

**FARKLI KIRILMA KARAKTERİSTİĞİ GÖSTEREN
MALZEMELERİN BİRLİKTE ÖĞÜTÜLDÜKLERİ
KOŞULDAKİ DAVRANIMLARININ İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF BEHAVIOUR OF MATERIALS WHICH
EXHIBIT DIFFERENT BREAKAGE CHARACTERISTICS
WHEN GROUND TOGETHER**

MURAT DOĞRUER

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

MADEN Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ

olarak hazırlanmıştır.

2007

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

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

Başkan :.....
(Prof.Dr. Üner ÇOLAK)

Üye (Danışman) :.....
(Doç.Dr. A. Hakan BENZER)

Üye :.....
(Prof.Dr. Zafir EKMEKÇİ)

ONAY

Bu tez/...../ 2007 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Erdem YAZGAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

FARKLI KIRILMA KARAKTERİSTİĞİ GÖSTEREN MALZEMELERİN BİRLİKTE ÖĞÜTÜLDÜKLERİ KOŞULDAKİ DAVRANIMLARININ İNCELENMESİ

Murat Doğruer

ÖZ

Bu çalışmada, farklı öğütülebilirlikteki malzemelerin beraber öğütüldükleri koşulda devre etrafındaki davranımlarının incelenmesi hedeflenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, SET Çimento A.Ş. Ambarlı Tesisi' ne ait çimento öğütme devresi etrafından ve değirmene ait birinci ve ikinci kamaralardan numuneler alınmıştır ve her bir numune için önce test elekleri ve lazerli tane boyu ölçüm cihazı kullanılarak, daha sonra da her bir numuneyi +300 μ m, -300+150 μ m, -150+75 μ m, -75+38 μ m, -38+32 μ m, -32+20 μ m ve -20 μ m fraksiyonlarına ayrılarak iki farklı şekilde tane boyu dağılımları belirlenmiştir ve her fraksiyondaki malzeme ayrı ayrı elde edilmiştir. Elde edilen bütün fraksiyonların kimyasal analizleri yapılmıştır. Kontrol odasından kaydedilen tonaj değerleri ve belirlenen tane boyu dağılımları kullanılarak iki ayrı madde denkliği çalışması yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yapılan kimyasal analiz çalışmaları sonucunda kızdırma kaybı miktarının alçı ve kalkerde, diğer katkılara göre çok daha fazla miktarda olduğu görülmektedir. Alçı ve kalkerin düşük iş indeksi değerlerine sahip olmaları, bu maddelerinin kolay öğütülebilir olmalarının göstergesidir; bu sebepten dolayı kızdırma kaybı miktarının ince dağılım gösteren örneklerde ve ince fraksiyonlarda, irilere oranla daha yüksek miktarda bulunması beklenmektedir. Kızdırma kaybının analiz sonuçları ise bu beklentiyi doğrular niteliktedir ve filtre geri dönüşleri ile kamaralara ait örneklerde -20 μ m fraksiyonlarında kızdırma kaybı miktarları daha fazladır. Aynı şekilde SO₃' ün ince, Al₂O₃, MgO ve SiO₂' nin iri fraksiyonlarda yoğunlaşması beklenmektedir ve analiz sonuçları bu yöndedir. CaO, K₂O, Fe₂O₃ ve Na₂O için analiz sonuçları beklenen yönde olmamıştır. Bu bileşenlerin davranımları hakkında daha sağlıklı yorumlar yapabilmek için deneylerin fraksiyonel anlamda genişletilmesi gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: fraksiyonel analiz, kimyasal analiz, imento, kırılma dağılımları

Danışman: Doç.Dr. A. Hakan BENZER

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama Anabilim

Dalı

INVESTIGATION OF BEHAVIOUR OF MATERIALS WHICH EXHIBIT DIFFERENT BREAKAGE CHARACTERISTICS WHEN GROUND TOGETHER

Murat Doğruer

ABSTRACT

The aim of study is to investigate the behaviour of materials, which exhibit different grindability, in case of ground together over the circuit.

In this study, samples were taken from around the circuit at steady state conditions. The mill inside samples were taken by crash stopping the circuit. The sampling study was carried out for both the chambers of the mill. The samples taken during the sampling study were analyzed and the full size distribution of the samples were determined. In order to measure the fine size fractions, both laser sizing and alpine sieving technique were used. The size fractions of +300 μ m, -300+150 μ m, -150+75 μ m, -75+38 μ m, -38+32 μ m, -32+20 μ m and -20 μ m were obtained separately and the samples were used for chemical analysis. The size distribution datas were used to balance the circuit.

As the chemical analysis of samples were investigated, it is obvious that the quantity of loss of ignition is clearly higher in gypsum and limestone. Lower work index values of gypsum and limestone means that higher grindability of these additives. So, it is expected that the loss of ignition measurements are higher in finer size distributions and finer fractions over the circuit. Analysis results of loss of ignition verify these expectations and quantities get clearly higher values in filter returns and in -20 μ m fractions of mill samples. In the same way, it is expected for SO₃ to accumulate in finer fractions and Al₂O₃, MgO, SiO₂ in coarser fractions as in the analysis results. But, results for CaO, Fe₂O₃, K₂O and Na₂O amounts are not in consistence with the expectations. However, experimental studies should be extended by fractional means to have more trustworthy views over these components.

Key Words: fractional analysis, chemical analysis, cement, breakage distribution

Advisor: Assoc.Prof.A. Hakan BENZER

Hacettepe University, Mining Engineering Department, Mineral Processing
Division

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı, Sayın Prof.Dr. A.Erhan TERCAN' a,

Tezin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, fikirleri ve bilgisiyle yol gösteren, her türlü yönlendirici ve yapıcı yardımlarından dolayı tez danışmanı, Sayın Doç.Dr. A.Hakan BENZER' e,

Çalışmalar boyunca bilgi ve görüşlerinden yararlandığım Prof. Alban LYNCH' e,

SET Anadolu Çimentoları T.A.Ş. Ambarlı Çimento Öğütme Tesisleri Operasyon Şefi, Sayın Ramazan ABAY' a,

Tez yazım aşamasındaki yardımlarından dolayı Dr.Abdullah OBUT' a, Araş.Gör. Hakan DÜNDAR' a, Araş.Gör. Okay ALTUN' a, Araş.Gör. Ömürden GENÇ' e,

Her türlü konuda destek olan Maden Mühendisliği Bölümü araştırma görevlilerine,

Lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince yanımda olan arkadaşlarım, Bilge KÜÇÜKAYTAN, Emre YILMAZKAYA ve Ediz S. KANBİR' e,

Her türlü maddi ve manevi desteklerinden ve göstermiş oldukları sabırdan dolayı aileme içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	II
ABSTRACT	IV
TEŞEKKÜR	VI
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	VII
SAYFA	VII
EKLER DİZİNİ	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. ÇİMENTO ÜRETİM TEKNOLOJİSİ	3
2.1. ÇİMENTO TIPLARI	7
2.1.1. Çimento üretiminde kullanılan katkı malzemeleri	9
2.1.1.1. Granüle yüksek fırın curufu	9
2.1.1.2. Puzolanik Maddeler	10
2.1.1.3. Uçucu Kül	10
2.1.1.4. Pişmiş Şist	11
2.1.1.5. Kalker (Kireç taşı)	11
2.1.1.6. Silis dumanı	12
2.2. ÇİMENTO ÜRETİMİNDE ÖĞÜTME İŞLEMİ	12
2.2.1. Hammadde Öğütme	12
2.2.2. Çimento öğütme	13
2.2.2.1. Bilyalı/Tüp Değirmenler	14
2.2.2.2. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmen	15
2.2.2.3. Dik değirmenler	17
2.2.2.4. Düşey milli darbeli kırıcılar	18
2.2.2.5. Horomill	19
2.2.3. Çimento Katkılarının Öğütülmesi	20
3. BOYUT KÜÇÜLTMENİN MATEMATİKSEL İFADESİ	22
3.1. BOYUT KÜÇÜLTME – ENEJİ İLİŞKİSİ	22
3.2. BOYUT KÜÇÜLTMENİN MODELLENMESİ	24
3.2.1. Temel modeller	25
3.2.2. Kara kutu modelleri (Black box models)	26
3.2.2.1. Kütle denkliği modeli	27
3.2.2.2. Mükemmel karışım modeli	29
3.2.2.3. Çok bölmeli değirmen modelleme yaklaşımı	31
4. TESİS ÖRNEKLEME ÇALIŞMALARI	33
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	35
5.1. TANE BOYU ANALİZ ÇALIŞMALARI	35
5.2. NUMUNELERİN FRAKSİYONLARA AYRILMASI	37
5.3. KİMYASAL ANALİZ	40

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE MADDE DENKLİĞİ ÇALIŞMALARI	45
6.1. TANE BOYU ANALİZLERİ VE MADDE DENKLİĞİ SONUÇLARI.....	45
7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	50
8. ÖNERİLER.....	56
9. KAYNAKLAR DİZİNİ	57
EKLER	59

EKLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK.1 Test elekleri ve lazerli ölçüm cihazı ile ölçülen devre etrafına ait tane boyu dağılımları.....	60
EK.2. Test elekleri ve lazerli ölçüm cihazı ile ölçülen ve birinci kamaraya ait tane boyu dağılımları.....	61
EK.3. Test elekleri ve lazerli ölçüm cihazı ile ölçülen ve ikinci kamaraya ait tane boyu dağılımları.....	62
EK.4. Katkı maddelerinin tane boyu dağılımları.....	63
EK 5. Numuneleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle ölçülen ve devre etrafı numunelerine ait tane boyu dağılımları.....	64
EK.6. Numuneleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle ölçülen ve birinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları.....	64
EK.7. Numuneleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle ölçülen ve ikinci kamaraya ait tane boyu dağılımları.....	65
EK 8. Birinci madde denklğine ait ölçülen – hesaplanan tane boyu dağılımları.....	66
EK 9. İkinci madde denklğine ait ölçülen – hesaplanan tane boyu dağılımları.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Çimento Üretim Hattı.....	4
Şekil 2.2. Hammadde öğütme değirmeninin genel görünümü.....	13
Şekil 2.3. Çimento öğütmede kullanılan kamaralı bir değirmenin kesit görünümü.....	15
Şekil 2.4. Yüksek basınçlı merdaneli değirmen.....	16
Şekil 2.5. Dik değirmen.....	17
Şekil 2.6. Düşey milli darbeli kırıcıların çalışma prensibi.....	19
Şekil 2.7. Horomill.....	20
Şekil 3.1. Tek bir tane boyu fraksiyonu için kütle denkliği.....	27
Şekil 3.2. Mükemmel karışım bilyalı değirmen modeli kırılma mekanizması.....	29
Şekil 3.3. Çok bölmeli değirmen modelleme yaklaşımının şekilsel gösterimi.....	31
Şekil 4.1. Öğütme devresinin basitleştirilmiş akım şeması ve örnekleme noktaları.....	34
Şekil. 4.2. Değirmen içi örnekleme noktaları.....	34
Şekil 5.1. Devre etrafından alınan örneklerle ait tane boyu dağılımları.....	39
Şekil 5.2. Birinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları.....	39
Şekil.5.3. İkinci kamaraya ait tane boyu dağılımları.....	37
Şekil 5.4. Katkı maddelerine ait tane boyu dağılımları.....	37
Şekil 5.5. Hava püskürtmeli elek (Airjet Screen SLS200, Siebtechnik).....	38

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.6. Devre etrafından alınan numunelerin tane boyu dağılımları.....	39
Şekil 5.7. Birinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları.....	39
Şekil 5.8. İkinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları.....	40
Şekil 6.1. Birinci madde denkliği çalışması sonucunda hesaplanan dağılımlar.....	46
Şekil 6.2. İkinci madde denkliği çalışması sonucunda hesaplanan dağılımlar.....	47
Şekil 6.3. Birinci madde denkliği sonucunda hesaplanan tane boyu dağılımları..	47
Şekil 6.4. İkinci madde denkliği sonucunda hesaplanan tane boyu dağılımları.....	48
Şekil 6.5. Birinci madde denkliği çalışması sonucu hesaplanan tonaj değerleri... ..	48
Şekil 6.6. İkinci madde denkliği çalışması sonucunda hesaplanan tonaj değerleri.....	49
Şekil 7.1. Katkı maddelerinin iş indeksi değerleri.....	50
Şekil 7.2. Tipik bir etkinlik (performans) eğrisi ve parametreleri.....	54
Şekil 7.3. Çimento öğütme devresi separatör performans eğrisi.....	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Klinkerin kimyasal bileşimi (Duda, 1976).....	6
Çizelge 2.2. Klinkerin içerdiği fazlar (Duda, 1976)	7
Çizelge 2.3. Çimento Tipleri.....	7
Çizelge 2.4. TS EN 197 standardı kapsamındaki çimentolar ve bileşimleri (TS EN 197)	8
Çizelge 2.5. Dayanım sınıflarına ait mekanik ve fiziksel özellikler (TS EN 197)	9
Çizelge 4.1. Üretilen CEM \B tip çimento için katkı maddeleri bileşimi.....	33
Çizelge 5.1. Klinker ve katkı maddelerinin kimyasal analiz sonuçları (%).....	40
Çizelge 5.2. Numunelerin Kimyasal analiz sonuçları.....	41

1. GİRİŞ

Endüstriyel atıkların ya da yan ürünlerinin farklı endüstrilerde hammadde olarak kullanılması maliyet azaltımı, atık bertarafı, etkin kaynak kullanımı ve benzeri nedenlerden dolayı günümüz teknolojilerinin önemli unsurlarından birini oluşturmaktadır.

Çimento endüstrisi de bu kaynakların değerlendirildiği önemli alanlardan biridir. Yüksek fırın curufu, uçucu kül, silis dumanı gibi pek çok endüstriyel atık çimento endüstrisinde hammadde olarak kullanılmakta ve buna bağlı olarak farklı tipte çimentolar üretilmekle birlikte birim maliyetin düşürülmesi açısından oldukça önemlidir.

Çimento üretimi için hazırlanan hammadde karışımının tane boyu iri olduğunda döner fırın içindeki tepkimeler tam olarak gerçekleşmemekte ve bu sebeple fırın çıkışı ürün istenilen özelliklere sahip olamamaktadır. Bundan dolayı hammadde karışımının belirli bir inceliğe kadar öğütülmesi gerekmektedir. Yeterli incelikte olan hammadenin harmanlanması ve bileşenleri arasındaki tepkimelerin gerçekleşmesi daha kolay olmaktadır.

Çimento üretim maliyetinin %30-40 kadarının öğütme enerjisi maliyeti olduğu bilinmektedir (Dündar, 2006). Bu kadar büyük miktardaki enerjinin kullanımı, boyut küçültme işlemlerinde enerjinin etkin olarak kullanılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır.

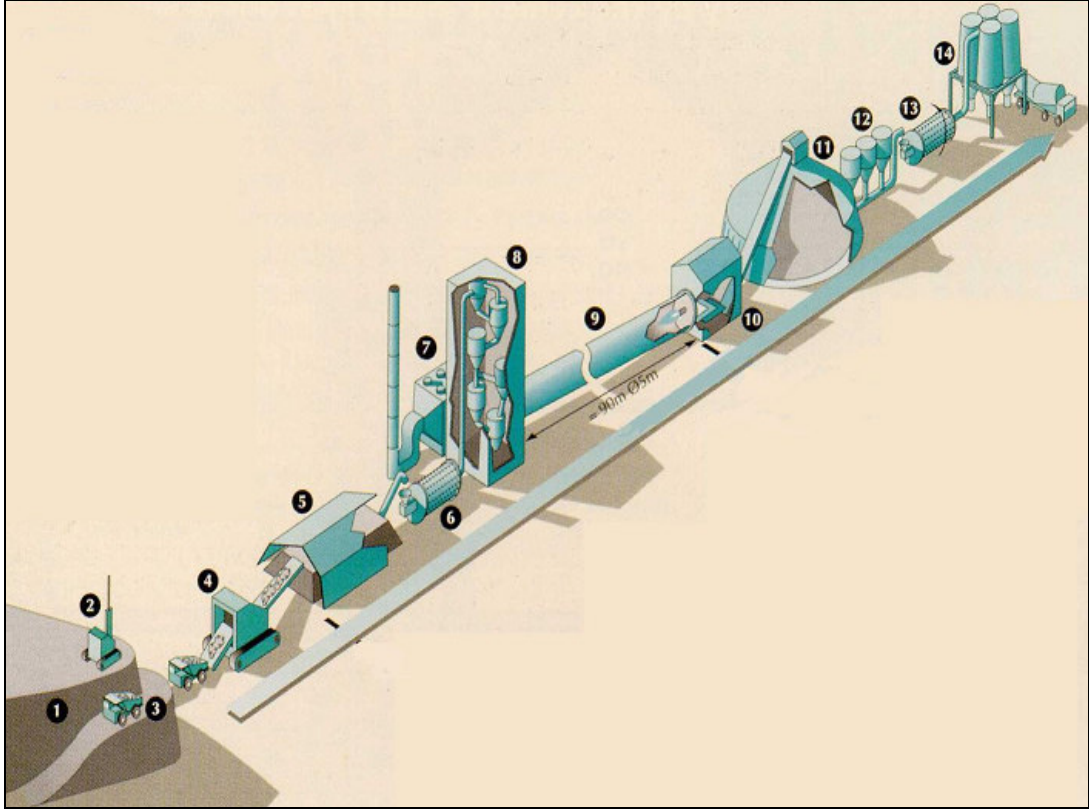
Katkılı çimento üretiminde, mineral katkıları klinkerle birlikte veya ayrı olarak öğütülmektedir. Klinkerin çeşitli katkı malzemeleriyle birlikte öğütülmesi sırasında bileşenlerin tane boyu dağılımını bir diğerinden bağımsız olarak kontrol etmek mümkün olmamaktadır. Öğütülmesi zor olan bileşenler iri boylarda, kolay olan bileşenler ise ince boylarda birikmektedir. Buna ek olarak, öğütülmesi zor olan malzemelerin tane boyu dağılımları öğütme süresince daralmakta, öğütülmesi kolay olan malzemelerin ise genişlemektedir. Öte yandan bileşenlerin ayrı öğütülmeleri sonucunda ise kontrollü koşullar altında farklı tane boyu dağılımlarına sahip ürünlerin ortaya çıkması sağlanmaktadır (Müller-Pfeiffer vd., 2000).

Tez kapsamında, klinker ile katkı maddelerinin birlikte öğütülmesi sonucunda, devre etrafında ve değirmende kamaralar boyunca gösterdikleri davranımların incelenmesi amaçlanmıştır.

2. ÇİMENTO ÜRETİM TEKNOLOJİSİ

Çimento, homojen ve önceden saptanmış miktarlara silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitleri ihtiva eden hammadde karışımının sinterleşme derecesine kadar pişirilmesi ile elde edilen yarı mamul madde klinkerin, bir veya daha fazla katkı maddesi ile öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır. Daha çok inşaat malzemesi olarak kullanılan çimento toz halinde olup suyla bir araya geldiğinde tepkimeye (hidratasyon) girerek dayanım kazanan inorganik bir yapı malzemesidir. Bu özelliklerinden dolayı “hidrolik bağlayıcı” olarak adlandırılmaktadır (Bye, 1999).

Klinker üretimi sırasında temelde dört temel oksitin (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) bağlanması ile klinkerde bir takım kristal yapılar oluşur. Bu nedenle, klinker üretimi sırasında genelde temel hammaddeler ya CaO oranı yüksek, ya SiO_2 oranı yüksek hammadde ya da klinker üretimine uygun bileşimde tek tip hammadde. Uygun klinker bileşimini elde edebilmek için gerekiyorsa “düzeltici malzeme” olarak isimlendirilen dört temel oksitin biri yönünden zengin malzeme de katılabilir. Şekil 2.1’de çimento üretimine ait bir akım şeması verilmektedir.



Şekil 2.1. Çimento Üretim Hattı : 1, 2, 3, 4. Madencilik İşleri 5. Ön Homojenizasyon, 6. Farin Değirmeni, 7. Filtre, 8. Ön Isıtıcı, 9. Döner Fırın, 10. Soğutucu, 11. Klinker Stoklama, 12. Katkılar, 13. Çimento Öğütme, 14. Çimento Siloları – Sevkiyat

Teorik olarak çimento üretiminde kullanılan temel iki hammadde kireçtaşı (CaO kaynağı) ve silisyum oksittir (SiO_2 kaynağı). Ürün kalitesini bozmadan klinkerin pişme sıcaklığını düşüren alüminyum oksit (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3) ısı ekonomisi açısından işleme dahil edilmektedir. Bu malzemeler istenilen özelliklere göre ve kimyasal bileşimlerine göre değişik oranlarda karıştırılmaktadır. Ancak, yalnızca kimyasal bileşimler tek başına belirleyici faktör değildir. Çimentoda pişirme de önemli olduğundan hammaddenin incelik ve homojenlik gibi özellikleri de büyük önem taşır.

Farin olarak adlandırılan hammaddelerin hazırlanması madencilik işlemleri ile başlamaktadır. Madencilik işlemlerini, ocak çıkışı hammaddenin kırıcılarda kırılıp farin değirmeninde öğütülmesi takip etmektedir. Boyut küçültme işlemine tabi tutulan hammaddeler harmanlanarak malzeme homojenizasyonu sağlanır. Döner

fırına beslenen bu hammadde karışımı belirli bir sıcaklık altında sinterleşirken, bileşenler arasındaki kimyasal tepkimelerin oluşturulabilmesi için ise tanelerin belirli bir yüzey alanına sahip olmaları gerekmektedir (Dündar, 2006).

Farinin yapısında bulunan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 temel bileşenleri pişme sırasında tepkimeye girerek klinkerin yapısındaki temel mineralojik yapılar olan kalsiyum silikatlar ile kalsiyum alüminatları meydana getirirler. Bunlardan daha düşük düzeyde klinkerde MgO , SO_3 , K_2O ve Na_2O vardır. Tüm bu bileşenlerin toplamı farinin kimyasal bileşiminin yaklaşık %99'unu oluşturur. Geriye kalan yaklaşık %1'lik bileşim ise TiO_2 , Cr_2O_3 , Mn_2O_3 , P_2O_5 , klorür, florür gibi çok düşük düzeyde bir takım bileşenlerden oluşmaktadır. Bu bileşenlerin yüzdesi belli bir değeri aştığında gerek kalite gerekse işletme şartları yönünden etkileri olumsuz olur. Farinin yapısında en yüksek düzeyde bulunan CaO ve SiO_2 ergime derecesi en yüksek olan kimyasal bileşenlerdir. Bu nedenle reaksiyona girmeleri çok zordur. Buna karşılık diğer tüm bileşenlerin ya ergime sıcaklığını düşürücü, ya da reaksiyon hızını arttırıcı etkisi vardır.

Çimento klinkerinin üretimi için hammaddenin döner fırında sinterleşme (klinkerleşme) derecesine kadar pişirilmesi gerekmektedir. Beton dayanımındaki artışın uygun zaman içerisinde olması ve istenen dayanımın sağlanması için klinkerin belli bir incelikte olması gerekmektedir. Klinkerin öğütülmesi sırasında katkı maddeleri eklenerek katkılı çimento üretimi de yapılabilmektedir.

