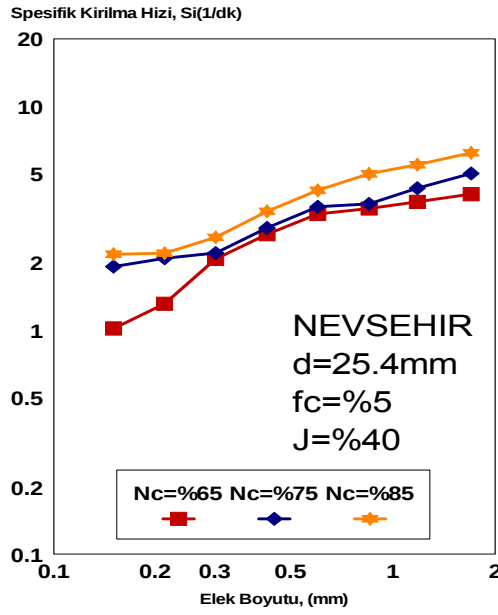
Nevşehir pomzasının bilya çapı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; bilya çapı büyüdükçe ince boyutlarda daha etkin bir kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Φ_j değerine bakıldığında bilya çapı büyüdükçe üst boyuların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise bilya çapı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı gözlenmektedir.



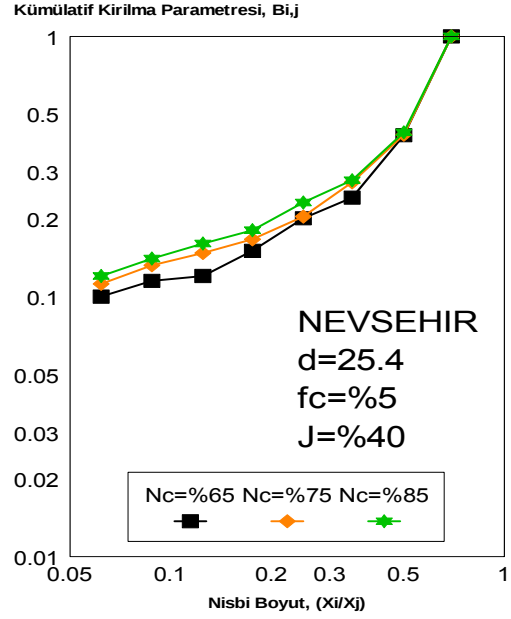
Şekil 4.58. Nevşehir pomzasının Nc=%65 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.59. Nevşehir pomzasının Nc=%85 için birinci kırılma doğruları



Şekil 4.60. Nevşehir pomzasının farklı değirmen hızlarında spesifik kırılma hızı eğrileri

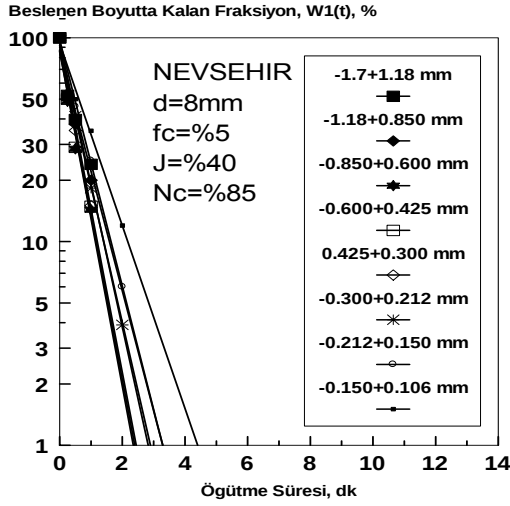


Şekil 4.61. Nevşehir pomzasının farklı değirmen hızlarında kümülatif dağılım fonksiyonları