Klinkerin kimyasal bileşimi ve içerdiği mineral fazları sırasıyla Çizelge 2.1 ve 2.2.'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Klinkerin kimyasal bileşimi (Duda, 1976)

Bileşen	%
SiO ₂	16-26
Al ₂ O ₃	4-8
Fe ₂ O ₃	2-5
Mn ₂ O ₃	0-3
TiO ₂	0-0,5
CaO	58-67
MgO	1-5
K ₂ O + Na ₂ O	0-1
SO ₃	0,1-2,5
P ₂ O ₅	0-1,5

Çizelge 2.2. Klinkerin içerdiği fazlar (Duda, 1976)

Klinker Fazları	Kimyasal Formülü	Kısaltma
Trikalsiyum silikat (alit)	3CaO·SiO ₂	C ₃ S
Dikalsiyum silikat (belit)	2CaO·SiO ₂	C ₂ S
Trikalsiyum alüminat	3CaO·Al ₂ O ₃	C ₃ A
Tetrakalsiyum alüminoferrit	4CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
Kalsiyum alüminoferrit	2CaO·(Al ₂ O ₃ ,Fe ₂ O ₃)	C ₂ (A,F)
Serbest kireç	CaO	
Serbest magnezyum oksit	MgO	
Alkali içerikli alüminat	(K,Na) ₂ O·8CaO·3Al ₂ O ₃	(K,N)C ₈ A ₃
Alkali sülfat	(K,Na) ₂ SO ₄	
Kalsiyum sülfat	CaSO ₄	

2.1. Çimento Tipleri

Farklı kullanım amaçları doğrultusunda istenilen özellikleri sağlamak amacıyla çeşitli katkı malzemeleri kullanılarak farklı tipte ve kalitede çimentolar üretilmektedir. TS EN 197 standardı kapsamındaki 27 farklı genel çimento aşağıdaki 5 ana tipte olmak üzere gruplandırılmıştır (Çizelge 2.3).

Çizelge 2.3. Çimento Tipleri

CEM I	Portland Çimentosu
CEM II	Portlan – Kompoze Çimento
CEM III	Yüksek Fırın Curufllu Çimento
CEM IV	Puzolanlı Çimento
CEM V	Kompoze Çimento

Çizelge 2.4. TS EN 197 standardı kapsamındaki çimentolar ve bileşimleri (TS EN 197)

Ana Tipler	27 ürüne ait işaret (Genel Çimento Tipleri)		Bileşim (kütlece ^{a)} % olarak)										Minör İlave Bileşen	
			Ana Bileşenler											
			Klinker K	Yüksek Fırın Curufu S	Silis Dumanı D ^{b)}	Puzolan		Uçucu Kül		Pişmiş Şist T	Kalker			
			Doğal P	Doğal Kalsine Edilmiş Q	Silissi V	Kalkersi W		L	LL					
CEM I	Portland Çimento	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland-Curufu Çimento	CEM II/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D	90-94	-	6 - 10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-Puzolanlı Çimento	CEM II/A-P	80-94	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-P	65-79	-	-	21- 35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-Uçucu Küllü Çimento	CEM II/A-V	80-94	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM II/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM II/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Portland-Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM II/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Portland-Kalkerli Çimento	CEM II/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM II/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	0-5
		CEM II/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	0-5
		CEM II/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21-35	0-5
	Portland-Kompoze Çimento ^{c)}	CEM II/A-M	80-94	←----- 6 - 20 -----→										0-5
CEM II/B-M		65-79	←----- 21 - 35 -----→										0-5	
CEM III	Yüksek fırın Curufu Çimento	CEM III/A	35-64	36-65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/B	20-34	66-80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM III/C	5-19	81-95	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM IV	Puzolanik Çimento ^{c)}	CEM IV/A	65-89	-	←----- 11 - 35 -----→					-	-	-	0-5	
		CEM IV/B	45-64	-	←----- 36 - 55 -----→					-	-	-	0-5	
CEM V	Kompoze Çimento ^{c)}	CEM V/A	40-64	18-30	-	←----- 18 - 30 -----→			-	-	-	-	0-5	
		CEM V/B	20-38	31-50	-	←----- 31 - 50 -----→			-	-	-	-	0-5	

a Çizelgedeki değerler ana ve minör ilave bileşenlerin toplamı ile ilgilidir.
b Silis dumanının oranı % 10'la sınırlanmıştır.
c Portland Kompoze çimento CEM II/A-M ve CEM II/B-M'de, Puzolanik Çimento CEM IV/A ve CEM IV/B'de, Kompoze Çimento CEM V/A ve CEM V/B'de klinkerin yanındaki diğer ana bileşenler çimentoya ait işaretlerle beyan edilmelidir (Madde 8).

Çimentonun standard dayanımı TS EN 196-1'e göre tayin edilen 28 günlük basınç dayanımıdır. 32,5, 42,5 ve 52,5 (MPa) olmak üzere 3 dayanım sınıfı belirlenmiştir. Çimentonun erken dayanımı TS EN 196-1'e göre tayin edilen 2 veya 7 günlük basınç dayanımıdır. N ile belirtilen normal erken dayanım sınıfı ve R ile belirtilen yüksek erken dayanım sınıfı olmak üzere her bir standard dayanım sınıfı için iki erken dayanım sınıfı tanımlanır. Belirtilen farklı dayanım sınıflarına ait mekanik ve fiziksel özellikler Çizelge 2.5.' te verilmektedir.

Çizelge 2.5. Dayanım sınıflarına ait mekanik ve fiziksel özellikler (TS EN 197)

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (MPa)				Priz başlama süresi (dakika)	Genleşme (mm)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32,5 N	-	≥ 16	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
32,5 R	≥ 10	-				
42,5 N	≥ 10	-	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	
42,5 R	≥ 20	-				
52,5 N	≥ 20	-	≥ 52,5	-	≥ 45	
52,5 R	≥ 30	-				

2.1.1. Çimento üretiminde kullanılan katkı malzemeleri

2.1.1.1. Granüle yüksek fırın curufu

Granüle yüksek fırın curufu, demir cevheri yüksek fırında ergitilip arıtılırken elde edilen uygun bileşimdeki ergimiş curufun hızla soğutulması ile elde edilir. Kütlece en az 2/3 oranında camsı curuf ihtiva eder ve uygun şekilde aktifleştirildiğinde ise hidrolik özellik kazanmaktadır (TS EN 197).

Granüle yüksek fırın curufunun kütlece en az 2/3'ü, kalsiyum oksit, magnezyum oksit ve silisyum dioksit toplamından ibaret olmalıdır. Geri kalan kısmı ise az miktarda diğer bileşenlerle birlikte alüminyum oksit ihtiva etmektedir. Kütlece $(CaO+MgO)/(SiO_2)$ oranı 1.0'dan fazla olmalıdır (TS EN 197).

Yüksek fırın curufunun hidrolik bağlayıcı özelliği üzerine pek çok çalışma yapılmıştır (Smolczyk, 1978; Mantel, 1994; Chang ve Hou, 2003; Topçu ve Uğurlu, 2003). Yapılan bu araştırmaların sonucunda elde edilen bilgilere göre yüksek fırın curufunun bağlayıcı özelliği, curufun tane boyunun inceliğine ve kimyasal bileşimine, ortamdaki alkali yoğunluğuna, hidrasyon sıcaklığına ve curuftaki camsı yapıların miktarına bağlıdır (Özkan vd., 2006).

2.1.1.2. Puzolanik Maddeler

Puzolanik maddeler, silis veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal maddelerdir. Puzolanik maddeler su ile karıştırıldığında kendi kendine sertleşmezler fakat, ince öğütme ve su varlığında, oda koşullarında çözülmüş kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)_2) dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikler oluşturmak üzere tepkimeye girmektedirler. Bu bileşikler, hidrolik maddelerin sertleşmesinde oluşan bileşiklerle benzerdir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit ve alüminyum oksitten oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit ve diğer oksitlerden oluşmaktadır. Reaktif silisyum dioksit miktarı kütlece %25'ten az olmamalıdır (TS EN 197).

Puzolanik maddeler, çimento endüstrisinde hem ekonomik üretim olanağını hem de çimentonun dayanım özelliklerinin gelişmesini sağlamaktadır (Mouli ve Khelafi, 2006).

2.1.1.3. Uçucu Kül

Uçucu kül, pulverize kömür yakılan fırınlardan atılan baca gazındaki toz taneciklerinin elektrostatik veya mekanik olarak çöktürülmesi ile elde edilmektedir. Uçucu küller silissi veya kalkersi yapıda olabilir. Silissi uçucu külün puzolanik özellikleri vardır. Kalkersi uçucu külün ise hidrolik özelliklerine ilâveten puzolanik özellikleri olabilir (TS EN 197).

Yüksek incelikteki uçucu kül, yüksek puzolanik aktivite gösterir ve normal ve yüksek dayanımlı çimentoların üretiminde kullanılır (Haque ve Kayalı, 2005).

Normal ve yüksek dayanım gösteren çimentolarda kullanılan uçucu kül, pülverize edilmiş kömürün 1300-1400°C sıcaklıkta yakılması sonucu elde edilmektedir (Sata vd., 2005).

Silissi uçucu kül: Çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden ibaret ince bir toz olup esas olarak reaktif silisyum dioksit ve alüminyum oksitten oluşmaktadır. Geri kalan kısmı ise demir oksit ve diğer bileşikler ihtiva eder (TS EN 197).

Kalkersi uçucu kül: Hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup esas olarak reaktif kalsiyum oksit reaktif silisyum dioksit ve alüminyum oksitten oluşmaktadır. Geri kalanı ise demir oksit ve diğer bileşikler ihtiva eder (TS EN 197).

2.1.1.4. Pişmiş Şist

Pişmiş şist, özel bir fırında yaklaşık 800°C sıcaklıkta elde edilmektedir. Doğal maddenin bileşimi ve üretim işlemi nedeniyle pişmiş şist esas olarak dikalsiyum silikat ve monokalsiyum alüminat olmak üzere klinker fazını ihtiva eder. Aynı zamanda az miktarda serbest kalsiyum oksit ve kalsiyum sülfatın yanında, özellikle silisyum dioksit olmak üzere daha yüksek oranlarda puzolanik reaksiyona giren oksitleri ihtiva etmektedir. Buna göre ince öğütülmüş pişmiş şist, puzolanik özelliklere ilâve olarak, portland çimentosu gibi belirgin hidrolik özellikler de göstermektedir (TS EN 197).

2.1.1.5. Kalker (Kireç taşı)

Kalsiyum oksit muhtevassından hesaplanan kalsiyum karbonat (CaCO_3) içeriği kütleye en az %75 olmalı ve kil içeriği de %1,20'yi geçmemelidir. Toplam organik karbon içeriği, LL türü için kütleye % 0,20'yi, L türü için ise kütleye %0,50'yi aşmamalıdır (TS EN 197).

2.1.1.6. Silis dumanı

Silis dumanı, silisyum ve ferrosilisyum alaşımları üretimi sırasında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle birlikte elektrik ark fırınlarında indirgenmesinden oluşmaktadır ve kütlece en az %85 amorf silisyum dioksit içeren çok ince küresel taneciklerden ibarettir (TS EN 197).

İnce boyda katı haldeki maddelerin çimento endüstrisinde kısmi yerdeğiştirme veya katkı olarak kullanılması yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Aynı amaç doğrultusunda kullanılan silis dumanından en yüksek oranda SiO₂ içermekte olanı kullanılmaktadır. Buna göre, toz halinde, %95 oranında SiO₂ içeren, tane boyu 0,1 µm olan ve 20m²/g Blaine inceliğinde, 0,5 yatak gözenekliliğine sahip silis dumanı kullanılmaktadır (Jo vd., 2005).

2.2. Çimento Üretiminde Öğütme İşlemi

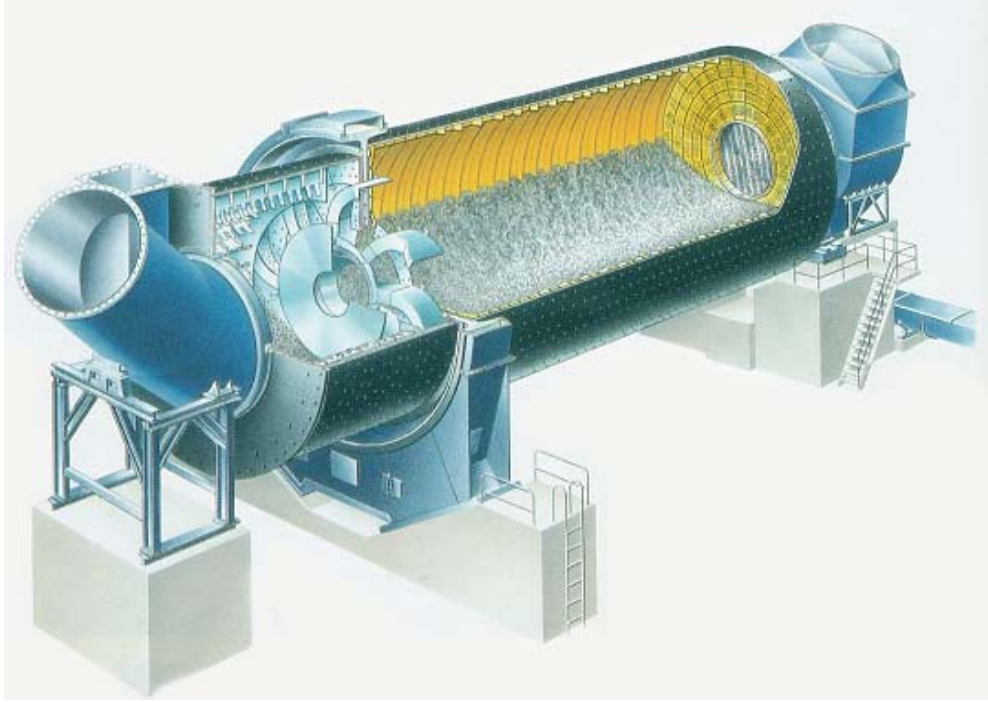
Katı taneciklerin elastik sınırlarını aşacak düzeydeki germeler sonucu yenilerek daha küçük boyutlara indirgenmesi, diğer bir deyişle yeni yüzeylerin oluşması ufalama, ufalanmanın da son aşaması öğütme olarak tanımlanmaktadır. Öğütmenin en önemli amacı kullanım için istenilen özelliklere uygun ürünün elde edilmesi ve istenilen özgül yüzey ile dayanımı karşılayacak malzemeyi üretmektir (Dündar, 2006).

Çimentoda hidrasyon oranı incelikle artış gösterir. Hidratasyon, çimento parça yüzeyinde gerçekleşir. Daha ince parçacıklarda hidrasyon daha fazla oranda gerçekleşmektedir.

2.2.1. Hammadde Öğütme

Döner fırına beslenen hammadde karışımında tane boyu iri olduğunda fırın içindeki tepkimeler tam olarak gerçekleşmemekte ve bu sebeple fırın çıkışı ürün istenilen özelliklere sahip olamamaktadır. Bundan dolayı hammadde karışımının belirli bir inceliğe kadar öğütülmesi gerekmektedir. Yeterli incelikte olan hammadenin harmanlanması ve bileşenleri arasındaki tepkimelerin gerçekleşmesi

daha kolay olmaktadır. Kuru sistem hammadde değirmeninin genel görünümü Şekil 2.2.'de verilmektedir.



Şekil 2.2. Hammadde öğütme değirmeninin genel görünümü

2.2.2. Çimento öğütme

Çimento endüstrisinde klinkerin öğütülmesi işlemi, yaklaşık olarak 1 ton çimento üretmek için gerekli olan enerjinin üçte biridir. Bu değer de 57 kWh/ton enerji tüketimi anlamına gelmektedir (Worrel vd., 2000).

Bu kadar büyük miktardaki enerjinin kullanımı, boyut küçültme işlemlerinde enerjinin etkin olarak kullanılmasının gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Bu yöndeki herhangi bir ilerleme, kullanılan ekipmanların dizaynlarının geliştirilmesi ve/veya en uygun işletme ve çevresel koşulların belirlenmesi, çimento üretiminde enerji tasarrufu açısından yeni yaklaşımların geliştirilmesine katkıda bulunacaktır (Fuersteneau ve Abouzeid, 2002).

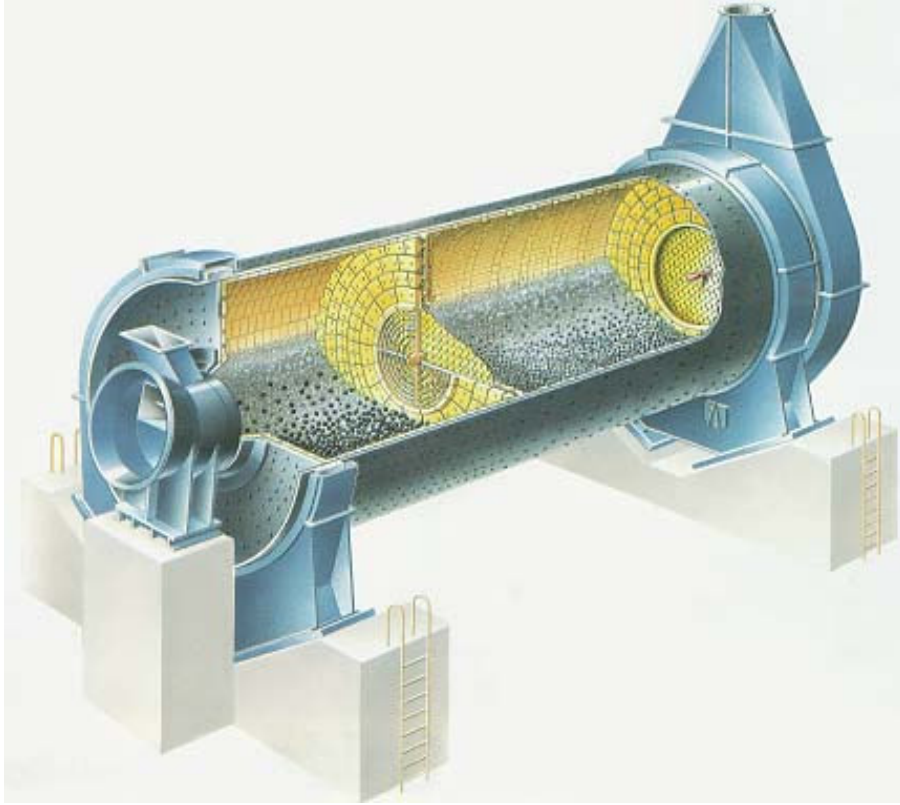
Çimento öğütme genellikle farklı öğütme ortamları içeren kamaralı tüp değirmenlerde yapılmaktadır. Öğütücü ortam olarak genellikle bilya kullanılmakla birlikte son kamarada silpebs de kullanılabilir.

Kullanım amacına uygun boyut veya yüzey alanı sağlamak üzere yapılan öğütme işlemi farklı değirmenlerde gerçekleştirilebilmektedir.

Tüp değirmen dışındaki öğütme sistemlerinin kullanımı da son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Çimento üretim maliyetinin %30-40 kadarının öğütme enerjisi maliyeti olduğu bilinmektedir. Bu bağlamda artan enerji fiyatlarının da etkisiyle özellikle 70'li yıllardan bu yana enerji tasarrufu sağlayan yeni öğütme sistemleri geliştirme yönünde önemli çabalar vardır. Bu sayede, geleneksel yöntemler olarak tanımlanan bilyalı ve dik değirmenlerde yapılan gelişmelere ek olarak, yüksek basınçlı merdaneli presler, düşey milli darbeli kırıcılar veya horomilller geliştirilerek enerji tüketimlerinde önemli tasarrufların sağlanması mümkün olmuştur (Dündar, 2006).

2.2.2.1. Bilyalı/Tüp Değirmenler

Öğütücü ortam olarak çelik bilyaların kullanıldığı ve boy-çap oranının 1-1,5 arasında değiştiği değirmenler bilyalı değirmen olarak adlandırılmaktadır. Boy - çap oranının 3 ile 5 arasında değişen değirmenler ise tüp değirmenler olarak adlandırılmaktadır. Tüp değirmenler bazı uygulamalarında, boyuna, farklı öğütücü ortam şarjına sahip birkaç kamaraya ayrılmaktadır (Wills, 1985). Çimento öğütmede kullanılan kamaralı bir değirmenin genel görünümü Şekil 2.3.'te verilmektedir.



Şekil 2.3. Çimento öğütmede kullanılan kamaralı bir değirmenin kesit görünümü

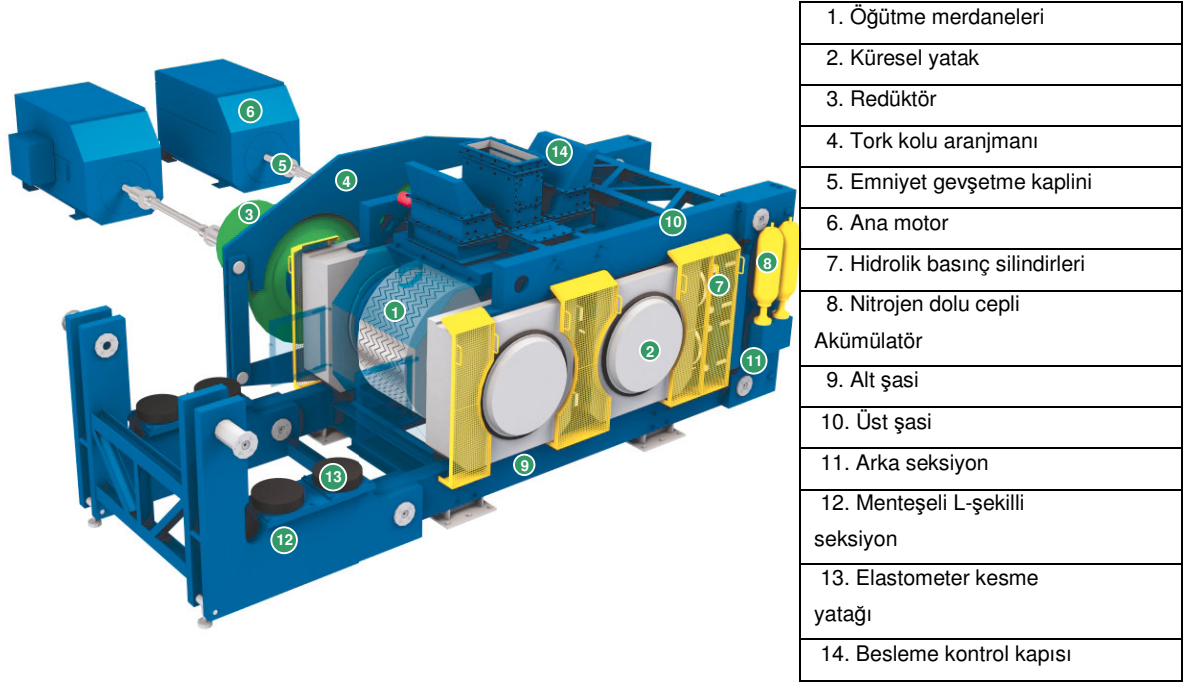
2.2.2.2. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmen

Yığın halindeki malzemeyi ezerek ufalama fikri ilk defa Carey (1933) tarafından ortaya atılmıştır. Carey (1933)'in görüşleri daha sonra Rumpf (1962) ve Schoenert (1965) tarafından tekrar irdelenmiş ve Schoenert (1965) kırılğan malzemelerin ufalanmasında enerjinin verimli kullanılması açısından en etkili yöntemin malzeme yığınının karşılıklı iki levha arasında yüksek basınçlar altında sıkıştırılması olduğunu göstermiştir (Aydoğan, 2002).

Schoenert (1965) bu prensibe dayanarak yüksek kapasitede çalışmanın en etkin yolunun tanelerin oluşturduğu yatağın ters yönde dönen iki merdane tarafından sıkıştırılması olduğunu belirtmektedir. Bu görüşe dayanılarak, Schoenert tarafından geliştirilmiş olan yüksek basınçlı merdaneli değirmenler (YBMD) 1985'ten bu yana endüstride kullanılmaktadır (Aydoğan, 2002).

Yüksek basınçlı merdaneli değirmenler ters yönde dönen iki merdaneye sahip olup merdanelerden birisi sabit bir yatağa oturtulmuşken diğeri hidrolik bir sistem

aracılığıyla sabit merdaneyle doğru itilmektedir. Şekil 2.4.' te yüksek basınçlı merdaneli değirmen ve bileşenleri görünmektedir.



Şekil 2.4. Yüksek basınçlı merdaneli değirmen

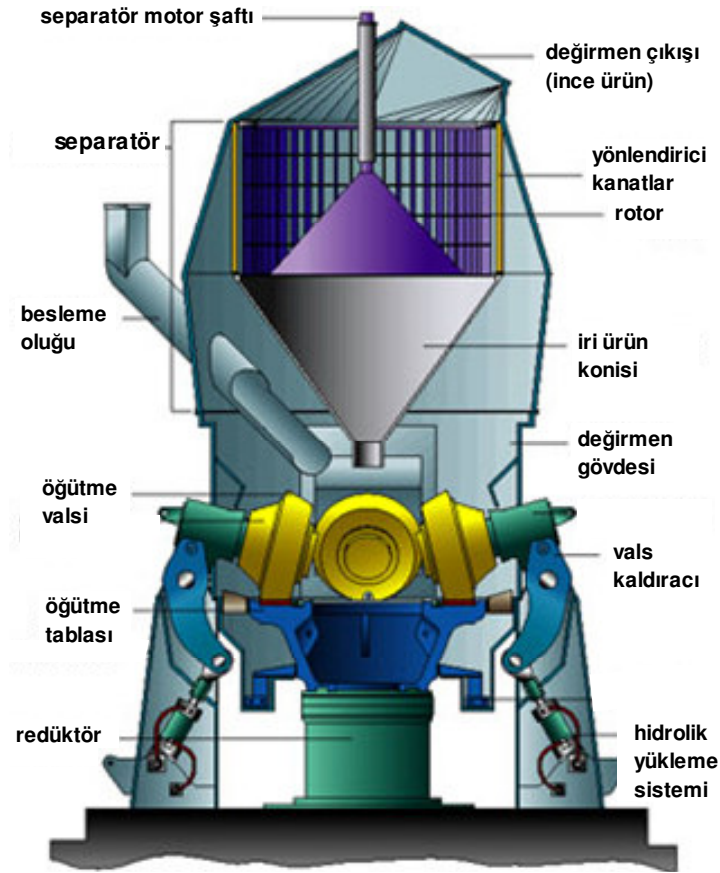
Basınç, boyut küçültme işlemi kontrol eden en önemli parametredir. YBMD' nin hidrolik basınç birimleri, merdaneler arasından geçen malzeme yatağı üzerinde 50Mpa'dan daha yüksek basınç oluşturabilmektedir. Sıkıştırılmış malzeme yatağı, merdaneler arasında hacimce %70'in üzerinde katı içeriğine ulaşmaktadır (Aydoğan, 2002).

Sıkıştırılarak öğütülmüş malzeme, ekipmanı sıkıştırılmış bir kek formunda terk etmekte ve çoğu öğütme devresinde bu kek dağıtılıp sınıflandırılmaktadır. Geliştirilen bazı sınıflandırıcılara (V separatör) bu kekler doğrudan beslenebilmekte ve sınıflandırıcı tarafından dağıtılabilmektedir.

Kekin dağıtılması için harcanan enerjiye rağmen, YBMD'lerde özgül öğütme enerjisi bilyalı değirmenlerde harcananın yarısı kadar olmaktadır (Schoenert, 1984).

2.2.2.3. Dik değirmenler

Bu değirmenlerde, öğütme ortamı bir hazne içine alınmış, valsler veya toplardan ve öğütme tablasından oluşmuştur. Valslerin üst tarafında bir separatör bulunmaktadır. Bu separatörlerde kanat açıları ve hava hızları ayarlanarak öğütülen malzemeyi istenilen boyutta ayırmak mümkündür. Öğütme tablasının etrafına, değirmen içine malzemeyi kurutacak ve taşıyacak sıcak gazın gönderilmesini sağlayan bir enjeksiyon halkası yerleştirilmiştir (Şekil 2.5.).



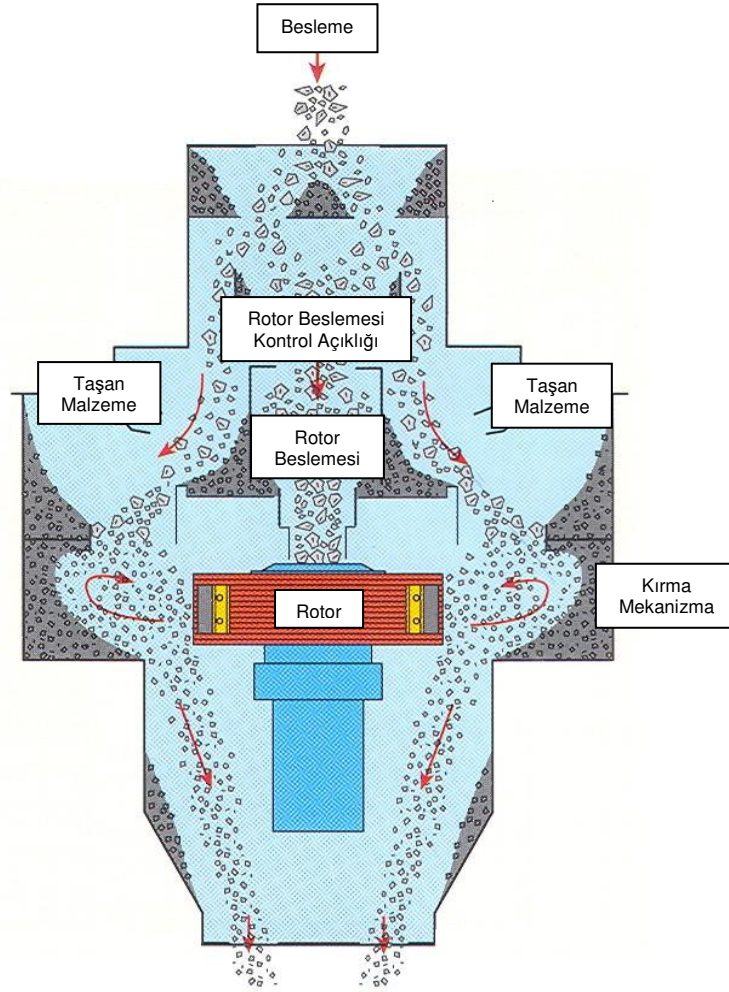
Şekil 2.5. Dik değirmen

Öğütme tablası bir dişli sistemle düşey eksen etrafında döndürülmektedir. Sabit bölgelere yerleştirilmiş öğütme valsleri tabla üzerine elastik bir şekilde bastırılmaktadır. Öğütülecek malzeme, öğütme tablası üzerine merkezi olarak beslenmekte ve tabla üzerine düşen malzeme merkezkaç kuvveti etkisiyle kenarlara doğru hareket ederken tabla ile valsler arasından geçmekte ve valslerin uyguladığı basınç kuvvetleri nedeniyle de öğütülmektedir. Öğütülen malzeme tablayı çevreleyen hava enjeksiyon halkası bölgesine ulaştığında, hava kaynağından gelen yukarı yönlü sıcak gaz akımına kapılarak separatöre taşınır.

Sıcak gaz ile temas eden malzemenin nemi uzaklaşır ve malzeme kurur. Separatörde ayrılan iri taneler tekrar öğütme merkezine dönerken, yeterli inceliğe ulaşmış malzeme son ürün olarak değirmeni terkeder. Bu tip değirmenlerde, kurutma ve öğütme aynı üniteye yapılmakta olup %22'ye kadar nem içeren malzemelerin öğütülebilmesi mümkün olmaktadır. Dik değirmenler genellikle hammadde öğütme sistemlerinde kullanılmakla birlikte ancak klinker öğütme sistemlerinde de kullanıldığı bilinmektedir (Dündar, 2006).

2.2.2.4. Düşey milli darbeli kırıcılar

Besleyici yardımı ile ekipmana beslenen malzeme yüksek hızda dönmekte olan dağıtma tablasına (rotor) dökülmektedir. Hızlanan taneler, kırılma bölgelerine doğru hareket etmekte ve buradaki diğer taneler ile çarpışmaktadırlar. Tanelerin darbe ile kırılması ile birlikte sürtünme ile aşınması da söz konusudur. Tane kırılması çoğunlukla mineral faz sınırları, mikro çatlaklar gibi zayıf düzlemler boyuncadır. Kırılmış ürün geniş bir tane boyu dağılımına sahip, kübik şekilli, iç gerilmeleri en aza inmiş ve serbestleşme derecesi yüksek tanelerden oluşmaktadır. Bu ekipmanlar hammaddenin ve klinkerin ön öğütme aşamasında kullanılmaktadırlar. Düşey milli darbeli kırıcıların çalışma prensibi Şekil 2.6.'da görüldüğü gibidir.

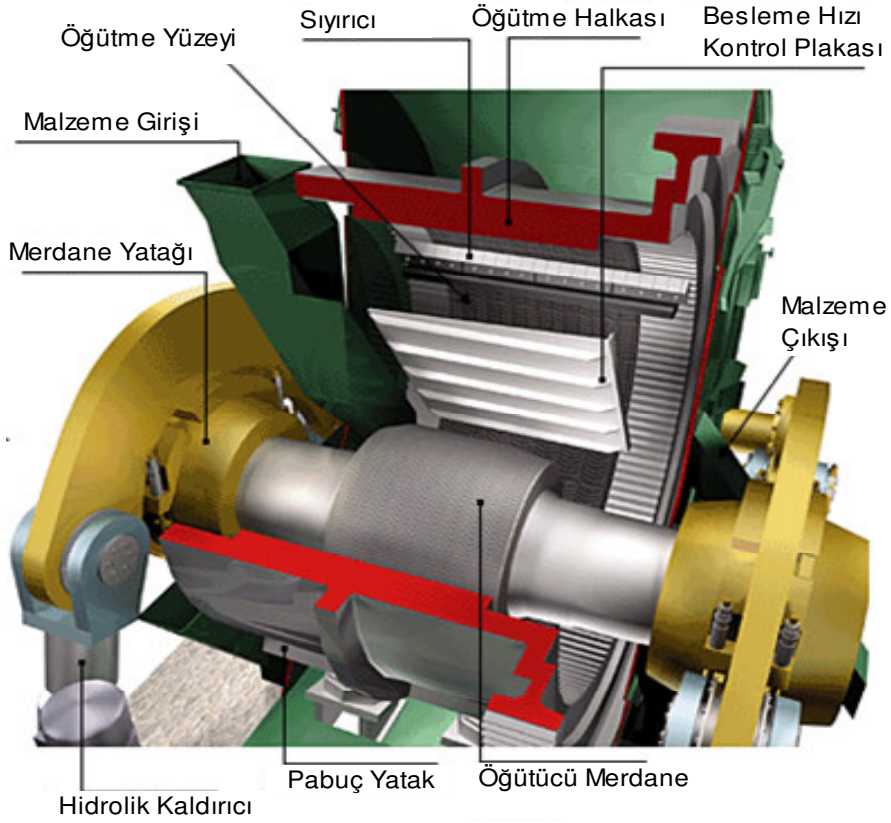


Şekil 2.6. Düşey milli darbeli kırıcıların çalışma prensibi

2.2.2.5. Horomill

Yüksek basınçlı işlemlerde, enerji verimliliği, kaliteli ürün ve mekanik güvenilirlik gibi etkenlerden dolayı elde edilen başarı nedeniyle özellikle aşınma problemlerinin asgariye indirgenebileceği teknikler araştırılmaktadır. Bunun sonucunda halka ve merdane prensibine dayalı bir değirmen olan Horomill (Şekil 2.7) geliştirilmiştir (Cordonnier, 1994).

Sistemde kritik hızın üzerinde dönen bir öğütme halkası bulunmaktadır. Dönen halkanın her iki tarafında toz sızdırmaz contalarla donatılmış sabit kapaklar bulunmaktadır. Değirmene beslenen malzeme halka ve basınç yüklü merdane arasında ezilerek öğütülmektedir. Merdanenin halka ile aynı yöndeki dönüşü öğütülen malzemenin oluşturduğu sürtünme kuvvetine bağlıdır.



Şekil 2.7. Horomill

Horomill'in kavrama açısı dik değirmenlere ve YBMD'lere oranla daha büyüktür. Açının büyük oluşu basınç uygulamasının daha uzun bir temas yüzeyi boyunca etkin olması anlamına gelmektedir.

2.2.3. Çimento Katkılarının Öğütülmesi

Katkılı çimento üretiminde, mineral katkıları klinkerle birlikte veya ayrı olarak öğütülmektedir. Bu farklı öğütme koşulları sonucunda farklı ürünler ortaya çıkmaktadır.

Klinkerin çeşitli katkı malzemeleriyle birlikte öğütülmesi sırasında bileşenlerin tane boyu dağılımını bir diğerinden bağımsız olarak kontrol etmek mümkün olmamaktadır. Öğütülmesi zor olan bileşenler iri boylarda, kolay olan bileşenler ise ince boylarda birikmektedir. Buna ek olarak, öğütülmesi zor olan malzemelerin tane boyu dağılımları öğütme süresince daralmakta, öğütülmesi kolay olan

malzemelerin ise genişlemektedir. Öte yandan bileşenlerin ayrı öğütülmeleri sonucunda ise kontrollü koşullar altında farklı tane boyu dağılımlarına sahip ürünlerin ortaya çıkması sağlanmaktadır (Dündar, 2006).

3. BOYUT KÜÇÜLTMENİN MATEMATİKSEL İFADESİ

3.1. Boyut Küçültme – Enerji İlişkisi

Boyut küçültme teorileri, belli bir büyüklükteki tanenin boyutunun küçülmesi ile daha küçük boyutlu tanelere indirgenmesi sonucu oluşan ince taneli ürün ile tüketilen enerji arasındaki ilişkiyi kullanmaktadırlar. En büyük sorun, enerji girdisinin çok büyük bir kısmının kırma ve öğütme ekipmanları tarafından soğurulması ve çok küçük bir kısmının boyut küçültmede kullanılmasıdır. Bilyalı değirmenlerde toplam enerji girdisinin %1'den küçük bir bölümü boyut küçültmede kullanılmakta, enerjinin önemli bir kısmı ısı ve ses olarak açığa çıkmaktadır (Wills, 1985). Bir taneyi kırmak, dolayısıyla yeni yüzeyler oluşturmak için tüketilen enerji ile oluşan yeni yüzey alanı arasında bir ilişkinin olmasını beklemek doğaldır. Ancak, bu ilişkinin doğru olarak ortaya konulabilmesi için yeni yüzeyleri oluşturmak için tüketilen enerjinin doğru olarak ölçülebilmesi gerekmektedir.

Eğer tane plastik özellik gösteriyorsa, tüketilen enerji tanenin sadece şeklini değiştirmek için tüketilmektedir. Dolayısıyla yeni yüzeylerin oluşumu söz konusu olmamaktadır. Boyut küçültme teorilerinin tamamı malzemenin kırılman olduğunu, bundan dolayı enerjinin esneme veya boyut küçültme işlemlerinde soğurulmadığını kabul etmektedir (Wills, 1985).

Enerji ve kırılma arasındaki ilişkinin en genel matematiksel ifadesi aşağıdaki diferansiyel denklem ile verilmektedir (Walker vd., 1937).

$$dE = -C \cdot \left(\frac{dx}{x^{n_d}} \right) \quad (3.1)$$

Burada, E; birim ağırlığı ufalamak için gerekli enerjiyi, x; tane boyutunu, n_d ve C de malzemenin karakteristiğine ve kullanılan ekipmana bağlı sabitleri göstermektedir.

Boyut küçültme işlemleri sırasında harcanan enerji Rittinger, Kick ve Bond tarafından bir dizi teori ile açıklanmaya çalışılmıştır (Lynch, 1977).

Bilinen en eski teori Rittinger (1867) teorisidir. Rittinger (1867)'e göre boyut küçültme işlemlerinde harcanan enerji oluşan yeni yüzey alanı ile doğru ve ürün çapı ile ters orantılı olarak değişmektedir.

$$E_R = C_R \cdot \left(\frac{1}{X_p} - \frac{1}{X_f} \right) \quad (3.2)$$

Burada, E_R ; harcanan enerjiyi, C_R ; Rittinger sabitini, X_f ve X_p ; besleme ve ürün tane boyutunu göstermektedir.

Kick (1885), boyut küçültme için gerekli olan enerjinin, besleme ve ürün tane boyutundan bağımsız ve yalnızca indirgeme oranına bağlı olduğunu belirtmektedir.

$$E_K = C_K \cdot \log \left(\frac{X_f}{X_p} \right) \quad (3.3)$$

Burada, E_K ; harcanan enerjiyi, C_K ; Kick sabitini, X_f ve X_p ; besleme ve ürün tane boyutunu göstermektedir.

Bond (1960) teorisine göre ise bir malzemeyi kırmak için harcanan enerji ürün çapının karekökü ile ters, oluşan çatlak uzunluğu ve yüzey alanının karekökü ile doğru orantılıdır.

$$W = 10 \cdot W_i \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{P_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{F_{80}}} \right) \quad (3.4)$$

Burada, W ; kWh/ton olarak tüketilen enerjiyi, W_i ; iş indeksini (kWh/ton olarak, malzemenin kırılma ve öğütmeye karşı olan direnci), P_{80} ve F_{80} ; ürün ve beslemenin %80' inin geçtiği tane boyutunu göstermektedir.

Bu teoriler arasında, ufalama enerjisi ve oluşacak ürünün tane boyutu arasındaki ilişkiyi açıklayan en kullanışlı yaklaşım Bond teorisi olarak görülmektedir. Bu teoriler yasa olarak görülmemekte, kesikli öğütme için deneysel ilişkiler olarak kabul edilmektedir (Dündar, 2006).

Boyut küçültmenin enerjiye bağlı ifade edilmesi doğru bir yaklaşım olarak görülmesine rağmen işlem sırasındaki sürtünme ve ses kayıpları, plastik ve elastik deformasyonlar, kinetik ve potansiyel enerji kayıpları nedeniyle yaklaşımlar genel bir fikir vermekten öteye gidememektedir. Örnek olarak, Bond (1960) yaklaşımında sabit bir besleme dağılımının ufalanmasında harcanan enerji elde edilen ürünün %80'inin geçtiği boyuta (P_{80}) bağlı olarak belirlenebilmektedir. Ancak, aynı P_{80} değerine sahip pek çok dağılım elde edilmesi mümkündür. Bu da yapılan farklı işler için aynı enerji değerinin hesaplanabileceğinin bir göstergesidir (Dündar, 2006).

Kırılma parametrelerine bağlı olarak ufalama enerjisinin ve boyut dağılımlarının belirlendiği matematiksel modelleme yaklaşımlarında kırılma işlemi malzemenin kırıldıktan sonraki boyut dağılımını gösteren kırılma dağılım fonksiyonu ve kırılma olasılığını ifade eden kırılma hızı parametreleri ile ifade edilmektedir.

3.2. Boyut Küçültmenin Modellenmesi

Bir boyut küçültme işleminden en fazla verimliliğin elde edilebilmesi, uygun ekipmanların seçimi, işletme değişkenlerinin iyi tanımlanması ve işletim sırasında bu değişkenlerdeki değişimin işlem üzerindeki etkisinin doğru belirlenebilmesine bağlıdır. Sistemin tasarım, kontrol ve optimizasyonu, işletme değişkenlerinde veya besleme özelliklerindeki değişimleri güvenilir bir şekilde tanımlayabilecek matematiksel eşitliklerin tanımlanması ile mümkün olabilmektedir. Çalışma koşullarındaki farklılıklara bağlı olarak her ekipmana ait farklı model yaklaşımları bulunmaktadır.

Boyut küçültme modelleri iki ana gruba ayrılmaktadır:

- Boyut küçültme ekipmanını, besleme ve ürün tane boyu dağılımları arasında bir dönüştürücü olarak kabul eden modeller.
- Prosesteki her bir öğeyi ayrı ayrı değerlendiren modeller.

Daha iyi bir terminoloji için bu grupları “kara kutu modelleri” ve “temel modeller” olarak adlandırabiliriz. Bir kara kutu modeli besleme tane boyu dağılımını, kırılma karakteristiklerini kullanarak ürün tane boyu dağılımını tahmin etmeye çalışır. Kara kutu modelleri, kırılmanın temelindeki fiziksel ilkelerden çok kırılmanın olgusunu ifade etmeye çalışmaktadır.

Temel modeller tanelerin ve ekipmanın içindeki öğelerin direk olarak birbirleriyle olan etkileşimini ifade etmektedir. Bu modellerin geliştirilebilmesi için gerekli olan bilgisayar gücünün yaygınlaşması 1990'dan sonra gerçekleşmiştir, bu nedenle ki temel modeller kara kutu modellerine göre daha az gelişim göstermişlerdir (Napier-Munn vd., 1997).

3.2.1. Temel modeller

Temel modeller, ekipman içerisindeki fiziksel koşullar ile işlem çıktısı (ürün) arasındaki ilişkinin tanımlanmasına dayanmaktadır. Pratikte DEM (Discrete Element Modelling) ve CFD (Computational Fluid Dynamics) model yapıları, kullanılan ekipman içindeki her bir elementin ayrı ayrı gözlemlenip değerlendirilmesidir.