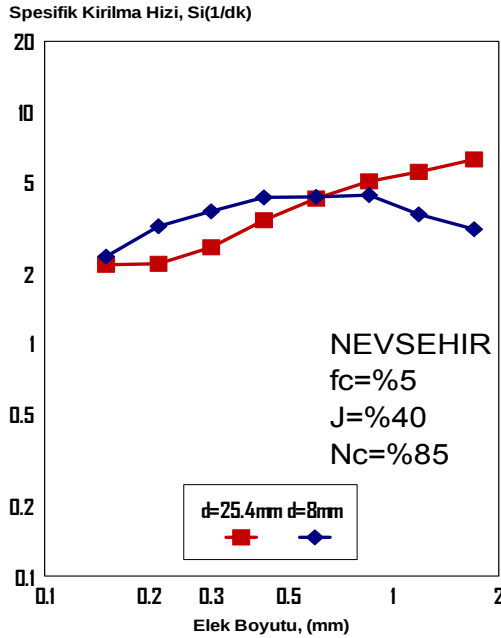
Çizelge 4.16. Nevşehir pomzasının farklı değirmen hızı için model parametreleri

Nc(%)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
65	2.684	0,579	3,5	0,44	0,29
75	2.865	0,41	4,00	0,46	0,34
85	3.397	0,48	5,2	0,48	0,35

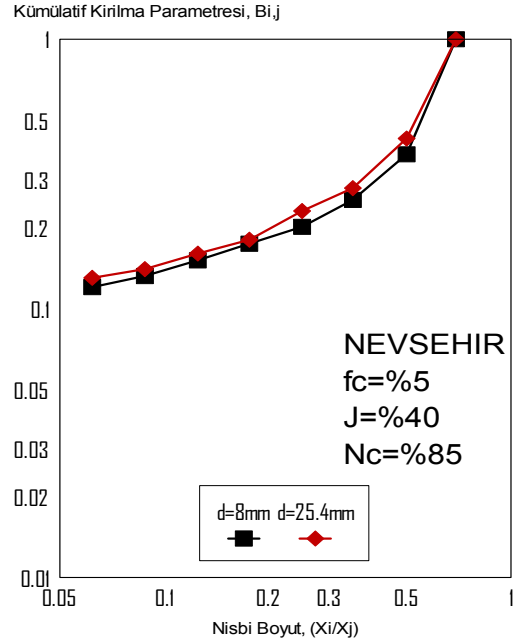
Nevşehir pomzasının değirmen hızı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; S_i ve a_i değerlerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça kırılma hızının arttığı ortaya çıkmıştır. Φ_j değerine bakıldığında değirmen hızı arttıkça üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değeri bakıldığında ise değirmen hızı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı anlaşılmaktadır.



Şekil 4.62. Nevşehir pomzasının d=8mm için birincil kırılma doğruları



Şekil 4.63. Nevşehir pomzasının farklı bilya çaplarında spesifik kırılma hızı eğrileri



Şekil 4.64. Nevşehir pomzasının farklı bilya çaplarında kümülatif dağılım fonksiyonları

Çizelge 4.17. Nevşehir pomzasının farklı bilya çapı için model parametreleri

D(mm)	Si -0,425+0,300mm	α	a_t	γ	Φ_j
8	4.26	0,248	4,0	0,42	0,29
25,4	3.397	0,48	5,2	0,48	0,35

Nevşehir pomzasının bilya çapı için yapılan deneylerinde model parametrelerini incelersek; bilya çapı büyüdükçe iri boyutlarda daha etkin bir kırılmanın olduğu anlaşılmaktadır. Φ_j değerine bakıldığında bilya çapı büyüdükçe üst boyuların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. γ değerine bakıldığında ise bilya çapı arttıkça ince ürün miktarının azaldığı gözlenmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bir endüstriyel hammadde olan pomza çok çeşitli yerlerde kullanım alanı bulmaktadır. Birçok kullanım alanları içerisinde; boya, kimya, dişçilik, kozmetik, aşındırıcı, çimento, ilaç, cam, seramik, elektronik gibi endüstri alanlarında pomzanın oldukça ince boyutlarda öğütülme ihtiyacını doğurmaktadır. Bu tez çalışması, rezerv açısından dünya ve ülkemizde çok olan pomza madeninin, öğütme özelliklerinin ortaya konması açısından örnek bir çalışmadır.

Öğütme işlemlerinde değirmen dizaynı için Bond yöntemi yıllardır kullanıla gelmektedir. Bond yönteminin deneysel açıdan uzun sürmesi, boyut fraksiyonlarında tam olarak fikir verememesi ve hatalı yaklaşımlara neden olması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından daha etkin modellerin geliştirilmesine vesile olmuştur. Son yıllarda, matematiksel model ve simülasyon teknikleri ortaya atılmış ve özellikle bilgisayar yazılım tekniklerindeki gelişmeler, cevher hazırlamaya da önemli oranda katkıda bulunmuştur.