Bu konuda yapılan çalışmaların sayısı hızla artmaktadır. Bu çalışmaların temeli Utah Comminution Center tarafından yürütülen çalışmalara dayanmaktadır. Bu çalışmaların birisinde değirmen içindeki bilyaların hareketleri tek tek izlenerek modellenmiştir. Mishra ve Rajamani (1992) bu yöndeki çalışmalarında bilyalı değirmenin iki boyutlu dilimlenmiş halkalardan oluştuğunu ve bu halkaların eşdeğer olduklarını varsaymaktadır. Bu model yaklaşımı kullanılarak her büyüklükteki bilyanın hareketi belirlenebilmektedir.

$$[M]a + [C]v + [K] = (f) \quad (3.5)$$

Eşitlikte birinci kısım Newton'un ikinci yasasını temsil etmektedir. M, kütleyi a ise ivmeyi tanımlamaktadır. Bu ivmelenme etkisi sertlik (K) ve nemlenmeye (C) bağlı enerjinin soğurulması nedeniyle azalmaktadır. Eşitlikte f ile kuvvet ifade edilmektedir. Hareketin tek bir hat üzerinde gerçekleştiği düşünüldüğünde zamana bağlı olarak bilya hareketinin analitik çözümlenmesi mümkün olmaktadır. Değirmen hızına bağlı olarak bilyaların öğütmeye harcadıkları darbe enerjileri doğrudan belirlenebilmektedir.

Radziszewski (1999) değirmen içerisindeki hareketi darbe, aşınma ve küçük hareket zonları olmak üzere üç gruba ayırmış ve yaklaşımda her bir bölge için ayrı darbe enerjisi tanımlamıştır.

Bilya hareketinin modellenmesini takiben bilyalı değirmen içindeki malzeme hareketi ve değirmen içi enerji dağılımı Misra ve Cheung (1999) tarafından yapılan bir çalışma ile ortaya koyulmuştur. Çalışmada, klinkerin değirmen içindeki kırılma davranımı ve değirmenin güç tüketimi incelenmiştir.

3.2.2. Kara kutu modelleri (Black box models)

Kara kutu modelleri, değirmen çıkışı ürün boyut dağılımını, değirmen besleme boyut dağılımı ve değirmen işletme koşullarının bir fonksiyonu olarak tahmin etmektedir:

$$p = f(f, b, m, s, C) \quad (3.6)$$

f : besleme boyut dağılımı

p : ürün boyut dağılımı

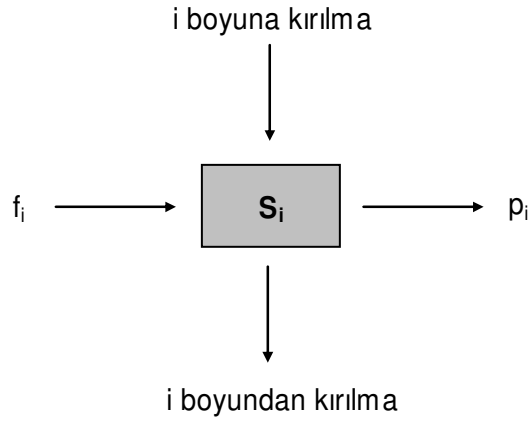
b : normalize edilmiş kırılma matrisi

m : değirmene ait parametre

s : besleme hızını da içeren işletme koşulları

C : benzer ekipmanlardan deneysel olarak elde edilen parametreler

Herhangi bir tane boyu fraksiyonu (i) için değirmen içerisinde veya değirmenin herhangi bir bölgesinde basit bir kütle denklığı; kırılma bölgesine taşınma, kırılma ve dışarı taşınma şeklinde tanımlanabilmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tek bir tane boyu fraksiyonu için kütle denklığı

Sürekli (continuous) çalışan bir değirmende, denge durumunda giren malzeme miktarı her zaman çıkana eşit olmak zorundadır ve bu kütle denklığı değirmen içerisinde karışma ve kırılma koşulları hakkında varsayımlar yapılarak çözümlenebilmektedir.

Dengede olmayan veya kesikli çalışan değirmenlerde ise tane boyu fraksiyonundaki birikme veya kayıplar için varsayımda bulunularak daha karmaşık çözümler elde edilmektedir. Birçok dinamik çözüm, belirli zaman dilimleri içerisindeki denge durumunu dikkate almaktadır (Napier-Munn vd., 1997).

3.2.2.1. Kütle denklığı modeli

Kütle denklığı modeli, değirmen içerisinde birim zamanda öğütülen malzeme miktarının sadece o boyut fraksiyonunun değirmen içindeki miktarına bağlı olduğunu varsaymakta ve her boyut fraksiyonu için kırılma (kaybolma) hızını karakterize eden bir hız sabiti k_i tanımlanmaktadır.

$$\text{kırılan malzeme miktarı} = k_i \cdot s_i \quad (3.7)$$

k_i : kırılma hızı

s_i : i boyutunun değirmen içindeki miktarı

Tek tane boyu fraksiyonu etrafında yapılan kütle denkleği kullanılarak aşağıdaki ifade elde edilmektedir (Bkz. Şekil 3.1).

$$\begin{array}{ccc} \text{Beslemede } i \text{ Boyutunda Malzeme} & & \text{Üründe } i \text{ Boyutunda Malzeme} \\ \text{Miktarı} & & \text{Miktarı} \\ + & = & + \\ \text{i Boyuna Kırılan Miktar} & & \text{i Boyundan Kırılan Miktar} \end{array}$$

Modelde, kırılma hızı k_i 'ye ilave olarak, i boyundan iri fraksiyonların (j) kırılmasıyla i boyutuna geçen malzeme miktarını ifade eden kırılma dağılım fonksiyonu b_{ij} tanımlanmaktadır. Kütle denkleği daha detaylı bir biçimde Eşitlik 3.8'de ifade edilmektedir.

$$f_i + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} k_j s_j = p_i + k_i s_i \quad (3.8)$$

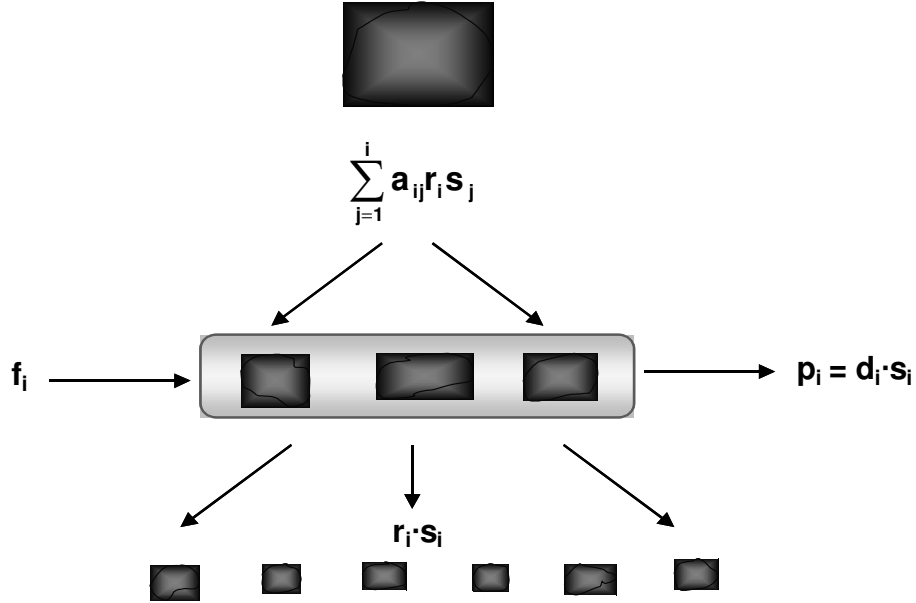
p_i , f_i , s_i ve b_{ij} matrisinin bilinmesi durumunda k_i değerleri en üst boyut aralığından başlanarak tüm fraksiyonlar için hesaplanabilmektedir.

Kütle denkleği modeli değirmen içerisinde gerçekleşen kırılmanın belirli bir durma zamanına bağlı olduğunu kabul etmektedir. Modelin, ortalama durma zamanını ($\sum s_i / \sum f_i$) da kapsayan son şekli Eşitlik 3.9'da verilmektedir (Napier-Munn vd., 1997).

$$p_i = f_i + \lambda \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} k_j s_j - k_i \lambda s_i \quad (3.9)$$

3.2.2.2. Mükemmel karışım modeli

Model, değirmenin mükemmel karışmış tek bir birimden meydana geldiğini kabul etmektedir. Değirmene giren ve çıkan her boyut fraksiyonunun madde denklığı kurulmaktadır. Belirli bir boyut aralığında besleme olarak değirmene giren veya iri boylardan kırılan malzeme değirmenden ürün olarak çıkmakta veya alt boylara ufalanmaktadır. Mükemmel karışım bilyalı değirmen modelinin kırılma mekanizması Şekil 3.2'de sunulmaktadır.



Şekil 3.2. Mükemmel karışım bilyalı değirmen modeli kırılma mekanizması

- r_j : i boyutundan daha iri malzemenin (j) kırılma hızı
- s_j : i boyutundan daha iri malzemenin (j) değirmen içindeki miktarı
- a_{ij} : i boyutundan daha iri malzemenin (j) kırılarak i boyutuna geçen miktarı
- r_i : i boyutundaki malzemenin kırılma hızı
- s_i : i boyutundaki malzemenin değirmen içindeki miktarı
- f_i : beslemede bulunan i boyutundaki malzeme miktarı
- d_i : i boyutundaki malzemenin taşınma olasılığı
- p_i : i boyutundaki ürün miktarı

Verilen bir boyut aralığı için tanelerin kırılma ve taşınma hızı birinci dereceden kabul edilmektedir.

Değirmen içerisinde meydana gelen kırılmanın dengede olacağı düşünülerek matematiksel bir eşitlik tanımlanmaktadır.

$$p = f + A \cdot R \cdot S + (I-R) \cdot S \quad (3.10)$$

Bu eşitlikte, R birim zamandaki kırılma hızını ifade eden diagonal matris, A kırılma dağılım fonksiyonuna karşılık gelen matris ve I da birim matrisi (diagonal elemanların 1 ve kalan elemanların 0 olduğu matris) ifade etmektedir.

Belirli bir boyut aralığında bulunan malzemeler iri boylardan kırılmanın ürününü oluşturmaktadır. Bu fiziksel işlem, a_{ij} kırılma dağılım parametresi ile ifade edilebilmekte olup bu üçgen matris j boyutundaki malzemenin kırılma sonucu i boyutuna dağılmasını tanımlamaktadır. $j \geq i$ olduğunda değirmen içinde i boyut fraksiyonundaki malzemenin kütle denkliği Eşitlik 3.11'de verilmektedir.

$$p_i = f_i + \sum_{j=1}^i a_{ij} r_j s_j - r_i s_i \quad (3.11)$$

Mükemmel karışım modeli için kırılma sonrası oluşacak ürün aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

taneler üst boylardan (j boyutu) kırılarak alt boylara (i boyutu) dağılırlar, i boyutuna kırılan bu malzeme tekrar kırılarak daha alt boylara geçer (<i boyutu), beslemeyle birlikte sisteme i boyutundaki malzeme girer, i boyutundaki toplam malzeme belirli bir olasılık dahilinde (d_i) taşınarak ürün elde edilir.

Değirmen içinde yerleşik bulunan malzeme miktarının (S) kestirilebilmesi mümkün olmadığından, Eşitlik 3.11'de, " $p = d \cdot s$ " ifadesinden yararlanılarak S yerine, $\frac{p}{d}$ yazıldığında sadeleşmiş bir ifade elde edilmektedir (Eşitlik 3.12).

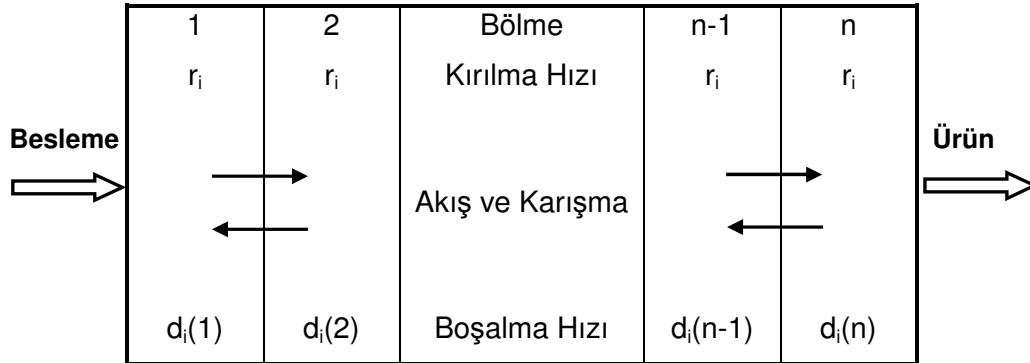
$$p_i = f_i + \sum_{j=1}^i a_{ij} p_j \frac{r_j}{d_j} - p_i \frac{r_i}{d_i} \quad (3.12)$$

Değirmen içi verilerin çok zor belirlenmesi veya belirlenememesinden ve taşınma hızı fonksiyonu ile değişkenler arasındaki etkileşimi gösteren bir eşitlik olmamasından dolayı, kırılma hızı fonksiyonunu, taşınma hızı fonksiyonu ile birleştirilip tek bir parametre olarak tanımlanmakta ve kırılma hızı parametresi olarak adlandırılmaktadır.

Kırılma hızı parametresi birimsiz olup r/d ile ifade edilmektedir (Napier-Munn vd., 1997).

3.2.2.3. Çok bölmeli değirmen modelleme yaklaşımı

Whiten (1974) tarafından çok bölmeli değirmen modeli kavramı ortaya atılmıştır. Modelin açıklayıcı bir biçimde gösterimi Şekil 3.3'te verilmektedir (Napier-Munn vd., 1997).



Şekil 3.3. Çok bölmeli değirmen modelleme yaklaşımının şekilsel gösterimi

Modelde değirmenin mükemmel karışan pek çok değirmenden meydana geldiği ve her bir bölme ürününün diğer bölmenin beslemesi olduğu kabul edilmektedir. Her bölme arasında, geçiş bölgesinde, karışmanın meydana geldiği düşünülmektedir (Napier-Munn, 1997).

Çok bölmeli değirmen yaklaşımında dört temel model parametresi bulunmaktadır. Bunlar;

- Özgül kırılma hızı fonksiyonu, r_i , (bütün bölmelerde sabit kaldığı düşünölmektedir)
- İri fraksiyonlar (+2 mm) için özgöl taşınma hızı fonksiyonu, d_i
- Karışma parametresi, H
- Kırılma dağılım fonksiyonu, b_{ij}

Modelde m 'inci bölme için i fraksiyonu ürünü aşağıdaki eşitlikten belirlenebilmektedir.

$$P_{i(m)} = k_m d_{i(m)} S_{i(m)} = f_{i(m)} - r_i S_{i(m)} - \sum_{k=1}^i b_{ik} r_k S_{k(m)} \quad (3.13)$$

k_m : boyutsuz bir sabit

$d_{i(m)}$: m . bölmedeki i . fraksiyonun özgöl taşınma fonksiyonu

$f_{i(m)}$: m . bölmeye beslenen i . fraksiyon miktarı

$m+1$ 'inci bölmedeki karışma bağı olarak m 'inci bölmedeki i boyutundaki malzemenin net karışma akış hızı;

$$M_{i(m)} = H d_{i(m)} (S_{i(m+1)} - S_{i(m)}) \quad (3.14)$$

Modelde m 'inci fraksiyondaki özgöl kırılma hızı boyutsuz bir parametre (k_m) ile ölçeklendirilmektedir.

$$d_{i(m)} = k_m d_{i(m)}^* \quad (3.15)$$

4. TESİS ÖRNEKLEME ÇALIŞMALARI

Bu tez kapsamında, SET Çimento A.Ş. Ambarlı Tesisi' ne ait çimento öğütme devresi örneklenmiş ve alınan örnekler üzerinde deneysel çalışmalar yapılmıştır. Örneklemeye çalışmalarını öğütme devrelerinin dengede olduğu dönemde yapılmıştır.

Ani duruş yapılan devrede havalı bantlarla taşınan akışlar sistem devredeyken uygun bir numune alıcıyla kesilerek örneklenmiş, çelik ya da lastik bantlarla sağlanan akışlarsa ani duruş sonrası yeterli miktarda numune alınabilecek şekilde sıyrılarak örneklenmiştir.

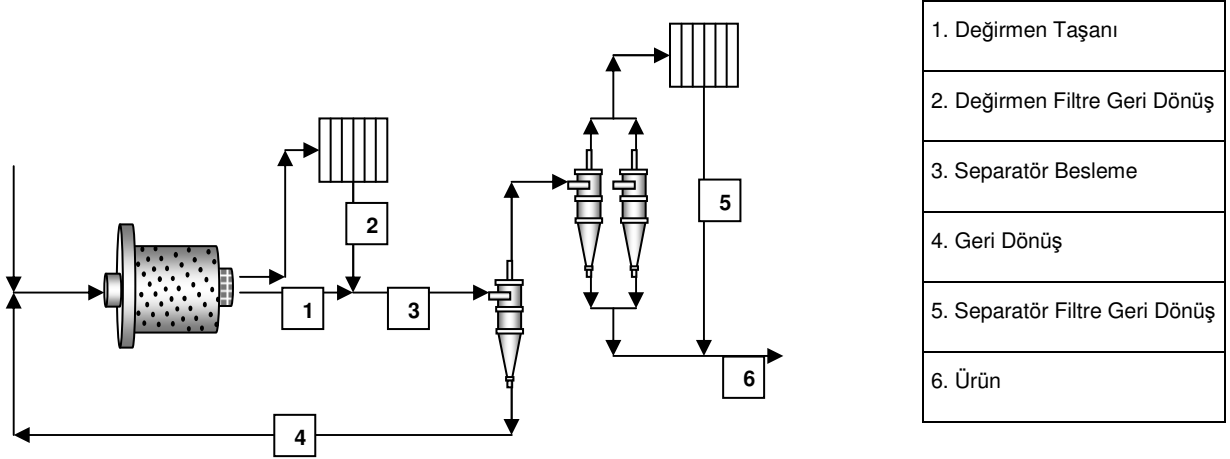
Tesis bilyalı değirmen ve havalı sınıflandırıcı temel öğütme ekipmanlarından oluşmaktadır. Öğütme devresi birinci kamara uzunluğu 4.68m, ikinci kamara uzunluğu 9.8m olan bilyalı değirmen ile kapalı devre çalışan, 2.15m rotor çapına sahip 4 siklonlu havalı sınıflandırıcıdan oluşmaktadır. Tesiste CEM \B tipi çimento üretilmektedir ve bu çimento tipi için gerekli olan katkı maddelerinin bileşimi Çizelge 4.1.' de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Üretilen CEM \B tip çimento için katkı maddeleri bileşimi

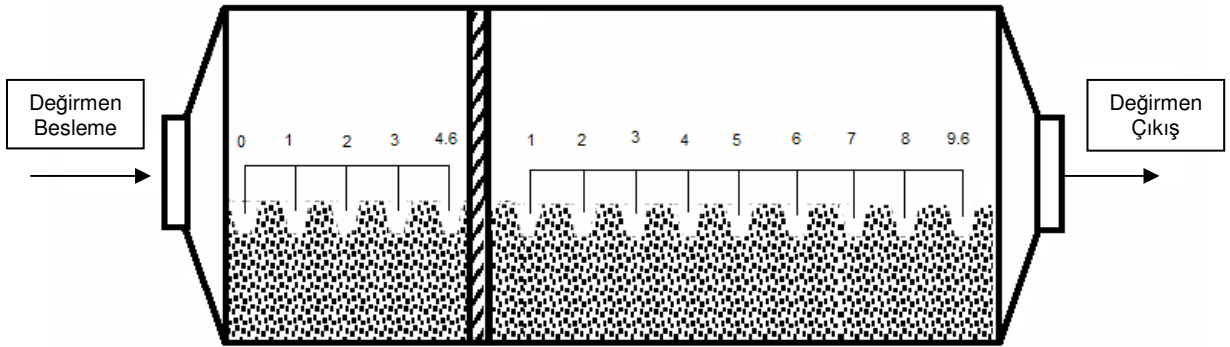
Katkı	%
Klinker	34.3
Curuf	28.9
Tras	27.5
Alçı	4.9
Kalker	4.3

Öğütme devresinde çimento katkı maddeleri bilyalı değirmene doğrudan beslenmektedir. Bilyalı değirmen çıkışı, filtre geri dönüşü ile birleşerek havalı

sınıflandırıcıdan geçirilmekte ve belirli bir boydan iri olan malzeme bilyalı değirmene geri gönderilmektedir. İnce olan malzeme ise siklonlara gönderilmekte, siklon üst akımları filtreden geçirilerek siklon alt akımlarıyla birlikte ürün olarak alınmaktadır. Öğütme devresinin basitleştirilmiş akım şeması ve devre etrafına ait örnekleme noktaları Şekil 4.1.' de, değirmen içi örnekleme noktaları ise Şekil 4.2.' de verilmektedir.



Şekil 4.1. Öğütme devresinin basitleştirilmiş akım şeması ve örnekleme noktaları



Şekil. 4.2. Değirmen içi örnekleme noktaları

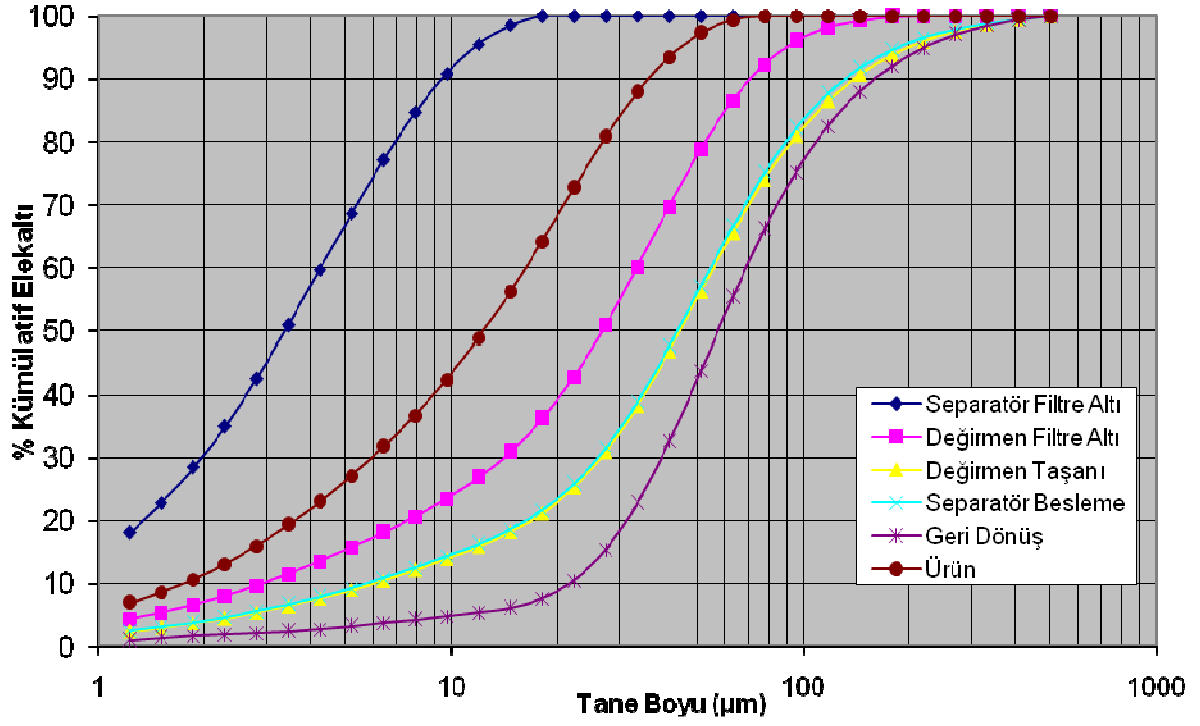
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

SET Çimento A.Ş. Ambarlı Tesisi' ne ait çimento öğütme devresinden alınan örneklerin tane boyu dağılımlarının, ilk aşamada test elekleri ve lazerli tane boyu ölçüm cihazı yardımıyla belirlenmesi, ikinci aşamada ise örneklerin kimyasal analizlerinin yapılabilmesi için fraksiyonlara ayrılması, bu sayede tane boyu dağılımlarının belirlenmesi ve kimyasal analiz sonuçlarının devre boyunca dağılımlarını belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapılmıştır.

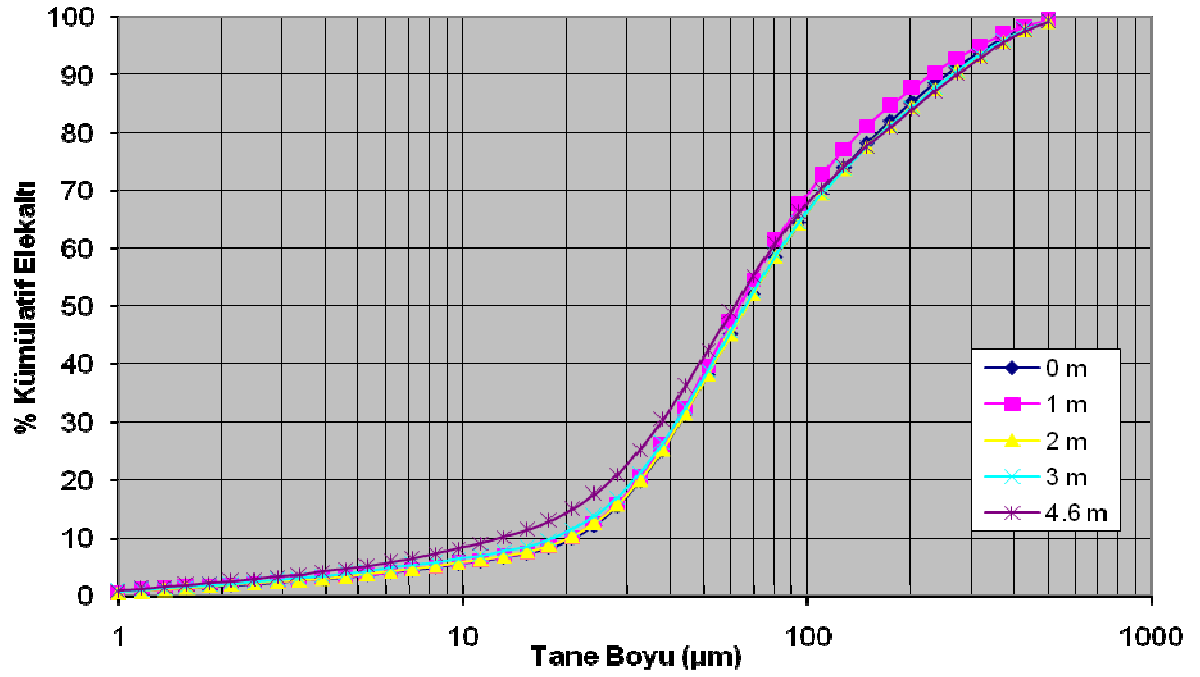
Bu amaçlar doğrultusunda, deneysel çalışmalar üç ayrı kısımda ele alınarak; birinci aşamada numunelerin test elekleri ve lazerli tane boyu ölçüm cihazı yardımıyla tane boyu dağılımlarının belirlenmesi, ikinci aşamada numunelerin, kimyasal analizlerinin yapılabilmesi için fraksiyonlara ayrılması ve üçüncü aşamada numunelerin kimyasal analizlerinin yapılması çalışılmıştır.

5.1. Tane Boyu Analiz Çalışmaları

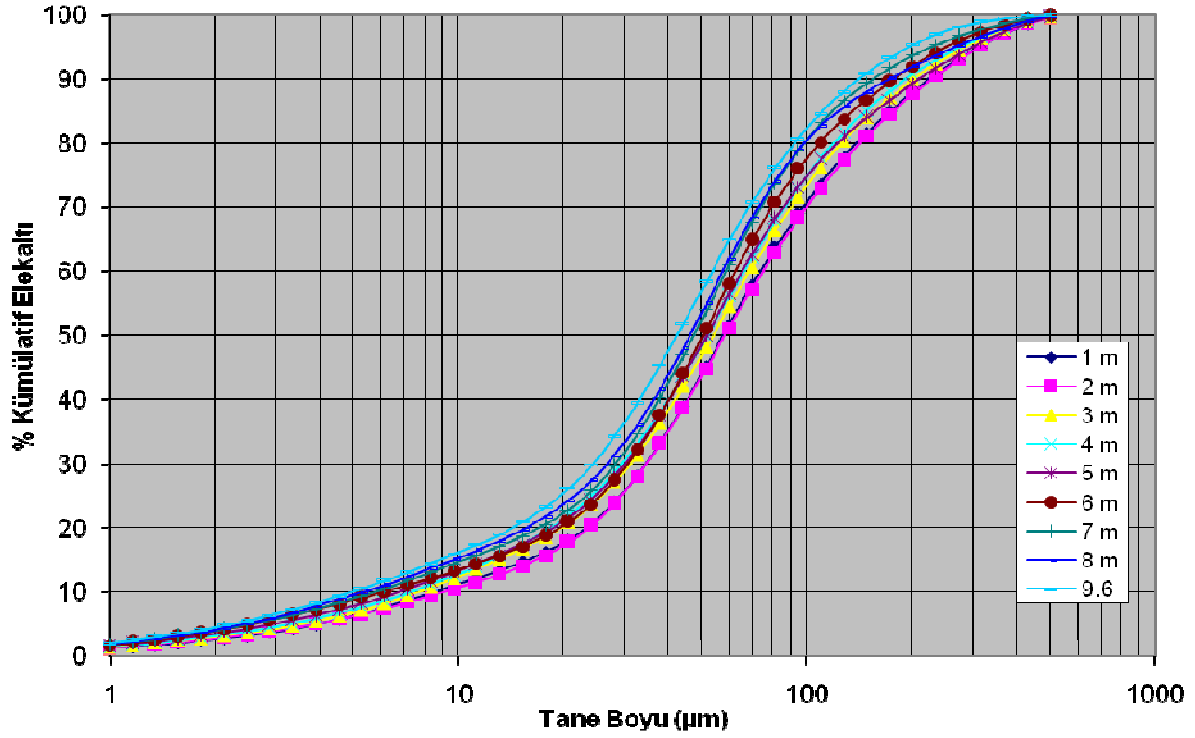
Alınan örneklerin, ilk aşamada, tane boyu dağılımlarını belirlemek üzere test elekleri ve lazerli tane boyu ölçüm cihazı kullanılmıştır. Boyut analizlerinde numune alma hatalarını en aza indirmek amacıyla iri tane içeren örnekler 38mm' den 9.5mm' nin altına kadar tümüyle elenmiş, -9.5mm altından numune alınarak 150µm' ye kadar rotap kuru eleme makinasında elenmiştir. $\sqrt{2}$ serisiyle 150µm' ye kadar eleme işleminden sonra lazer kırınımı prensibine göre çalışan boyut ölçüm cihazıyla boyut dağılımı 150µm' den 1.8µm' ye kadar belirlenmiştir. Devre etrafından alınan örneklere ait tane boyu dağılımları Şekil 5.1.' de, birinci ve ikinci kamaraya ait tane boyu dağılımları Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.' te, tesis beslemesini oluşturan klinker ve katkı maddelerine ait tane boyu dağılımları ise Şekil 5.4.' te verilmektedir. Dağılımların sayısal değerleri Ek.1., Ek.2., Ek.3. ve Ek.4.' te verilmektedir.



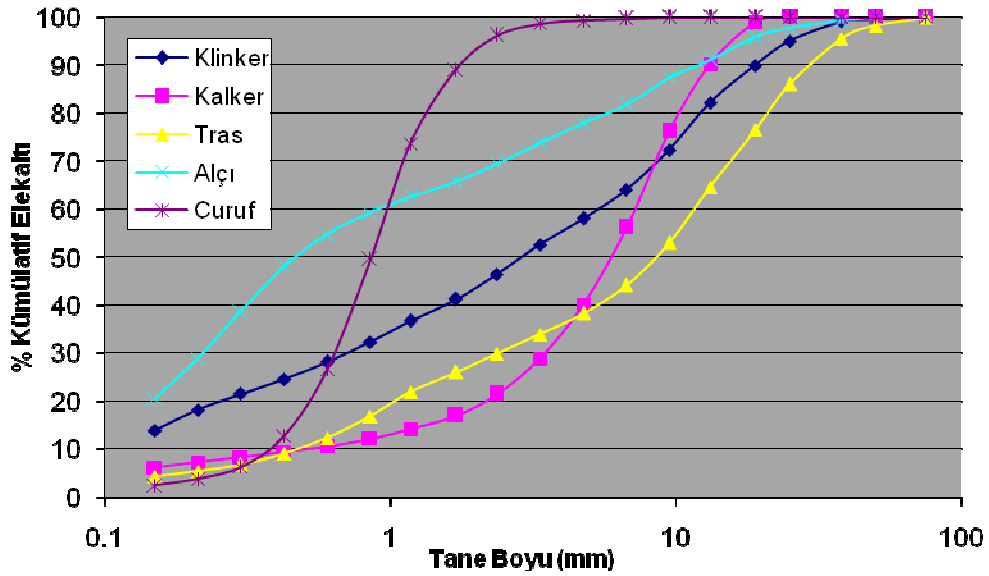
Şekil 5.1. Devre etrafından alınan örneklerin tane boyu dağılımları



Şekil 5.2. Birinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları



Şekil.5.3. İkinci kamaraya ait tane boyu dağılımları



Şekil 5.4. Katkı maddelerine ait tane boyu dağılımları

5.2. Numunelerin Fraksiyonlara Ayrılması

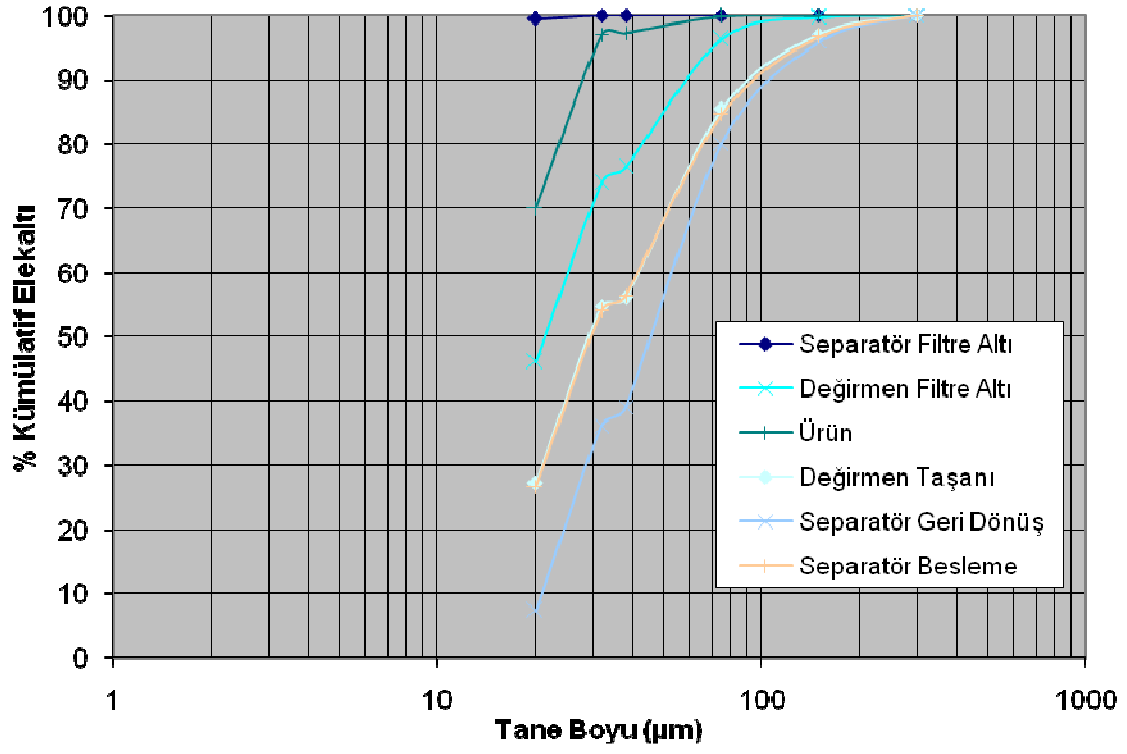
Numunelerin fraksiyonlara ayrılmasına ve bu sayede tane boyu dağılımlarının belirlenmesine ilişkin yapılan deneysel çalışmaların ikinci aşamasında yürütülmüştür. İlk olarak, devre etrafından ve değirmen içinden alınan her numuneden miktar olarak 70 gr malzeme çekilmiştir ve bu malzemeler, hava püskürtmeli eleklerle (Şekil 5.5.) birlikte kullanılan 20µm açıklığa sahip test eleği

yardımıyla, üç adımda, $-20\mu\text{m}$ ve $+20\mu\text{m}$ fraksiyonlarına ayrılmıştır. Bu ayırma işleminin devamında, $+20\mu\text{m}$ fraksiyonundaki malzeme, hava püskürtmeli eleklerle birlikte kullanılan $32\mu\text{m}$ açıklığa sahip test eleğine beslenmiştir ve aynı şekilde $-32+20\mu\text{m}$ ve $+32\mu\text{m}$ fraksiyonları elde edilmiştir. İkinci aşamada ise hava püskürtmeli elek kullanılarak yapılan ayırma işlemi sonucunda elde edilen $+32\mu\text{m}$ fraksiyonlarındaki malzemeler, $300\mu\text{m}$, $150\mu\text{m}$, $75\mu\text{m}$, $38\mu\text{m}$, $32\mu\text{m}$ açıklıklara sahip test elekleri kullanılarak $+300\mu\text{m}$, $-300+150\mu\text{m}$, $-150+75\mu\text{m}$, $-75+38\mu\text{m}$, $-38+32\mu\text{m}$, $-32\mu\text{m}+20$ ve $-20\mu\text{m}$ şeklinde 7 fraksiyona ayrılmıştır. Bu şekilde bütün numunelerin tane boyu dağılımları belirlenmiştir.

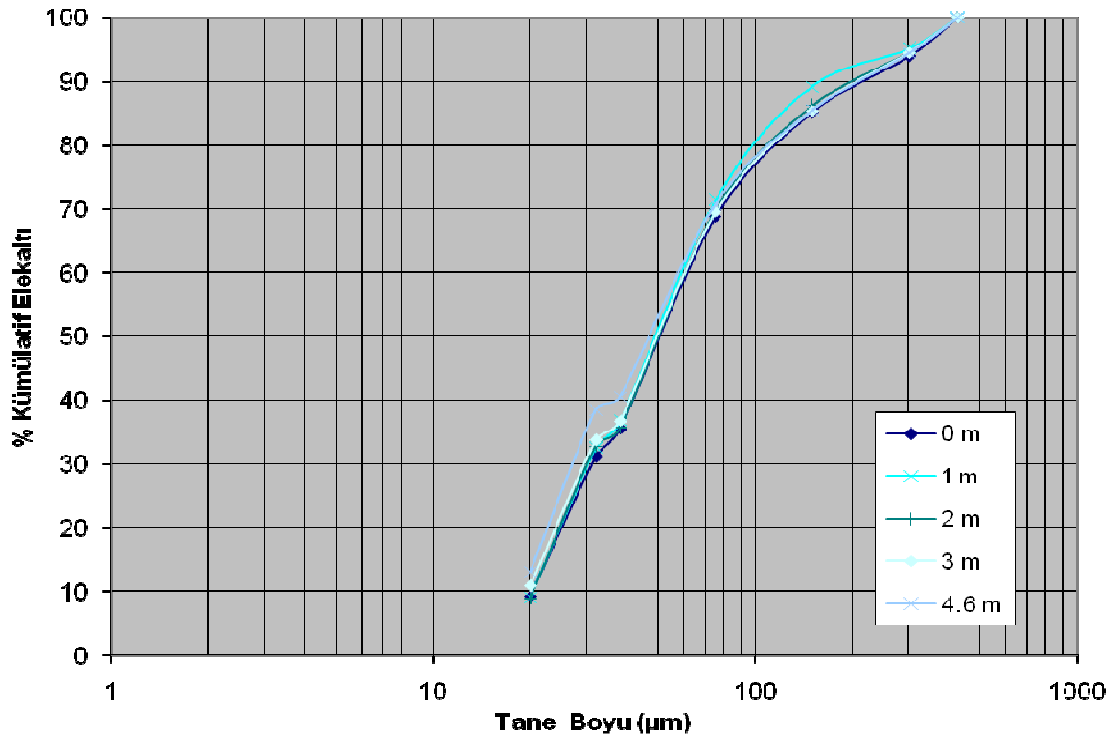


Şekil 5.5. Hava püskürtmeli elek (Airjet Screen SLS200, Siebtechnik)

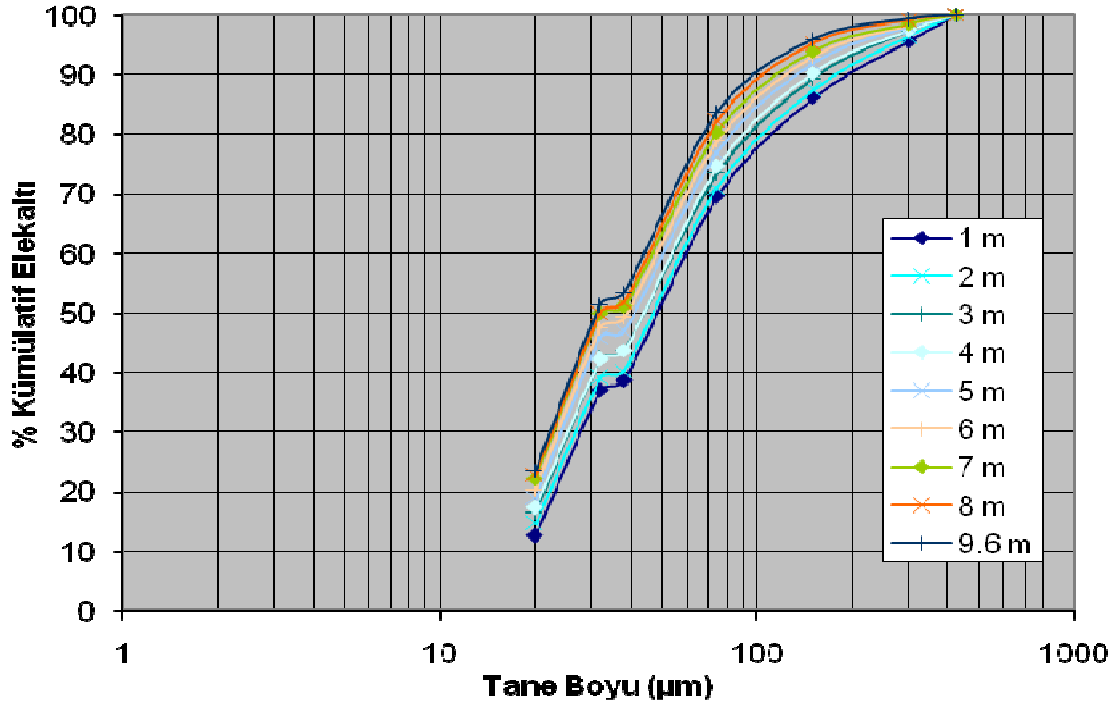
Devre etrafından alınan numunelerin tane boyu dağılımları Şekil 5.6.' te, kamaralardan alınan numunelerin tane boyu dağılımları Şekil 5.7. ve Şekil 5.8.' de verilmektedir. Dağılımların sayısal değerleri Ek.5., Ek.6. ve Ek.7.' de verilmektedir.



Şekil 5.6. Devre etrafından alınan numunelerin tane boyu dağılımları



Şekil 5.7. Birinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları



Şekil 5.8. İkinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları

5.3. Kimyasal Analiz

X-ışını floresans (XRF) yöntemiyle numunelerin kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. Numunelerin, klinker ve katkıların kimyasal analizleri SET Çimento A.Ş. Ankara Tesisleri'nde yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 5.1. ve Çizelge 5.2' de verilmektedir.