Pomza numunelerinin öğütülebilirlik durumu öncelikle bond öğütülebilirlik testi ile ortaya konarak teorik bir fikir elde edilmiştir. Daha sonra ufalanma özellikleri diğer bir yöntem olan öğütme kinetiği ile araştırılmıştır.

Bölüm 4' de pomza numunelerinin kırılma hız fonksiyonlarının belirlenmesi için oluşturulan grafiklerde, S_i değerlerinin ya da a_t değerinin büyük olması, daha etkin bir kırılmanın olacağını ve orijinal parçanın daha çabuk alt boyuta indirgeneceği anlamına gelmekte olup, elde edilen a_t değerlerine göre, malzeme yükü arttıkça kırılma hızının azaldığı, bilya yükü arttıkça hızlı kırılma olduğu ve değirmen hızı arttıkça kırılma hızının arttığı ortaya çıkmaktadır. Bilya çapı arttıkça iri boyutlarda kırılmanın hızlı fakat ince boyutlarda azaldığı gözlenmektedir.

Φ_j değerinin artması en üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırılacağını ifade etmektedir. Pomza örneklerinin Φ_j değerlerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça üst boyutların kırılma hızı azalmaktadır, bilya yükü arttıkça üst boyutların bir alt boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz, değirmen hızı arttıkça üst boyutların bir alt

boyuta daha hızlı kırıldığını görmekteyiz. Bilya çapı arttıkça üst boyutların daha hızlı kırıldığını görmekteyiz.

γ değerinin büyük olması, ince malzeme miktarının az olduğunu gösterir. Pomza örneklerinde, γ değerine bakıldığında malzeme yükü arttıkça γ değerinin arttığı, yani malzeme-malzeme sürtünmesi arttığından ince ürün oranında artma olduğu gözükmemektedir. Bilya yükü artması ile ince ürün miktarının arttığını görmekteyiz. Değirmen hızı arttırıldığında ise az da olsa ince ürün miktarının azaldığını bunun nedenin ise katarakt etkiden dolayı ileri geldiğini söyleyebiliriz. Bilya çapının değişiminde ise ince bilya da daha etkin bir kırılma olacağından γ değeri bilya çapı azaldıkça azalmaktadır.

Dört farklı pomza örneği için malzeme yükü, bilya yükü, değirmen hızı ve bilya çapı deneylerinde; pomzalar aynı eğilimi göstermektedir. 25,4 mm bilya çapında yapılan deneylerde malzeme yükü $fc=\%5$ için kırılmanın hızlı olduğu bütün pomza numunelerinde gözlenmektedir. Bunun nedeni malzeme yükünün $\%5$ ' in üzerindeki değerlere çıkmasıyla kırılma hareketi azalmakta değirmen içinde malzeme birikimi nedeniyle kırılma hızında yavaşlama meydana gelmektedir. Bilya yükünün $J= \%40$ olduğu deneylerde kırılmanın hızlı olduğu bütün pomza numunelerinde gözlenmektedir. Bunun nedeni ise değirmen optimum doldurma oranına ulaştığından malzeme ile bilya arasında çarpışma üst seviyeye ulaşmaktadır. Değirmen hızının 86 dv/dk olduğu değerlerde etkin bir kırılmanın olduğu bütün pomza numunelerinde gözlenmektedir. Bunun nedeni ise değirmen hızı arttığında katarakt etkinin artması ile daha etkin bir çarpmanın gerçekleştiği, pomzalarında boşluklu yapısı göz önüne alındığında darbe etkisinin ufalamada daha etkin bir rol oynadığını söyleyebiliriz. Çap deneylerinde iri boyutlarda 25,4 mm' lik bilyalar daha iyi öğütme sağlarken, 8 mm' lik bilyaların iri boyutlarda öğütme yapamadığı anlaşılmaktadır. Bunun da nedeni 25,4 mm çaplı bilyaların büyük taneleri daha verimli kırmasından kaynaklanmaktadır. 25,4 mm çapta iri boyutlarda kırılma hızları yüksek fakat ince boyutlarda kırılma hızı düşüktür. 8 mm çapta ise iri boyutlarda kırılma hızı düşük, ince boyutta ise yüksek çıkmaktadır.