Çizelge 5.1. Klinker ve katkı maddelerinin kimyasal analiz sonuçları (%)

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K
Klinker	64.340	21.630	4.960	3.650	1.650	1.370	0.650	0.750	1.000
Curuf	35.400	39.960	13.420	1.680	7.970	0.330	0.970	0.000	0.270
Tras	9.950	56.820	15.150	3.970	4.490	0.310	1.140	2.000	6.170
Alçı	41.830	2.550	0.580	0.370	0.000	34.540	0.060	0.000	20.070
Kalker	55.230	0.710	0.120	0.160	0.650	0.120	0.050	0.000	42.960

Çizelge 5.2. Numunelerin Kimyasal analiz sonuçları

NUMUNE ADI	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K
SEPERATÖR BESLEME -20	36.83	35.34	10.31	3.24	4.02	2.33	0.85	0.68	4.59
SEPERATÖR BESLEME-32+20	40.43	35.51	10.74	3.20	4.48	1.27	0.75	0.65	1.22
SEPERATÖR BESLEME -75+38	39.47	36.39	11.28	2.90	4.73	1.02	0.77	0.67	1.22
DEĞİRMEN FİLTRE ALTI -20	36.66	35.30	10.27	3.14	3.98	2.36	0.86	0.70	4.75
DEĞİRMEN FİLTRE ALTI -32+20	40.25	36.01	10.91	2.77	4.48	1.15	0.74	0.56	1.41
DEĞİRMEN FİLTRE ALTI -75 + 38	38.59	36.90	11.48	2.42	4.80	1.03	0.78	0.65	1.45
DEĞİRMEN TAŞANI - 20	37.07	35.24	10.32	3.20	4.00	2.37	0.85	0.85	0.66
DEĞİRMEN TAŞANI -32+20	39.93	35.73	10.69	3.10	4.37	1.37	0.76	0.65	1.92
DEĞİRMEN TAŞANI -75+38	39.59	36.19	11.23	2.87	4.61	1.00	0.77	0.62	1.35
DEĞİRMEN TAŞANI - 150 +75	36.43	37.78	11.47	3.81	4.86	1.55	0.77	0.62	2.56
GERİ DÖNÜŞ -20	36.93	35.56	10.2	3.32	3.95	2.18	0.83	0.61	4.59
GERİ DÖNÜŞ-32+20	40.49	35.73	10.64	3.28	4.38	1.04	0.74	0.59	1.65
GERİ DÖNÜŞ-75+38	39.87	36.55	11.24	2.89	4.59	0.85	0.77	0.60	1.30
GERİ DÖNÜŞ-150+75	37.42	37.87	11.66	2.89	4.70	1.11	0.82	0.74	2.20
SEPERATÖR FİLTRE ALTI -20	33.64	35.86	10.21	3.15	3.92	2.92	1.00	0.60	7.20
SEPERATÖR FİLTRE ALTI -32+20	36.21	36.17	10.63	2.63	4.3	1.84	0.91	0.62	5.22
ÜRÜN -20	36.98	36.32	10.52	2.97	4.02	2.60	0.87	0.67	4.85
ÜRÜN -32+20	38.75	36.69	10.86	2.49	4.39	1.51	0.79	0.57	2.76

Çizelge 5.2. Numunelerin Kimyasal analiz sonuçları (Devam ediyor)

NUMUNE ADI	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K
1.KAMARA OM -20	38.89	34.70	9.87	3.85	3.92	2.34	0.84	0.69	4.79
1.KAMARA OM -32+20	41.22	35.47	10.53	3.40	4.32	1.27	0.73	0.63	1.54
1.KAMARA OM -75+38	40.38	36.48	11.07	3.00	4.61	1.06	0.76	0.62	1.30
1.KAMARA OM -150+75	38.41	36.81	11.14	3.04	4.44	1.67	0.81	0.70	2.20
1.KAMARA OM -300+150	38.24	35.45	10.61	3.08	4.12	2.23	0.81	0.68	3.70
1.KAMARA OM +300	36.54	36.39	11.19	2.77	4.64	1.94	0.83	0.63	3.84
1.KAMARA 1M -32+20	41.71	35.82	10.65	3.43	4.38	1.22	0.73	0.56	1.10
1.KAMARA 1M -75+38	39.92	36.91	11.17	2.93	4.60	1.14	0.77	0.69	1.54
1.KAMARA 1M -150+75	37.63	37.15	11.26	3.05	4.47	1.55	0.82	0.70	2.04
1 KAMARA 2M -32+20	42.01	35.71	10.59	3.38	4.37	1.02	0.74	0.59	0.83
1 KAMARA 2M -75+38	40.44	36.77	11.17	2.98	4.62	0.94	0.77	0.64	0.92
1 KAMARA 2M -150+75	38.42	36.86	11.17	2.88	4.46	1.37	0.81	0.72	1.45
1 KAMARA 2M -300+150	37.07	35.89	10.68	2.99	4.15	2.73	0.81	0.65	3.95
1 KAMARA 3M -20	37.85	35.23	10.03	3.74	3.97	2.56	0.84	0.66	4.80
1.KAMARA 3M -32+20	41.17	35.82	10.56	3.35	4.37	1.26	0.74	0.60	1.67
1 KAMARA 3M 75+38	40.06	36.55	11.10	2.96	4.62	0.95	0.76	0.63	1.41
1 KAMARA 3M -150+75	37.81	37.02	11.24	2.97	4.43	1.86	0.81	0.69	2.60
1.KAMARA 3M -300+150	36.99	36.54	10.93	2.98	4.20	2.18	0.83	0.69	3.80
1.KAMARA 4.6M -20	37.62	35.47	10.13	3.59	3.91	2.42	0.84	0.60	4.50
1.KAMARA 4.6M -32+20	41.06	35.62	10.51	3.25	4.36	1.37	0.76	0.62	2.10
1.KAMARA 4.6M -75+38	40.26	36.88	11.27	2.85	4.63	1.17	0.77	0.65	1.25
1.KAMARA 4,6M -150+75	37.81	37.10	11.22	2.97	4.42	1.55	0.81	0.68	2.38

Çizelge 5.2. Numunelerin Kimyasal analiz sonuçları (Devam ediyor)

NUMUNE ADI	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K
2.KAMARA 1M-20	36.88	35.59	10.17	3.44	3.85	2.92	0.86	0.65	4.88
2.KAMARA 1M -32+20	40.38	35.91	10.62	3.34	4.31	1.53	0.75	0.52	0.18
2.KAMARA 1M -75+38	39.58	36.61	11.17	3.01	4.60	1.11	0.70	0.67	1.48
2.KAMARA 1M -150+75	36.64	37.18	11.37	2.97	4.45	1.85	0.81	0.68	2.47
2.KAMARA 1M -300+150	35.64	37.36	11.32	2.97	4.35	2.17	0.83	0.74	3.28
2.KAMARA 2M -20	36.93	35.75	10.24	3.39	3.87	2.93	0.86	0.87	4.50
2.KAMARA 2M -32+20	40.49	35.98	10.62	3.34	4.32	1.37	0.75	0.71	1.53
2.KAMARA 2M -32+20	41.09	35.79	10.61	3.34	4.34	1.16	0.74	0.67	1.76
2.KAMARA 2 M -75+38	40.16	36.54	11.13	3.08	4.66	1.03	0.77	0.98	1.53
2.KAMARA 2M -150+75	36.83	37.26	11.32	2.97	4.46	1.81	0.81	0.74	2.46
2.KAMARA 2 M -300+150	36.00	37.62	11.42	3.07	4.41	2.01	0.84	0.84	3.04
2.KAMARA 3M -20	37.57	36.02	10.33	3.41	3.95	2.81	0.86	0.66	4.44
2.KAMARA 3M 32+20	38.29	34.77	10.34	3.04	4.19	1.28	0.72	0.72	6.53
2.KAMARA 3M 75+38	39.79	36.47	11.13	2.95	4.57	1.00	0.76	0.69	2.50
2.KAMARA 3M -150+75	36.92	37.46	11.37	2.99	4.46	1.55	0.82	0.71	2.25
2.KAMARA 3M 300+150	35.66	37.72	11.50	3.11	4.47	1.93	0.84	0.69	2.98
2.KAMARA 4M -20	37.72	25.97	10.27	3.37	3.94	2.14	0.85	0.71	4.33
2.KAMARA 4M -32+20	40.87	36.16	10.69	3.29	4.35	1.19	0.75	0.63	1.60
2.KAMARA 4M -75+38	39.82	36.82	11.22	2.98	4.62	0.96	0.77	0.68	1.27
2.KAMARA 4M -150+75	37.10	37.71	11.45	2.97	4.53	1.18	0.82	0.73	2.30
2.KAMARA 4M -300+150	35.86	37.93	11.52	2.96	4.49	1.15	0.84	0.75	3.23

Çizelge 5.2. Numunelerin Kimyasal analiz sonuçları (Devam ediyor)

NUMUNE ADI	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	K.K
2.KAMARA 5M -20	37.56	36.03	10.32	3.33	3.92	2.16	0.85	0.67	4.25
2.KAMARA 5M -32+20	40.72	36.09	10.74	3.26	4.39	1.12	0.75	0.61	1.77
2.KAMARA 5 M -75+38	39.83	36.00	10.71	3.23	4.33	1.38	0.75	0.77	1.52
2.KAMARA 5M -150+75	37.35	37.88	11.51	2.93	4.62	1.09	0.82	0.68	2.20
2.KAMARA 5M -300+150	35.49	37.68	11.49	3.10	4.54	1.10	0.83	0.69	3.10
2.KAMARA 6 M -20	37.31	35.77	10.29	3.26	3.92	2.30	0.84	0.66	3.99
2.KAMARA 6 M -32+20	40.56	36.15	10.73	3.20	4.43	1.28	0.75	0.65	1.40
2.KAMARA 6 M -150+75	36.75	37.69	11.55	3.00	4.57	1.23	0.82	0.67	2.19
2.KAMARA 6 M -300+150	35.92	38.22	11.61	3.30	4.62	1.35	0.85	0.66	1.24
2.KAMARA 7M -20	37.22	35.82	10.28	3.29	3.93	2.87	0.85	0.79	4.15
2.KAMARA 7 M -32+20	39.88	35.98	10.72	3.19	4.35	1.48	0.75	0.74	1.63
2.KAMARA 7M -75+38	39.07	36.40	11.08	3.03	4.59	1.24	0.75	0.60	1.44
2.KAMARA 7M -150+75	36.51	37.58	11.45	3.02	4.55	1.56	0.81	0.69	2.47
2.KAMARA 8M -20	37.53	36.06	10.38	3.23	3.98	2.39	0.85	0.68	3.87
2.KAMARA 8M -32+20	40.70	36.30	10.77	3.18	4.39	1.36	0.75	0.64	1.30
2.KAMARA 8M -75+38	39.94	36.97	11.26	2.98	4.63	0.97	0.77	0.69	1.10
2.KAMARA 8M -150+75	36.60	37.79	11.60	2.97	4.63	1.18	0.82	0.68	2.10
2.KAMARA 9.6M -20	37.66	36.14	10.34	3.23	3.96	2.32	0.85	0.68	3.87
2.KAMARA 9.6M -32+20	40.88	36.37	10.81	3.17	4.42	1.35	0.75	0.71	1.36
2.KAMARA 9.6M -75+38	39.52	37.02	11.31	2.94	4.68	1.04	0.77	0.62	0.95
2.KAMARA 9.6M -150+75	36.70	37.88	11.67	2.93	4.69	1.21	0.82	0.64	2.04

6. DENEYSEL SONUÇLAR VE MADDE DENKLİĞİ ÇALIŞMALARI

Öğütme devresinde yapılan örnekleme çalışması sonrasında alınmış olan numuneler üzerinde yapılmış olan tane boyu dağılım analiz sonuçları ve numuneleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle belirlenen tane boyu dağılımları ile kontrol odasında kaydedilen tonaj değerleri kullanılarak iki farklı madde denkliği çalışması yapılmıştır.

Madde denkliği çalışmalarıyla örneklenmiş olan devrede tonajları ölçülmeyen yada ölçümlerine güvenilmeyen akışların tonajları belirlendiği gibi örnekleme çalışması sırasında, sistemin dinamik yapısından, fiziksel koşullardan, ölçümsel hatalardan ve insan faktöründen gelebilecek boyut dağılımlarındaki hatalar da kontrol edilmiştir.

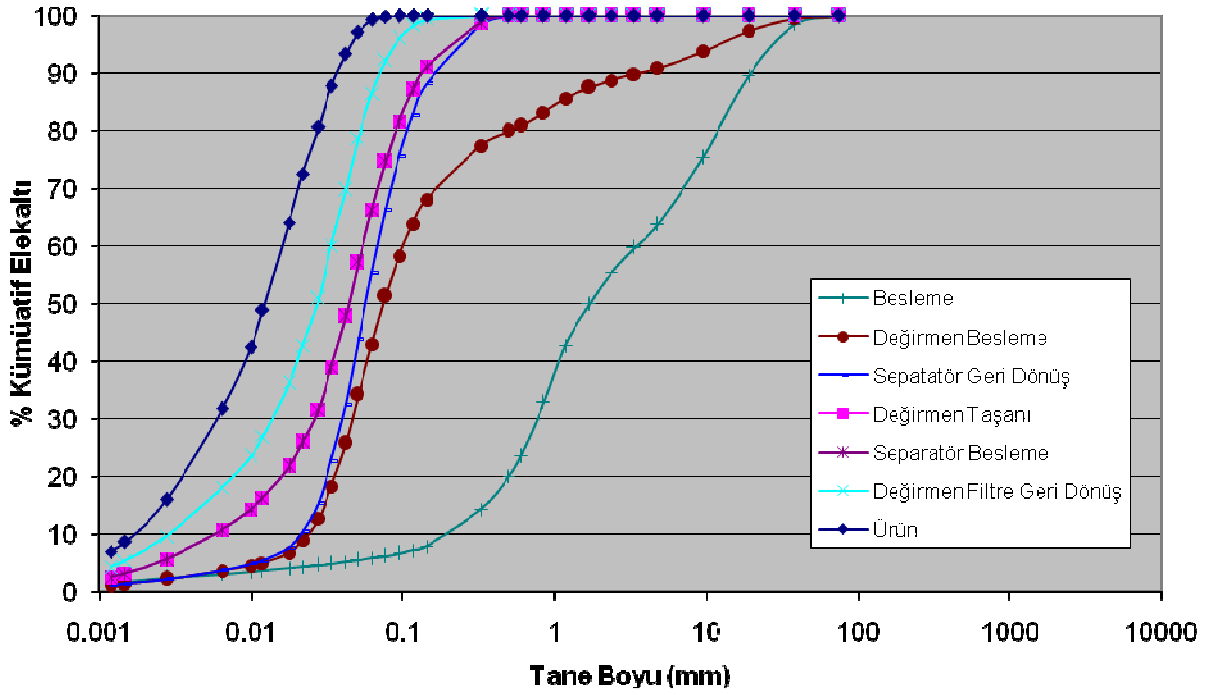
Madde denkliği, ham verilerin istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak devre etrafındaki akışların en iyi şekilde tahmin edilmesini kapsamaktadır.

Madde denkliği sonucunda devredeki tüm kolların akış değerleri hesaplanmış, devre etrafı tane boyu dağılımları istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak tekrar hesaplanmıştır.

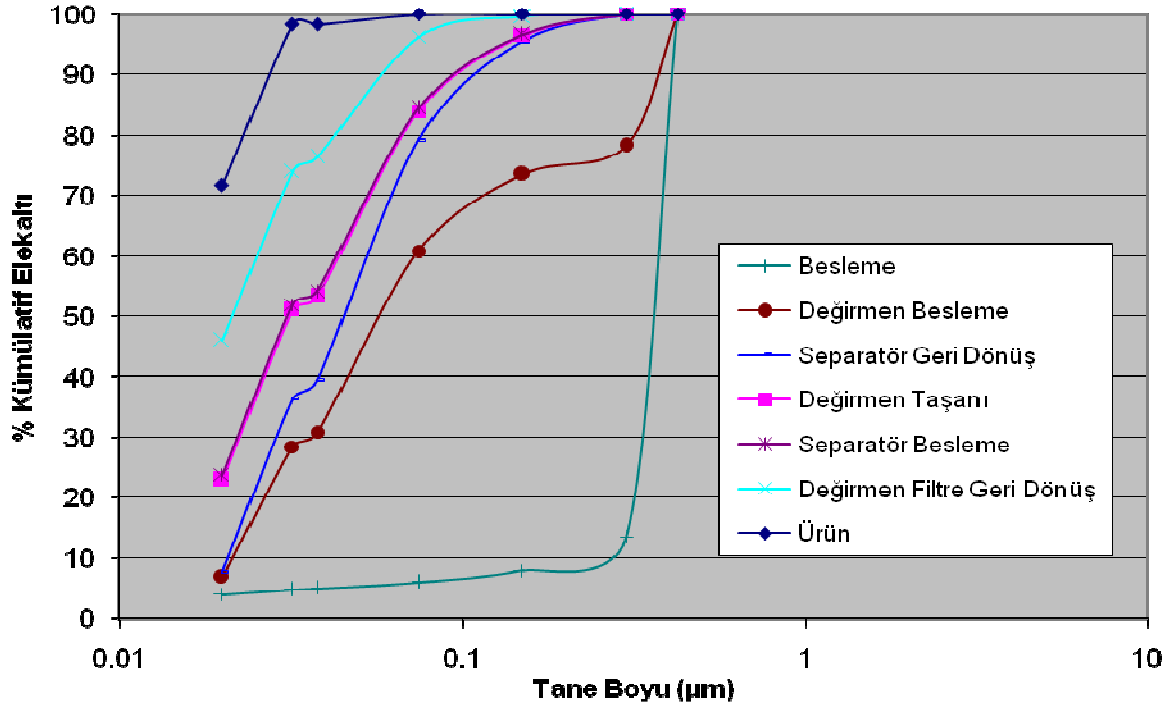
6.1. Tane Boyu Analizleri ve Madde Denkliği Sonuçları

Bu bölüm içerisinde öğütme devresi için yapılmış olan madde denkliği çalışmaları sonrası hesaplanmış tane boyu dağılımları ve deneysel çalışmalar sonucu belirlenen dağılımlar ile madde denkliği çalışmaları sonunda hesaplanan dağılımlar birlikte grafiksel olarak bir arada verilmektedir (Şekil 6.3. ve Şekil 6.4.). Elek ve lazerli tane boyu ölçüm cihazı yardımıyla belirlenen dağılımlar kullanılarak yapılan madde denkliği çalışması (birinci madde denkliği çalışması) sonucunda hesaplanan tane boyu dağılımları Şekil 6.1.' de, örnekleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle belirlenen dağılımlar kullanılarak yapılan madde denkliği çalışması (ikinci madde denkliği çalışması) sonucunda hesaplanan tane boyu dağılımları Şekil 6.2'

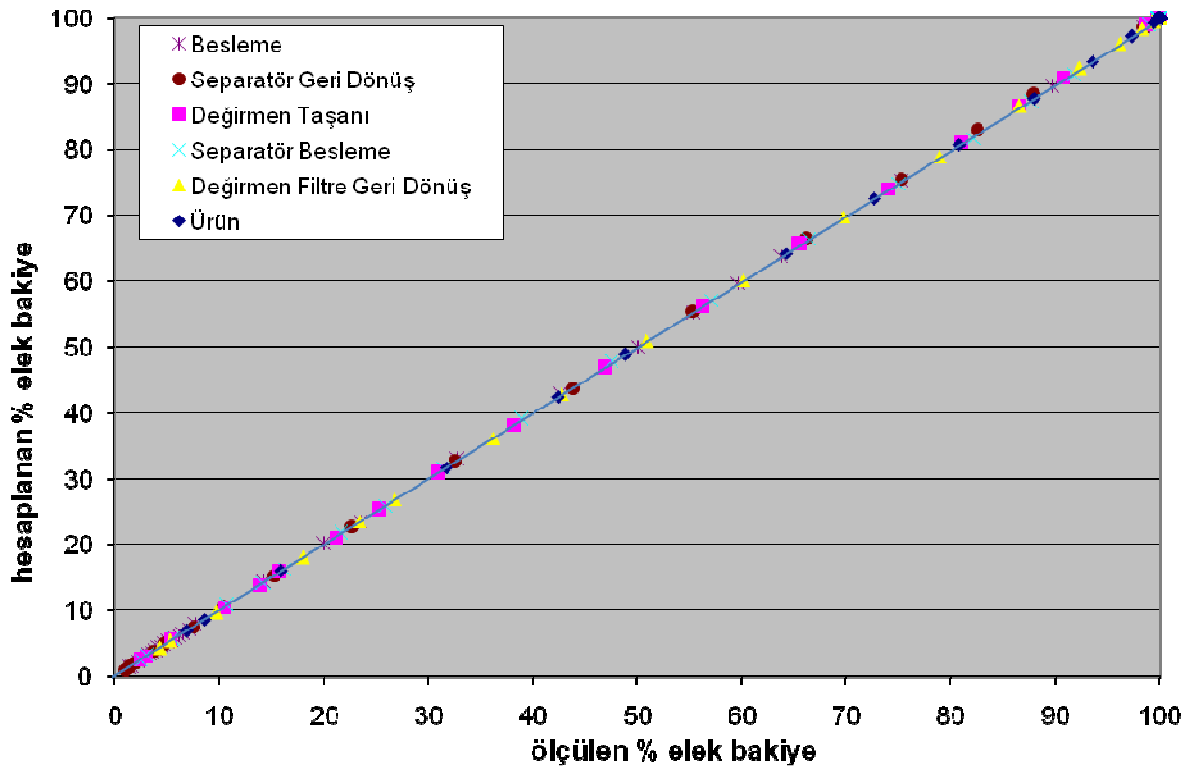
de verilmiş olup dağılımların sayısal değerleri ise sırasıyla Ek.8 ve Ek.9' da ayrıca sunulmuştur. Madde denkliği çalışmaları sonucu, herbir akış için hesaplanan tonajlar (t/h) Şekil 6.5 ve Şekil 6.6' daki basitleştirilmiş akım şemalarında verilmektedir. Elek ve lazerli ölçüm cihazı kullanılarak yapılan ölçümler ile elek ve hava püskürtmeli elek kullanılarak yapılan ölçüm sonuçları kullanılarak yapılan iki ayrı madde denkliği çalışmasının sonuçlarının benzerliği, yapılan örneklemenin ve deneysel çalışmaların başarısını ortaya koymaktadır.



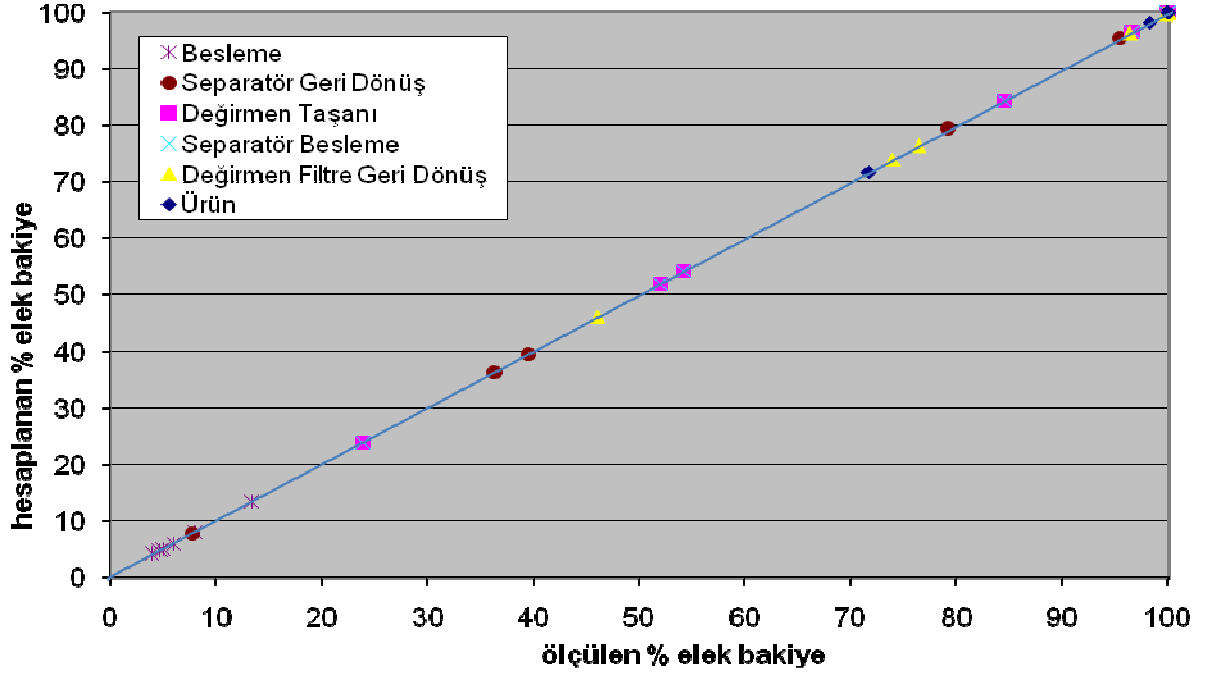
Şekil 6.1. Birinci madde denkliği çalışması sonucunda hesaplanan dağılımlar



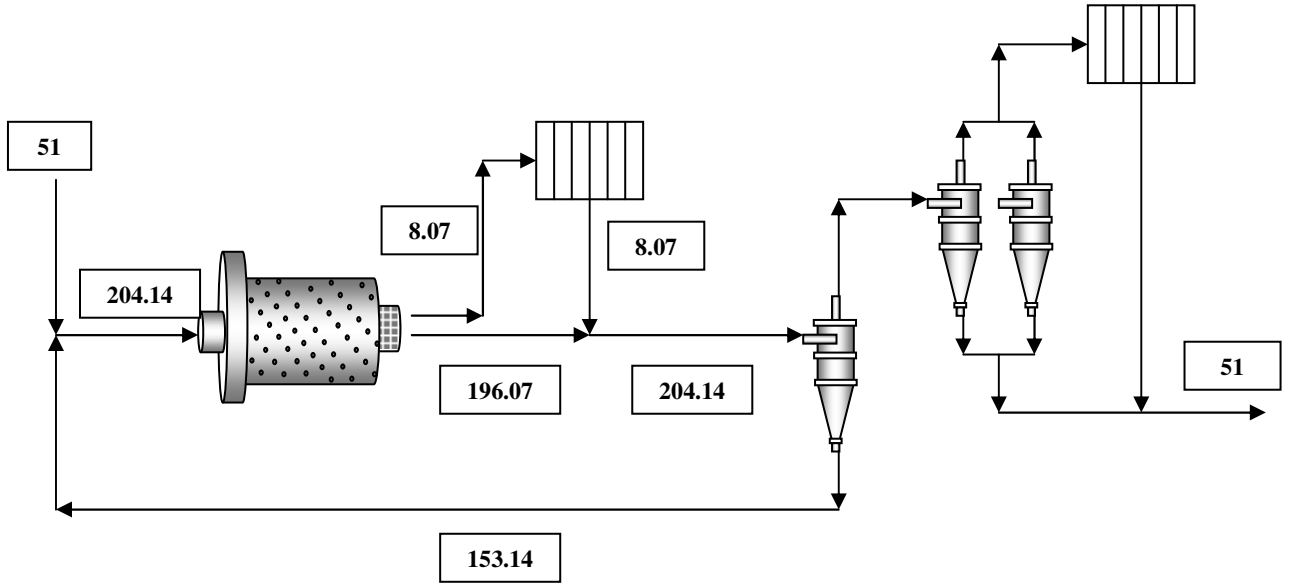
Şekil 6.2. İkinci madde denkleği çalışması sonucunda hesaplanan dağılımlar



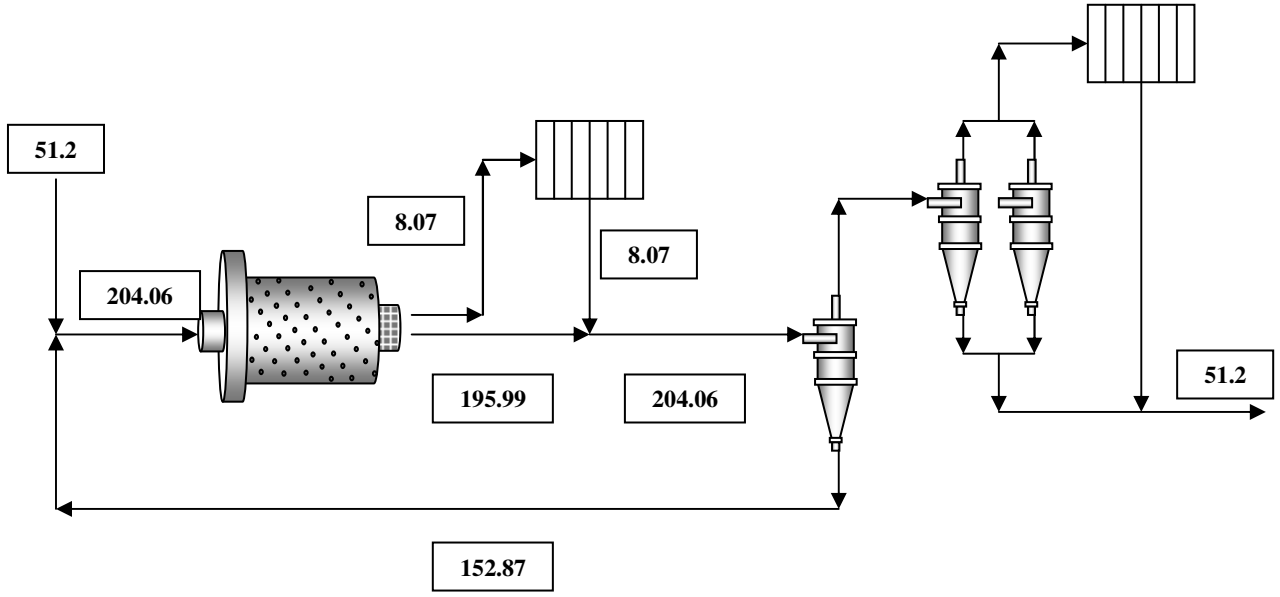
Şekil 6.3. Birinci madde denkleği sonucu ölçülen - hesaplanan tane boyu dağılımları



Şekil 6.4. İkinci madde denkliği sonucu ölçülen - hesaplanan tane boyu dağılımları



Şekil 6.5. Birinci (test elekleri ve lazerli ölçüm cihazı) madde denkliği çalışması sonucu hesaplanan tonaj değerleri (ton / saat)

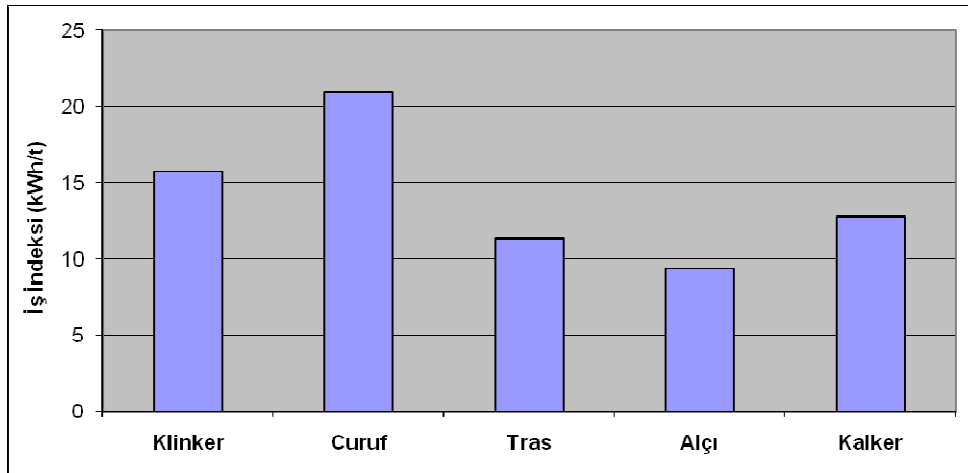


Şekil 6.6. İkinci (örnekleri fraksiyonlara ayırma suretiyle) madde denklığı çalışması sonucunda hesaplanan tonaj değerleri (ton / saat)

7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

SET Çimento A.Ş. Ambarlı Tesisi' ne ait çimento öğütme devresinde yapılan örnekleme çalışmaları sonucunda alınan numuneler üzerinde yapılmış olan fraksiyonlara ayırma çalışmalarını takiben fraksiyonlar halindeki numunelerin kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan bu analizler sonucunda çimento öğütme devresinde örneklenen noktalara ait numunelerin ve değirmende, birinci ve ikinci kamaralardaki örnekleme noktalarına ait numunelerin ve klinker ile diğer katkı maddelerinin fraksiyonlar halinde CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , SO_3 , K_2O , Na_2O ve kızdırma kaybı (K.K.) miktarları belirlenmiştir.

Katkı maddelerine ait iş indeksi değerleri Şekil 7.1.' de grafiksel olarak verilmektedir.



Şekil 7.1. Katkı maddelerinin iş indeksi değerleri

Kızdırma kaybı, çimentodaki suyun ve karbonatlı bileşiklerin, çimentonun belirli dereceye kadar ısıtılıp tekrar tartılması sonucu belirlenir. İnce fraksiyondaki malzemenin yüzey alanının fazla olmasından dolayı bu tür, yeterince korunamama gibi sebeplerden dolayı, nem kapma gibi olaylar fazla olacaktır. Bu nedenle de ince fraksiyondaki malzemede kızdırma kaybının fazla olması beklenir.

Katkı maddelerinin kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, kızdırma kaybı miktarının alçı ve kalkerde, diğer katkılara göre çok daha fazla miktarda olduğu

görülmektedir. Alçı ve kalkerin düşük iş indeksi değerlerine sahip olmaları, bu maddelerinin kolay öğütülebilir olmalarının göstergesidir; bu sebepten dolayı kızdırma kaybı miktarının ince tane boylarında ve ince fraksiyonlarda, irilere oranla daha yüksek miktarda olması beklenmektedir. Devre etrafından alınan örneklerin analiz sonuçları incelendiğinde, bu örnekler arasında en ince dağılımlara sahip olan değirmen ve separatör filtre geri dönüşleri ile ürüne ait (Bkz. Şekil.5.6) -20µm fraksiyonlarındaki kızdırma kaybı miktarının diğer örneklere ve fraksiyonlara göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Kamaralardan alınan örneklerin analiz sonuçlarına bakıldığında, deneysel çalışmalarda en ince fraksiyon olan -20µm fraksiyonundaki kızdırma kaybı miktarlarının diğer fraksiyonlardaki kızdırma kaybı miktarlarından daha fazla olduğu görülmektedir.

Devredeki SO₃' ün çok büyük miktarı alçıdan dolayı sisteme dahil olmaktadır ve katkılı çimentolarda katkının, klinkerden daha kolay öğünmesinden dolayı SO₃ miktarının (alçıdan gelen) ince fraksiyonlarda daha fazla miktarda bulunması beklenir. Devre etrafına ait numunelerin kimyasal analizlerinin sonucu olarak da, beklenildiği üzere, SO₃ miktarı olarak, ince dağılıma sahip örneklerdeki -20µm fraksiyonlarında belirgin şekilde yoğunlaşmaktadır.

Kamaralarda yapılan örnekleme çalışmaları sonrasındaki kimyasal analizlerin sonucunda, devre etrafından alınan örneklerde olduğu gibi SO₃' ün, örneklerin -20µm fraksiyonlarında belirgin şekilde yoğunlaştığı görülmektedir.

Katkı maddelerinin kimyasal analizleri sonucunda MgO' nun en fazla miktarda, katkıları arasında en yüksek iş indeksi değerine sahip olan, curufta bulunduğu görülmektedir. Yüksek MgO miktarlarını iri dağılıma sahip devre etrafı örneklerinde ve iri fraksiyonlarında bulunmasını beklemek bu durumun doğal bir sonucudur. Devre etrafından ve kamaralardan alınan örneklerin -150+75µm ve -75+38µm fraksiyonlarında yoğunlaşan MgO bu durumu desteklemektedir.

Trastan ve curuftan sırasıyla %15.15 (2.227 ton) ve %13.42 (1.865 ton) gibi yakın miktarlarda devreye beslenen Al₂O₃, curufun iş indeksinin trasın iş indeksinden

çok daha yüksek olmasından dolayı devre etrafından alınan örneklerin iri dağılıma sahip olanlarında ve bunların iri fraksiyonlarında yüksek miktarlarda bulunması beklenmektedir. Aynı şekilde, kamaralardan alınan örneklerde ise Al_2O_3 miktarının iri fraksiyonlarda yoğunlaşması beklenmektedir. Devre etrafına ait örneklerden separatör geri dönüş, kursak ve separatör beslemeye ve kamaralardan alınan örneklere ait en iri fraksiyonlardaki Al_2O_3 miktarının fazlalığı bu beklentileri haklı çıkartmaktadır.

Devredeki SiO_2 , katkı maddeleri arasında en fazla miktarda trasta gelmektedir, fakat curuf ve klinker (en yüksek iş indeksine sahip katkılar) toplamından gelen miktar trasta gelen miktardan fazladır. Trastın iş indeksinin curuf ve klinkerin iş indekslerine göre daha düşük olması sebebiyle devre etrafından alınan örneklerin iri dağılıma sahip olanlarında ve bu örneklerin iri fraksiyonlarında SiO_2 'nin yoğunlaşması beklenmektedir. Kamaralara ait örneklerdeki beklenti ise devre etrafından alınan örneklerde beklenildiği üzere SiO_2 'nin iri fraksiyonlarda yüksek miktarlarda bulunması yönündedir. Devre etrafında separatör geri dönüş ve kursak akışlarından ve birinci kamaradan alınan örneklerin $-150+75\mu m$ ile ikinci kamaradan alınan örneklerin $-300+150\mu m$ fraksiyonlarında görülen SiO_2 miktarındaki yoğunluk bu durumdaki beklentileri doğrular niteliktedir.

Devreye klinker ve curuf toplamından gelen CaO 'nun alçı ve kalker toplamından gelen CaO 'dan miktar olarak çok daha fazla olmasıyla birlikte klinker – curuf ile alçı – kalkerin iş indeksleri karşılaştırıldığında CaO 'nun kamaralardan alınan örneklerde iri fraksiyonlarda ve devre etrafından alınan örneklerin iri dağılıma sahip olanlarında ve bunların iri fraksiyonlarında yoğunlaşması beklenmektedir. Fakat analiz sonuçları incelendiğinde CaO 'nun belirgin bir şekilde, hem devre etrafından alınan örneklerde hem de kamaralardan alınan örneklerde $-32+20\mu m$ fraksiyonlarında yoğunlaştığı görülmektedir.

Devreye tras, klinker ve curuftan sırasıyla %3.97(0.583 ton), %3.65(0.649 ton) ve %1.68(0.233 ton) miktarlarında beslenen Fe_2O_3 , katkı maddeleri arasında en yüksek iş indeksi değerlerine sahip olanlarda, diğer katkılardan daha fazla miktarda bulunmasından dolayı devredeki Fe_2O_3 dağılımının daha çok iri dağılım gösteren örneklerde ve iri fraksiyonlar yönünde olması beklenmektedir. Fakat

kimyasal analiz sonuçları incelendiğinde, devre boyunca Fe_2O_3 dağılımının $-20\mu m$ ve $-32+20\mu m$ fraksiyonlarında yoğunlaştığı görülmektedir.

K_2O , katkı maddeleri arasında tras, curuf ve klinkerde sırasıyla %1.14(0.167 ton), %0.97(0.134 ton) ve %0.65(0.115 ton) miktarlarında devreye beslenmektedir. Katkılar arasında en yüksek iki iş indeksi değerine sahip olan curuf ve klinkerden gelen toplam K_2O miktarı, düşük iş indeksi değerine sahip trasta gelen miktardan çok daha fazla olduğundan dolayı devrede ve fraksiyonlar arasında K_2O yoğunluğunun iri dağılım gösteren örneklerde ve iri fraksiyonlarda olması beklenmektedir. Fakat analiz sonuçları incelendiğinde, beklenenin aksine, K_2O yoğunluğunun ince dağılım gösteren örneklerde ve ince fraksiyonlarda ($-20\mu m$) olduğu görülmektedir.

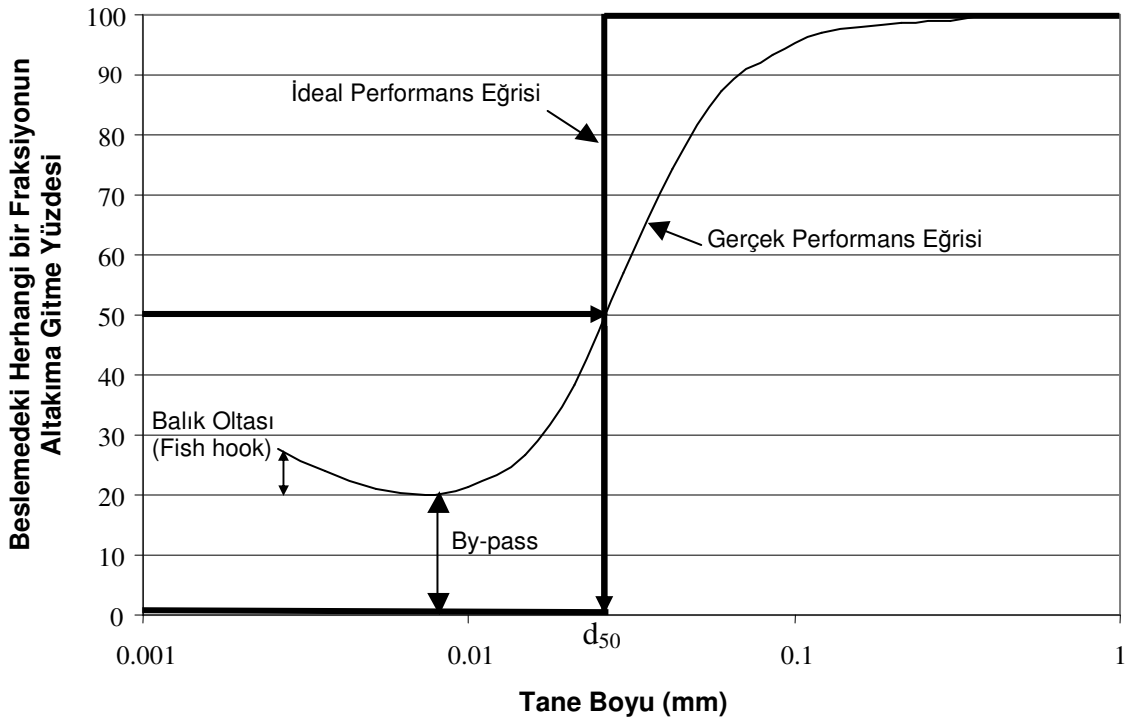
Na_2O devreye sadece tras ve klinkerden sırasıyla %2.0 (0.294 ton) ve %0.75 (0.133 ton) miktarlarında beslenmektedir. Trastan iş indeksinin klinkerin iş indeksinden daha küçük olmasından dolayı Na_2O ' nun ince dağılım gösteren örneklerde ve fraksiyonlarda yoğunlaşması beklenmektedir. Devre etrafındaki Na_2O miktarı genel anlamda düzensiz olmakla beraber kameralardaki örneklerde Na_2O 0. - 2. metreler arasında yoğunlaşmaktadır.

Devrede bulunan ekipmanların performanslarının değerlendirilebilmesi amacıyla ekipmanların herbiri ayrı ayrı ele alınmıştır.

Sınıflandırıcıların, boyut ayırımı yönünden, performansları değerlendirilirken verimlilik eğrileri (performans eğrisi) kullanılmaktadır.

Performans eğrisinin dik olması ayırımın iyi olduğunu, eğimin azalması ise ayırımın bozulduğunu göstermektedir. Performansın değerlendirilmesinde kullanılan bir diğer kriter ise kaçak (by-pass) yapan malzeme oranıdır. By-pass ince boydaki tanelerin bir bölümünün separatör irileri ile alınmasıdır. Performans eğrisinin ulaştığı en düşük değer kaçak yapan (separatörden sınıflandırma işlemine maruz kalmadan geçen) malzeme oranının bir göstergesidir. Bu değer düşük olması da ayırımın iyi olduğunu bir göstergesidir. Kaçak yapan kısım separatör irilerinden çıkarıldıktan sonra elde edilen ve sadece sınıflandırmayı tanımlayan yeni eğriye düzeltilmiş performans eğrisi denir ve bu eğri üzerinde %50

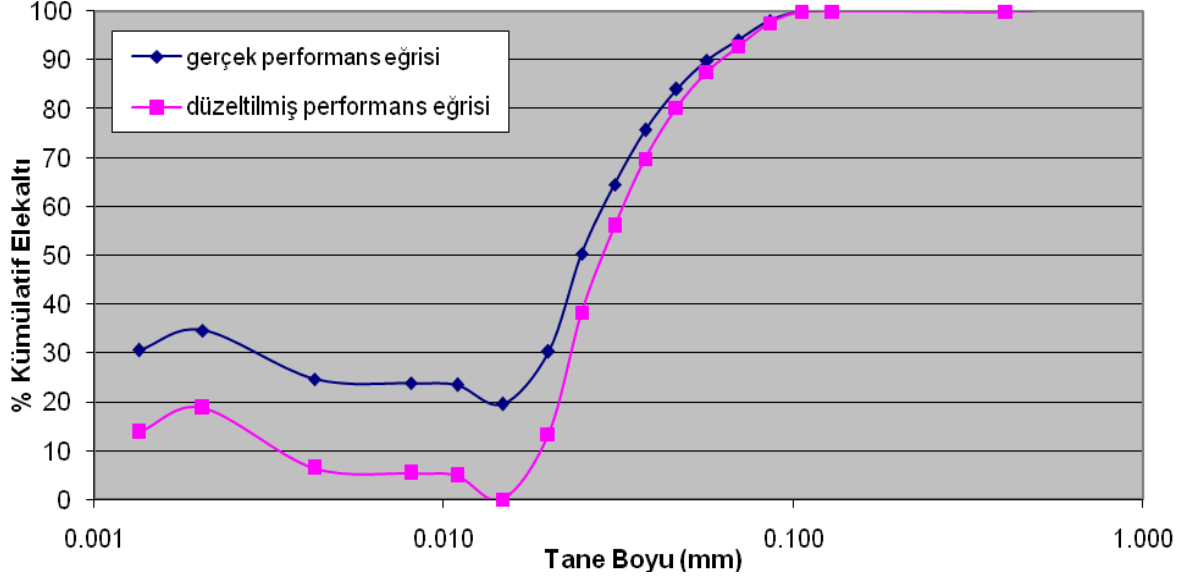
partisyon değerine karşılık gelen tane boyutu değeri d_{50c} olarak adlandırılır. d_{50c} sınıflandırılmış malzemede tanelerin %50'sinin inceleme %50'sinin irilere gittiği boyutu göstermekte olup, ayırma boyutu olarak da adlandırılır. Dolayısıyla d_{50c} 'nin küçülmesi separatörün daha ince bir ayırma yaptığını gösterir. Separatörlerin gerçek sınıflandırma etkilerinin incelenebilmesi maksadıyla by-pass' tan arındırılarak düzeltilmiş partisyon eğrileri çizilmektedir. Separatör verimlilik eğrilerinde yapılan değerlendirme çalışmalarında kullanılan parametrelerin açıklamasının bulunduğu tipik bir grafik Şekil 7.2' de verilmektedir.



Şekil 7.2. Tipik bir etkinlik (performans) eğrisi ve parametreleri

- | | | |
|--------------|---|--|
| By-pass | : | Separatöre giren beslemede sınıflandırmaya uğramadan iri ürüne kaçan malzeme miktarı |
| Balık Oltası | : | İnce tanelerin irilere yapışması sonucu iri ürüne kaçan ince malzeme miktarı |
| d_{50} | : | Ayırım boyu |

SET Çimento A.Ş. Ambarlı öğütme devresi separatör performansı performans eğrisi Şekil 7.3.' de verilmektedir.