Si ve a_t değerlerinde Kayseri pomzasının diğer pomza örneklerine göre daha etkin kırılacağını, Nevşehir pomzasının ise diğer pomzalara göre daha zor kırılacağı ortaya çıkmıştır. Bunun da nedeni Nevşehir pomzasındaki SiO_2 miktarının fazla olmasının yanı sıra malzeme içerisindeki yan kayaçların (bazalt, andezit) miktarının da fazla olmasından kaynaklanmaktadır. γ değerinin Kayseri pomzası için en küçük olması ince malzemenin çok olacağını göstergesidir. Bunun da nedeni Kayseri pomzası içerisindeki SiO_2 oranının diğerlerine göre daha az olmasından kaynaklanmaktadır. Φ_j değerlerinin ise Isparta pomzasında yüksek çıkması Isparta pomzasının üst boyutlarda daha hızlı kırılacağını bir göstergesidir.

Pomzanın ufalanmasında iri boyutlarda gözeneklilik kırılma kolaylığı sağlarken, ince boyutlarda gözenekliliğin kaybolması ve bununla birlikte bünyesindeki SiO_2 'nin ufalamayı zorlaştırdığı gözükmemektedir. Ancak pomza örneklerinin her bir boyut için porozitesinin belirlenmesi, gözeneklerin birbirine bağlı olup olmadıklarının ortaya konması ve en son olarakta gözenek çaplarının ölçülmesinin gerekliliği vardır.

Çizelge 4.1' de pomza numuneleri için G değerlerine baktığımızda, Kayseri pomzasının öğütülebilirlik değeri 2,05 g/dv, Nevşehir pomzasının 1,95 g/dv, Kars pomzasının 1,88 g/dv ve Isparta pomzasının 1,82 g/dv dir. Bond metoduna göre bu değerler yorumlandığında Kayseri ve Nevşehir pomzasının öğütme ortamındaki davranışları aynı olacağı Isparta ve Kars pomzalarının diğer iki pomzaya göre daha zor öğütülebilirliğe sahip olduğu kanısı hakim olmaktadır. Bu sonuçlara göre Nevşehir pomzası kinetik deneylerinde zor ufalanırken bond öğütülebilirlik deneyinde kolay öğündüğü ortaya çıkmaktadır. Oluşan bu farklılığın pomzanın çok ince boyutlara kadar olan gözenekliliğinden kaynaklanmakta olup, mikron mertebesine kadar gözenekliliğinin de araştırılması gerekmektedir. Bu sonuçlarda Bond metoduna göre öğütme farklılığının sağlıklı sonuçlar ortaya koyamayacağı da gözükmiştir.

Yapılan çalışmalarda sadece Bond öğütülebilirlik değerlerine bakılarak değirmen dizaynına gitmek yanı sıra götürebilir. Bu nedenle her bir pomza örneğinin kinetik model parametrelerine de bakılarak, öğütme özelliklerinin iyi irdelenmesi gerekmektedir. Değirmen seçiminin doğru yapılması kadar, değirmen çalıştırma

şartlarının da pomza cevherine uygun olması önemli bir konudur. Bu nedenle, uygun ölçüde seçilmiş bir değirmenin çalışma şartları olan değirmenin dönme hızı, malzeme yükü, bilya yükü, malzemenin kalış zamanı, bilya çapı özelliklerinin iyi bir şekilde ortaya konması gerekmektedir.