Şekil 7.3. Çimento öğütme devresi separatör performans eğrisi

Çimento Öğütme Devresi separatörü yaklaşık %19.5 by-pass ve 28.5µm kesme boyu ile çalışmaktadır.

Bilyalı değirmen içinden eksen boyunca alınan numunelerin tane boyu dağılımları incelendiğinde birinci kamarada son noktaya kadar düzenli bir boyut küçültmenin olduğu (Bkz. Şekil 5.2. ve Şekil 5.6.) görülmektedir. İkinci kamaradan alınan numunelerin tane boyu analizlerinin yapılması sonucu herhangi bir sorun olmadığı, eksen boyunca etkili bir boyut küçültmenin gerçekleştiği görülmektedir (Bkz. Şekil 5.3. ve Şekil 5.7.).

Ayrıca değirmen içerisinden alınan numuneler separatör beslemesi ile karşılaştırıldığında separatör beslemesi tane boyu dağılımının değirmen çıkışı tane boyu dağılımına nazaran daha iri bir dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir (Bkz. Şekil 5.6.). Değirmenin içerisinden yeterli inceliğe öğünmüş malzeme çıkartılmadığından değirmen içerisinde aşırı öğünme ve performans kaybı meydana gelmektedir.

8. ÖNERİLER

Yapılan çalışmaların devamı niteliğinde, tesis bazında deneysel çalışmaların genişletilebilmesi sebebiyle analiz sonuçlarının, bileşenlerin, gerek devre boyunca, gerekse kamaralar içindeki dağılımlarını daha sağlıklı bir şekilde yansıtacağı düşünülmektedir. Bu sayede daha sağlıklı yorumlar yapılabilecektir. Bununla birlikte, devre boyunca mineral bazında madde denklığı çalışmalarının yapılması, çimentoyu oluşturan her mineral bileşeninin devre boyunca davranımını incelemek yönünde yapılabilecek özgün çalışmalardan birini oluşturacaktır. Bu çalışmalar sonucunda, devredeki separatör etrafında, bütün mineral bileşenler için ayrı ayrı performans eğrisi çizmek mümkün olabilecektir.

Deneysel çalışmaların genişletilmesi durumunda, mevcut durumdaki davranımı tanımlanamayan ve beklenenin aksine dağılım gösteren bileşenler hakkında daha sağlıklı sonuçlara varmak mümkün olabilecektir.

Bu çalışmanın devamı niteliğinde katkı tayini analizlerinin yapılması gerekmektedir.

9. KAYNAKLAR DİZİNİ

- Aydoğan, N.A., 2002, Yüksek Basınçlı Merdaneli Deđirmenlerin Matematiksel Modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 132s.
- Bye, G.C., 1999, Portland Cement: Composition, Production and Properties, Second Edition, Thomas Telford Limited, London, 297p.
- Cordonnier, A., 1994, The Horomill – A New Finish Grinding Mill, ZKG, No. 11, pp. 643-647
- Duda, W.H., 1976, Cement Data Book 1 : International Process Engineering in the Cement Industry, Bauverlag GmbH – Wiesbaden and Berlin, 444p
- Dündar, H., 2006, Farklı Sođutma Hızlarında Sođutulan Çelikhane Cüruflarının Öğütme Parametrelerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 87s.
- Fuersteneau, D.W., Abouzeid, A.-Z.M., 2002, The Energy Efficiency of Ball Milling in Comminution, International journal of Mineral Processing, Vol:67, pp.161 – 185
- Haque, M.N., Kayalı, O., 1998, Properties of High Strength Concrete Using A Fine Fly Ash, Cement and Concrete Research, Vol:28, pp.1445 – 1452
- Jo, Byung-Wan., Kim, Chang-Hyun., Tae, Ghi-ho., Park, Jong-Bin., 2007, Characteristics of Cement Mortar with nano – SiO₂ Particles, Construction and Building Materials, Vol:21, pp.1351 – 1355
- Lynch, A.J., 1977, Mineral Crushing and Grinding Circuits, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 342p.

- Mouli, M., Khelafi, H., 2007, Performance Characteristics of Lightweight Aggregate Concrete Containing Natural Pozzolan, Building and Environment, Article In Press
- Napier-Munn, T.J., Morrell, S., Morrison, R.D., Kojovic, T., 1997, Mineral Comminution Circuits Their Operation and Optimisation, Editor: Napier-Munn, T.J., 413p.
- Özkan, Ö., Yüksel, I., Muratoğlu, Ö., 2007, Strength Properties of Concrete Incorporating Coal Bottom Ash and Granulated Blast Furnace Slag, Waste Management, Vol:27, pp.161 – 167
- Sata, V., Jaturapitakkul, C., Kiattikomol, K., 2005, Influence of Pozzolan from Various By-product Materials on Mechanical Properties of High-strength Concrete, Construction and Building Materials
- Schoenert, K., Knobloch, O.R., 1984, Cement Grinding in High Pressure Grinding Roll, ZKG, No. 11, pp. 563-568
- Türk Standartları Enstitüsü, Çimento, TS EN 197, 2002
- Wills, B.A., 1985, Mineral Processing Technology, Pergamon Press, 630p
- Worrel, E., Martin, N., Price, L., Potentials for Energy Efficiency Improvement in The Cement Industry, 2000, Energy, Vol:25, pp.1189 – 1214

EKLER

EK.1. Test elekleri ve lazerli ölçüm cihazı ile ölçülen devre etrafına ait tane boyu dağılımları

Tane Boyu (µm)	Değirmen Taşanı	Değirmen Filtre Geri Dönüş	Seperatör Besleme	Geri Dönüş	Ürün	Seperatör Filtre Geri Dönüş
500.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
406.45	99.45	100.00	99.50	99.40	100.00	100.00
330.40	98.69	100.00	98.86	98.46	100.00	100.00
268.58	97.56	100.00	97.90	97.02	100.00	100.00
218.33	95.95	100.00	96.53	94.93	100.00	100.00
177.48	93.73	99.83	94.58	91.99	100.00	100.00
144.27	90.65	99.31	91.75	87.93	100.00	100.00
117.28	86.47	98.19	87.70	82.44	100.00	100.00
95.33	80.94	96.03	82.15	75.20	100.00	100.00
77.50	73.91	92.26	75.01	66.08	99.99	100.00
63.00	65.51	86.51	66.45	55.34	99.39	100.00
51.21	56.23	78.81	57.04	43.74	97.24	100.00
41.63	46.84	69.71	47.56	32.49	93.46	100.00
33.84	38.18	60.08	38.86	22.75	87.90	100.00
27.51	30.89	50.86	31.53	15.33	80.76	100.00
22.36	25.25	42.78	25.82	10.39	72.62	100.00
18.18	21.12	36.14	21.62	7.54	64.21	99.94
14.78	18.12	30.90	18.57	6.07	56.16	98.50
12.01	15.82	26.78	16.23	5.29	48.86	95.48
9.76	13.88	23.44	14.27	4.74	42.41	90.86
7.94	12.11	20.58	12.47	4.21	36.73	84.65
6.45	10.46	18.03	10.79	3.66	31.67	77.09
5.24	8.94	15.68	9.24	3.15	27.11	68.59
4.26	7.57	13.49	7.85	2.72	22.97	59.65
3.47	6.37	11.47	6.64	2.39	19.25	50.79
2.82	5.34	9.64	5.58	2.12	15.95	42.47
2.29	4.45	8.01	4.66	1.88	13.08	34.97
1.86	3.68	6.58	3.85	1.62	10.64	28.42
1.51	3.01	5.34	3.13	1.32	8.59	22.81
1.23	2.41	4.27	2.49	0.99	6.87	18.05

EK.2. Test elekleri ve lazerli ölçüm cihazı ile ölçülen ve birinci kamaraya ait tane boyu dağılımları

Tane Boyu (µm)	0m	1m	2m	3m	4.6m
500.00	99.27	99.40	99.16	99.20	99.12
429.68	98.01	98.37	97.72	97.83	97.62
369.24	96.24	96.91	95.73	95.90	95.55
317.31	94.01	95.06	93.28	93.49	93.01
272.68	91.41	92.89	90.51	90.71	90.16
234.33	88.52	90.42	87.55	87.67	87.13
201.37	85.37	87.66	84.45	84.47	84.02
173.05	81.95	84.59	81.19	81.13	80.86
148.71	78.23	81.15	77.69	77.59	77.62
127.79	74.12	77.21	73.80	73.74	74.18
109.82	69.52	72.64	69.35	69.41	70.38
94.37	64.33	67.34	64.24	64.43	66.01
81.10	58.50	61.24	58.42	58.74	60.93
69.69	52.06	54.42	51.98	52.41	55.15
59.89	45.17	47.11	45.10	45.67	48.86
51.47	38.13	39.65	38.11	38.82	42.38
44.23	31.29	32.45	31.36	32.25	36.07
38.01	25.04	25.92	25.23	26.28	30.26
32.66	19.67	20.34	19.97	21.15	25.17
28.07	15.36	15.87	15.73	16.98	20.92
24.12	12.11	12.51	12.53	13.76	17.52
20.73	9.82	10.13	10.24	11.38	14.88
17.81	8.28	8.52	8.68	9.69	12.86
15.31	7.25	7.45	7.61	8.50	11.30
13.15	6.53	6.71	6.85	7.63	10.06
11.30	5.96	6.12	6.23	6.96	9.02
9.71	5.45	5.59	5.68	6.39	8.11
8.35	4.96	5.08	5.16	5.85	7.28
7.17	4.48	4.57	4.64	5.33	6.52
6.17	4.01	4.09	4.16	4.81	5.83
5.30	3.58	3.65	3.71	4.32	5.19
4.55	3.21	3.26	3.31	3.85	4.62
3.91	2.87	2.93	2.96	3.43	4.11
3.36	2.59	2.64	2.66	3.04	3.65
2.89	2.33	2.39	2.39	2.70	3.24
2.48	2.09	2.15	2.14	2.39	2.86
2.13	1.86	1.92	1.91	2.10	2.51
1.83	1.62	1.68	1.66	1.82	2.17
1.58	1.38	1.43	1.41	1.54	1.84
1.35	1.12	1.17	1.15	1.25	1.52
1.16	0.86	0.90	0.88	0.96	1.20
1.00	0.61	0.64	0.62	0.68	0.90

EK.3. Test elekleri ve lazerli ölçüm cihazı ile ölçülen ve ikinci kamaraya ait tane boyu dağılımları

Tane Boyu (µm)	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9.6m
500.00	100.00	99.42	99.55	99.60	99.48	99.70	99.76	99.59	99.92
429.68	98.44	98.41	98.78	98.89	98.59	99.16	99.31	98.88	99.72
369.24	97.03	96.98	97.65	97.86	97.31	98.36	98.66	97.87	99.37
317.31	95.23	95.14	96.19	96.51	95.68	97.26	97.78	96.60	98.82
272.68	93.08	92.92	94.39	94.84	93.74	95.83	96.65	95.12	98.00
234.33	90.62	90.38	92.27	92.89	91.56	94.05	95.26	93.52	96.83
201.37	87.88	87.54	89.82	90.64	89.20	91.92	93.62	91.81	95.27
173.05	84.85	84.41	87.01	88.07	86.67	89.48	91.68	89.99	93.28
148.71	81.50	80.96	83.83	85.10	83.93	86.74	89.36	87.96	90.84
127.79	77.78	77.14	80.23	81.66	80.87	83.66	86.54	85.57	87.95
109.82	73.62	72.90	76.14	77.65	77.33	80.09	83.07	82.59	84.57
94.37	68.94	68.17	71.49	73.04	73.14	75.85	78.79	78.80	80.63
81.10	63.68	62.91	66.27	67.83	68.21	70.75	73.61	74.04	76.03
69.69	57.86	57.17	60.53	62.09	62.56	64.78	67.58	68.31	70.73
59.89	51.60	51.07	54.41	55.98	56.36	58.09	60.88	61.81	64.78
51.47	45.18	44.83	48.14	49.74	49.91	51.03	53.84	54.89	58.37
44.23	38.91	38.72	42.02	43.67	43.54	44.05	46.86	48.03	51.77
38.01	33.13	33.04	36.33	38.01	37.60	37.60	40.31	41.62	45.34
32.66	28.09	28.01	31.28	32.96	32.36	31.98	34.52	35.96	39.38
28.07	23.91	23.77	27.01	28.60	27.95	27.34	29.65	31.20	34.13
24.12	20.60	20.36	23.53	24.95	24.37	23.68	25.75	27.32	29.70
20.73	18.06	17.69	20.75	21.94	21.54	20.87	22.74	24.21	26.08
17.81	16.12	15.64	18.53	19.47	19.28	18.73	20.44	21.72	23.19
15.31	14.59	14.03	16.67	17.38	17.43	17.03	18.62	19.68	20.86
13.15	13.29	12.70	15.03	15.58	15.83	15.63	17.09	17.94	18.94
11.30	12.11	11.52	13.51	13.96	14.37	14.39	15.70	16.39	17.29
9.71	10.95	10.43	12.06	12.47	12.99	13.24	14.36	14.96	15.79
8.35	9.80	9.38	10.67	11.10	11.68	12.14	13.04	13.61	14.37
7.17	8.67	8.36	9.36	9.83	10.43	11.08	11.74	12.32	13.02
6.17	7.59	7.40	8.17	8.67	9.26	10.06	10.50	11.08	11.72
5.30	6.57	6.51	7.11	7.61	8.19	9.07	9.33	9.90	10.48
4.55	5.66	5.70	6.18	6.67	7.22	8.12	8.25	8.77	9.31
3.91	4.86	4.97	5.38	5.83	6.35	7.21	7.26	7.72	8.22
3.36	4.17	4.34	4.70	5.09	5.56	6.35	6.38	6.75	7.22
2.89	3.59	3.78	4.11	4.43	4.87	5.54	5.59	5.86	6.31
2.48	3.10	3.29	3.59	3.86	4.24	4.80	4.87	5.06	5.48
2.13	2.69	2.87	3.14	3.34	3.69	4.12	4.23	4.36	4.74
1.83	2.33	2.48	2.73	2.89	3.18	3.52	3.66	3.73	4.08
1.58	2.02	2.14	2.35	2.48	2.72	2.97	3.13	3.18	3.49
1.35	1.74	1.83	2.01	2.11	2.31	2.49	2.65	2.69	2.95
1.16	1.48	1.54	1.69	1.77	1.93	2.07	2.22	2.26	2.47
1.00	1.24	1.27	1.39	1.46	1.59	1.69	1.82	1.87	2.03

EK.4. Katkı maddelerinin tane boyu dağılımları

Tane Boyu (mm)	Klinker	Curuf	Tras	Alçı	Kalker
75	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
50	99.68	100.00	98.31	100.00	100.00
38	99.23	100.00	95.62	99.35	100.00
25	95.09	100.00	86.18	97.81	100.00
19	90.05	100.00	76.61	95.91	99.05
13.2	82.28	100.00	64.68	91.21	90.27
9.5	72.43	100.00	53.01	87.56	76.26
6.7	64.13	99.81	44.26	81.84	56.22
4.75	58.13	99.45	38.31	78.00	40.11
3.35	52.61	98.79	33.90	73.88	28.87
2.36	46.53	96.37	29.95	69.67	21.55
1.7	41.25	89.29	26.10	65.91	17.02
1.18	36.79	73.75	21.87	62.66	14.19
0.85	32.41	49.57	16.86	59.27	12.22
0.6	28.17	26.66	12.34	54.83	10.64
0.425	24.59	12.83	9.05	48.22	9.37
0.3	21.58	6.36	6.88	38.81	8.26
0.212	18.15	3.71	5.40	28.87	7.27
0.15	13.93	2.37	4.26	20.54	6.18

EK.5. Numuneleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle ölçülen ve devre etrafı numunelerine ait tane boyu dağılımları

Tane Boyu (µm)	Değirmen Taşanı	Değirmen Filtre Altı	Separatör Besleme	Geri Dönüş	Ürün	Separatör Filtre Altı
300	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
150	97.11	99.68	96.72	95.92	99.96	100.00
75	85.44	96.30	84.65	80.09	99.87	100.00
38	56.10	76.39	56.39	39.06	97.29	100.00
32	54.73	73.95	54.03	36.10	97.01	100.00
20	27.22	46.04	26.66	7.31	70.00	99.47

EK 6. Numuneleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle ölçülen ve birinci kamaraya ait numunelerin tane boyu dağılımları

Tane Boyu (µm)	0m	1m	2m	3m	4.6m
425	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
300	93.88	95.12	94.64	94.54	94.47
150	85.12	89.12	86.14	85.32	85.48
75	68.76	71.47	69.85	69.50	70.84
38	35.58	36.68	35.61	36.72	40.60
32	31.16	32.56	32.80	33.72	38.47
20	9.28	9.08	8.89	10.90	13.11

EK.7. Numuneleri fraksiyonlara ayırmak suretiyle ölçülen ve ikinci kamaraya ait tane boyu dağılımları

Tane Boyu (μm)	1m	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9.6m
425	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
300	95.57	96.41	97.23	97.41	97.96	98.29	98.52	99.11	99.31
150	86.14	87.43	89.35	90.32	91.85	93.00	93.89	95.26	95.95
75	69.56	71.00	73.47	74.54	76.97	78.88	80.29	82.29	83.71
38	38.73	40.34	43.70	43.63	46.98	49.28	51.09	51.81	53.42
32	36.99	39.04	42.19	42.21	45.99	47.50	49.93	50.00	51.34
20	12.57	14.62	16.50	17.35	18.98	20.44	22.25	22.93	23.51

EK.8. Birinci madde denkliğine ait ölçülen – hesaplanan tane boyu dağılımları

Tane Boyu (mm)	Değirmen Filtre Geri Dönüş		Separatör Besleme		Besleme		Geri Dönüş		Değirmen Besleme		Ürün		Değirmen Taşanı	
	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.
75	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100.00	100.00
38	100	100	100	100	98.44	98.44	100	100	100	99.61	100	100	100.00	100.00
19	100	100	100	100	89.6	89.6	100	100	100	97.4	100	100	100.00	100.00
9.5	100	100	100	100	75.25	75.29	100	100	100	93.83	100	100	100.00	100.00
4.75	100	100	100	100	63.75	63.79	100	100	100	90.95	100	100	100.00	100.00
3.35	100	100	100	100	59.67	59.71	100	100	100	89.93	100	100	100.00	100.00
2.36	100	100	100	100	55.24	55.28	100	100	100	88.83	100	100	100.00	100.00
1.7	100	100	100	100	49.98	50.02	100	100	100	87.51	100	100	100.00	100.00
1.18	100	100	100	100	42.67	42.71	100	100	100	85.69	100	100	100.00	100.00
0.85	100	100	100	100	32.83	32.86	100	100	100	83.23	100	100	100.00	100.00
0.6	100	100	100	100	23.49	23.52	100	100	100	80.89	100	100	100.00	100.00
0.5	100	100	100	100	20.05	20.08	100	100	100	80.03	100	100	100.00	100.00
0.33	100	100	98.86	98.82	14.27	14.3	98.46	98.42	100	77.41	100	100	98.69	98.77
0.144	99.31	99.31	91.75	91.17	7.74	7.77	87.93	88.23	100	68.13	100	100	90.65	90.84
0.117	98.19	98.19	87.7	87.09	7.1	7.13	82.44	82.79	100	63.88	100	100	86.47	86.63
0.095	96.03	96.03	82.15	81.63	6.55	6.57	75.2	75.52	100	58.29	100	100	80.94	81.04
0.077	92.26	92.26	75.01	74.69	6.14	6.16	66.08	66.28	100	51.26	99.99	99.95	73.91	73.97
0.063	86.51	86.51	66.45	66.37	5.78	5.8	55.34	55.41	100	43.01	99.39	99.3	65.51	65.54
0.051	78.81	78.81	57.04	57.09	5.44	5.46	43.74	43.76	100	34.19	97.24	97.13	56.23	56.20
0.042	69.71	69.71	47.56	47.7	5.14	5.16	32.49	32.5	100	25.67	93.46	93.33	46.84	46.79
0.034	60.08	60.08	38.86	39	4.79	4.81	22.75	22.75	100	18.27	87.9	87.77	38.18	38.13
0.028	50.86	50.86	31.53	31.64	4.54	4.55	15.33	15.33	100	12.64	80.76	80.63	30.89	30.85
0.022	42.78	42.78	25.82	25.91	4.22	4.23	10.39	10.4	100	8.86	72.62	72.5	25.25	25.22
0.018	36.14	36.14	21.62	21.68	3.97	3.98	7.54	7.56	100	6.67	64.21	64.1	21.12	21.09
0.012	26.78	26.78	16.23	16.22	3.58	3.59	5.29	5.36	100	4.92	48.86	48.81	15.82	15.78
0.01	23.44	23.44	14.27	14.22	3.39	3.4	4.74	4.84	100	4.48	42.41	42.38	13.88	13.84
0.0065	18.03	18.03	10.79	10.73	2.97	2.98	3.66	3.75	100	3.56	31.67	31.67	10.46	10.43
0.0028	9.64	9.64	5.58	5.56	2.35	2.35	2.12	2.11	100	2.17	15.95	15.94	5.34	5.40
0.0015	5.34	5.34	3.13	3.13	1.6	1.6	1.32	1.31	100	1.38	8.59	8.58	3.01	3.04
0.0012	4.27	4.27	2.49	2.48	1.32	1.32	0.99	1.01	100	1.09	6.87	6.88	2.41	2.40

EK.9. İkinci madde denkliğine ait ölçülen – hesaplanan tane boyu dağılımları

Tane Boyu (µm)	Değirmen Taşanı		Değirmen Filtre Altı		Separatör Besleme		Besleme		Geri Dönüş		Ürün		Değirmen Besleme	
	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.	ölç.	hes.
425	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
300	100.0	100.0	100.0	99.99	100.0	100.0	13.50	13.50	100.0	99.99	100.0	100.0	100.0	78.29
150	97.11	96.5	99.68	99.67	96.72	96.63	8.00	8.00	95.92	95.5	99.96	100.0	100.0	73.55
75	85.44	83.98	96.3	96.28	84.65	84.46	6.00	6.00	80.09	79.26	99.87	100.0	100.0	60.88
38	56.10	53.33	76.39	76.38	56.39	54.25	5.00	5.00	39.06	39.5	97.29	98.27	100.0	30.84
32	54.73	51.01	73.95	73.93	54.03	51.92	4.80	4.80	36.10	36.39	97.01	98.27	100.0	28.47
20	27.22	22.91	46.04	46.03	26.66	23.82	4.00	4.00	7.31	7.78	70.00	71.7	100.0	6.83

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : MURAT DOĞRUER

Doğum Yeri : Vezirköprü

Doğum Yılı : 1982

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise 1993-1994 Havza Anadolu Lisesi

Lise 1994-2000 Vezirköprü Anadolu Lisesi

Lisans 2000-2004 Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil: İngilizce