Ülkemizde birçok öğütme tesisi, üzerinde hiçbir çalışma yapılmadan kurulmaktadır. Bunun sonucunda da aşırı enerji tüketimine bağılı olarak ürünün maliyeti artmakta olup, ürettiğimiz ürünler rekabet gücünü azaltmaktadır. Bu konuda yapılacak ufak bir çalışmanın bile hem ekonomiye hem de enerji tasarrufuna katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Arslan M., 1997. Meydan (Van-Erciş) Yöresi Pomza Tefra Çökellerinin Petrografik, Jeokimyasal Özellikleri ve Oluşumu. I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 163–173, Isparta.
- Austin, L.G., Bagga, P., and Çelik, M., 1981. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. Powder Technology, Vol. 28, pp. 235–241.
- Austin, L.G., Klimpel, R.R., and Luckie, P.T., 1984. Process Engineering of Size Reduction: Ball Milling. AIME, New York.
- Bilgin A., Köseoğlu M., Özkan G., 1988. Isparta-Gölcük Volkanitlerinin Mineralojisi, Petrografisi ve Jeokimyası. Isparta.
- Bond, F. C., 1947. Standart Grindability Tests Tabulated. Trans. SME/AIME, Vol. 183, pp. 313-329.
- Bond, F. C., 1952. The Theory of Comminution, Mining Engineering. May, pp. 484-494.
- Campbell, Q.P., Everon, R.C., Eyre, D. and Spamer, H.J., 1985. Minerals Engineering, Vol. 8, pp. 377–387.
- Çevikbaş A., İlgün F., 1997. Türkiye Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Ekonomisi. I. Isparta Pomza Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 13-18, Isparta.
- Demirel, H., ve Sönmez, B., 1992. Benzetişim Kullanarak Bond Öğütülebilirlik Testinin Basitleştirilmesi. 4. International Mineral Processing Symposium, Antalya.
- Deniz, V., 2003. Cevher Hazırlama Ders Notları. SDÜ, Müh-Mim Fakültesi, Maden Müh. Böl., Isparta.
- Deniz, V., 1996. Bond Öğütülebilirliği Ve İş İndeksi İle Statik Ve Dinamik Parametreler Arasındaki İlişkiler. O.G.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 126s, Eskişehir.
- Deniz, V., 1997. Isparta Yöresi İki Farklı Pomzasının Kırılma Özelliklerinin İncelenmesi. I. Isparta Pomza Sempozyumu, 207-211s., Isparta.
- Deniz V., 2004. Doğal Amorf Silikanın Kinetik Öğütme Parametrelerine Hacimsel Bilya ve Malzeme Doluluk Oranlarının Etkisi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 130–137.
- Deniz V., Umucu Y., 2004. Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş.' nin Pomza Zenginleştirme Tesisindeki Jig Performanslarının Değerlendirilmesi. 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, 307–312, İzmir.

- Erkan, D., 2000. Kalker Örneği Üzerinde Bilya Çapının Kesikli Öğütme Ortamındaki Davranışının İncelenmesi. S.D.U., MMF/MAD, Bitirme Projesi, 50s, Isparta.
- Findstone, 1998. İnternet Sitesi. <http://www.findstone.com/pl/921.htm>. Erişim Tarihi: 12.06.2008
- Gündüz, L., Sarıışık, A., Tozaçan, B., Davraz, M., Uğur, İ., Çankıran, O., 1998. Pomza Teknolojisi, Cilt 1-2, Isparta.
- Gündüz, L., Deniz, V., v.d., 2005. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 398s., Isparta.
- Özgür, İ., 2003. Kolemanitin Öğütülebilirliği. O.G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 182s, Eskişehir.
- Index Mundi, 1879. U.S. Imports For Consumption Of Pumice, By Class And Country. http://www.indexmundi.com/en/commodities/minerals/pumice_and_pumicite Erişim Tarihi: 15.06.2008
- İpekoğlu, Ü., Tanrıverdi M., 1994. Cevher Hazırlama. D.E.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi Yayınları, Genişletilmiş II. Baskı, 215s, İzmir.
- Karaman M.E., 1988. Isparta Güneyinin Temel Jeolojik Özellikleri. TJK Dergisi, Ankara.
- Kapur, P. C., 1970. Analysis of the Bond Grindability Test. Trans. IMM, Vol. 79, pp. C-103-108.
- Karra, V. K., 1981. Simulation of the Bond Grindability Test. CIM Bulletin, Vol. 74, No 827. pp. 195-199.
- Koçyiğit A., 1984. Türkiye ve Yakın Dolayında Yeni Tektonik Gelişimi. T.J.K. Bülteni, Ankara.
- Köse, M., ve Koç, M., 1990. Bond İş İndeksinin Tayininde Basitleştirilmiş Bir Metod. 3. International Mineral Processing Symposium, İstanbul.
- Magdalinoviç, N. M., 1989. Calculation of Energy Required for Grinding in a Ball Mill. International Journal of Mineral Processing, Vol.25, pp. 41-46.
- Minerals Information, 1879. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/pumice>. Erişim Tarihi: 13.06.2008
- Onur, T., 1999. Malzeme Yük Oranının Kesikli Öğütme Ortamındaki Davranışı. S.D.U., MMF/MAD, Bitirme Projesi, 60s, Isparta.

- Özdağ, H., 1992. Cevher Hazırlama. D.E.Ü., Mühendislik Mimarlık Fakültesi, MMF/MAD-89, EY 179s, İzmir.
- Poisson A., Akay E., Dumont J.F., Uysan S., 1984. The Isparta Angle A Mesozoik Paleorift in The Western Taurides. İnternational Symposium, Geology of the Taurus Belt. M.T.A. Yayınları, Ankara.
- Tangsathitkulchai, C., and Austin, L.G., 1985. Powder Technology, Vol.42, pp. 287-296.
- Teke, E., 1998. Kalsit ve Baritin İnce Öğütme Kinetiğinin Analizi. C.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 153s, Sivas.
- Umucu, Y., 2004. Isparta-Karakaya Yöresi Pomza Yataklarının Gravite İle Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması ve Tesis Simülasyonu. S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 80s, Isparta.
- Yıldız, N., 1999. Öğütme Teorisi, Uygulaması Değirmenler ve Sınıflandırıcılar. TMMOB Maden Mühendisleri Odası Yayınları, 4.31–7.96s, Ankara.
- Yıldız, N., 2007. Cevher Hazırlama. ERTEM Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti, 41-193s, Ankara.

EKLER

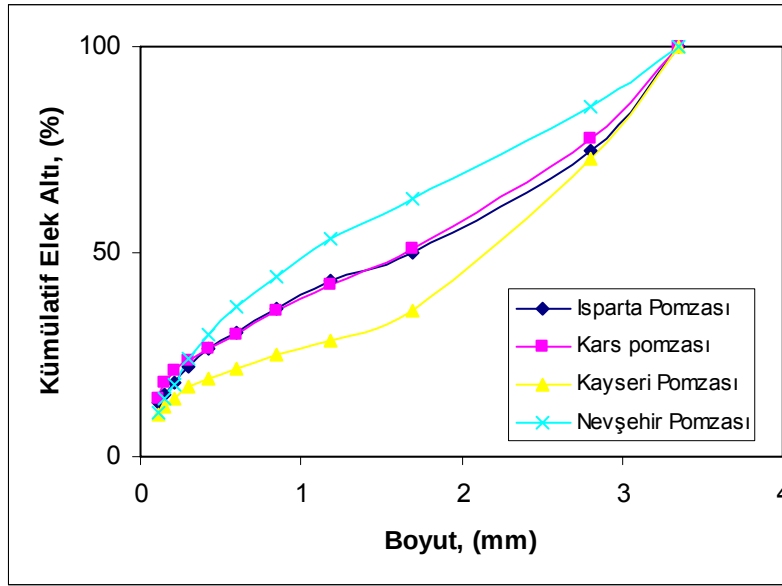
EK-I. Bond Öğütülebilirlik Deneylerinde Kullanılan Pomza Örneklerinin Besleme, Ürün Elek Analizi Değerleri ve Grafikleri

Ek Çizelge 1. Bond öğütülebilirlik deneyinde kullanılan pomzaların besleme elek analizleri

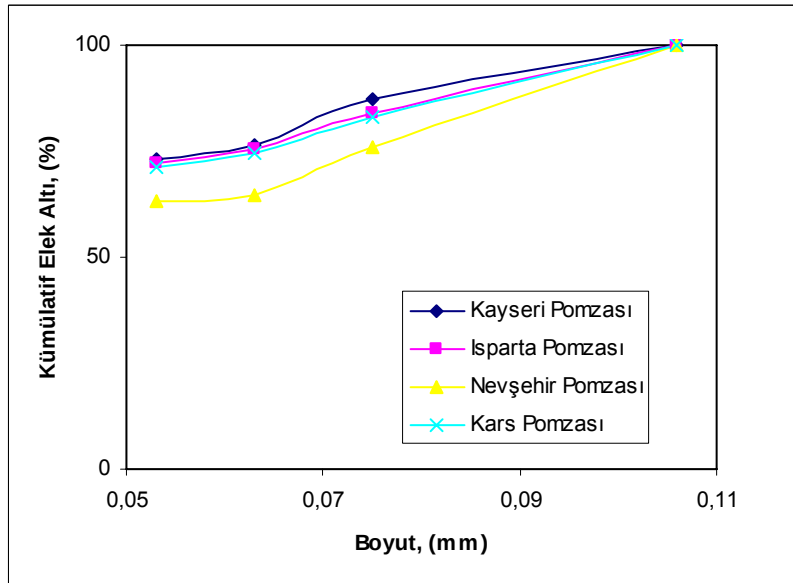
Boyut (mm)	ISPARTA		KARS		KAYSERİ		NEVŞEHİR	
	%Ağ.	Σ%EA	%Ağ.	Σ%EA	%Ağ.	Σ%EA	%Ağ.	Σ%EA
-3,35+2,8	25,59	100	22,64	100	27,23	100	14,65	100
-2,8+1,7	24,45	74,41	26,77	77,36	37,28	72,77	22,46	85,35
-1,7+1,18	7,16	49,96	8,75	50,59	7,42	35,49	9,69	62,89
-1,18+0,850	6,69	42,8	6,38	41,84	3,25	28,07	9,08	53,2
-0,850+0,600	6,06	36,11	5,59	35,46	3,47	24,82	7,53	44,12
-0,600+0,425	3,63	30,05	3,44	29,87	2,39	21,35	6,66	36,59
-0,425+0,300	4,30	26,42	2,89	26,43	1,76	18,96	6,14	29,93
-0,300+0,212	4,05	22,12	2,34	23,54	2,90	17,2	6,00	23,79
-0,212+0,150	2,86	18,07	3,20	21,2	2,00	14,3	3,64	17,79
-0,150+0,106	2,03	15,21	3,96	18	1,96	12,3	3,42	14,15
-0,106	13,19	13,18	14,04	14,04	10,34	10,34	10,73	10,73

Ek Çizelge 2. Bond öğütülebilirlik deneylerinden elde edilen ürünlerin elek analizleri

Boyut (mm)	ISPARTA		KARS		KAYSERİ		NEVŞEHİR	
	%Ağ.	Σ%EA	%Ağ.	Σ%EA	%Ağ.	Σ%EA	%Ağ.	Σ%EA
-0,106+0,075	15,86	100	14,80	100	12,79	100	24,19	100
-0,075+0,063	8,67	84,14	8,21	83,22	10,76	87,21	11,22	75,81
-0,063+0,053	3,45	75,47	3,25	74,71	3,41	76,44	1,15	64,58
-0,053	72,02	72,02	71,20	71,46	73,03	73,03	63,43	63,43



Ek Şekil 1. Bond öğütülebilirlik deneyinde kullanılan pomzaların kümülatif elek altı eğrileri



Ek Şekil 2. Bond öğütülebilirlik deneylerinden elde edilen ürünlerin kümülatif elek altı eğrileri

ÖZGEÇMİŞ



Adı Soyadı: Serkan ÇAYIRLI

Doğum Yeri ve Yılı: Aydın, 1982

Medeni Hali: Bekâr

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu:

Lise: Aydın Lisesi, 1996–2000

Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.- Mim. Fak.
Maden Mühendisliği Bölümü, 2000–2004

Yüksek Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.- Mim. Fak.
Maden Mühendisliği Bölümü, 2005–2008

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Süleyman Demirel Üniversitesi Müh.- Mim. Fak.
Maden Mühendisliği Bölümü, 2007-...

Yayınları :

1- N. Şengün, Y. Umucu, R. Altındağ, V. Deniz, S. Çayırılı & B. Oğuz, "Kayaçların Aşınma İndeks Değerlerinin Fiziko-Mekanik Özelliklerle Olan Etkileşimlerinin Değerlendirilmesi" VIII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu, 2-3 Kasım 2006, İstanbul