

**ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KAPALI DEVRE ÇALIŞAN
İKİ BİLYALI ÖĞÜTME DEVRESİNİN
ÇİMENTO KALİTESİ VE ENERJİ TÜKETİMİ
AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI**

**COMPARISON OF TWO CLOSED CIRCUIT BALL MILLS
IN TERMS OF
CEMENT QUALITY AND ENERGY CONSUMPTION**

Ayşegül HAKTANIR


Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
MADEN Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ

2011

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

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

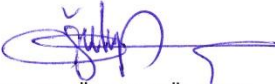
Başkan

: 
Prof. Dr. Ümit ATALAY

Üye (Danışman)

: 
Prof. Dr. A. Hakan BENZER

Üye

: 
Prof. Dr. Özcan GÜLSOY

Üye

: 
Prof. Dr. Levent ERGÜN

Üye

: 
Prof. Dr. Zafir EKMEKÇİ

ONAY

Bu tez, Hacettepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin ilgili maddeleri uyarınca yukarıdaki jüri üyeleri tarafından .../.../2011 tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulunca .../.../2011 tarihinde kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Adil DENİZLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÇİMENTO ÜRETİMİNDE KAPALI DEVRE ÇALIŞAN İKİ BİLYALI ÖĞÜTME DEVRESİNİN ÇİMENTO KALİTESİ VE ENERJİ TÜKETİMİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Ayşegül HAKTANIR

ÖZ

Bu çalışmada, kapalı devre olarak çalışan iki çimento öğütme devresinde farklı incelik değerlerinde sağlanan aynı üretim kalitesinin nedenleri araştırılmıştır. SET ÇİMENTO SAN. ve TİC. A.Ş. ANKARA ÇİMENTO FABRİKASI'nda yürütülen bu çalışmada benzer devre tasarımına sahip 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devrelerinde örnekleme çalışmaları yürütülmüştür.

Tesiste mevcut olan soruna yönelik olarak, çalışma kapsamında, 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri'nde CEM I 42.5R üretiminde örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. Bu çalışmalar sırasında, 1 ve 2'nci örnekleme döneminde devre etrafından, 3. Örnekleme döneminde ise devre etrafı ve değirmen içinden numuneler alınmıştır. Elde edilen numunelerin tane boyu dağılımları belirlenmiş ve madde denkliği çalışmaları yürütülmüştür. Hammadde numunelerinin standart Bond iş indeksi testi ile öğütülebilirlik değerleri belirlenmiştir. Ek olarak, numunelerin incelik değerleri, yüzey alanları ve kimyasal bileşimleri belirlenmiştir. Klinker ve nihai ürün kalitesi ise dayanım testleri ile incelenmiştir. Analiz sonuçları değerlendirilerek, değirmen ve sınıflandırıcı ekipmanlar ile tüm devre için performans değerlendirme çalışmaları yürütülmüştür.

Çalışma sonucunda, değirmen ürünlerinin boyut dağılımlarında eğim farkının bulunduğu, 4 numaralı öğütme devresinin daha yatık bir dağılıma sahip olduğu belirlenmiştir. 4 numaralı öğütme devresinde son ürüne katılan statik separatör incesinin dağılımın şeklini değiştirmesinin yanı sıra, ince boylarda içerdiği kalker miktarının da son ürün dayanımına olumlu etki yarattığı anlaşılmıştır. Statik sınıflandırıcıya sahip devrelerde, yürütülen deneysel çalışmaların olumlu etki vermesi neticesinde, statik ince akışının son ürüne verilmesinin dayanım üzerinde olumlu etkiye sahip olacağı anlaşılmaktadır.

Ayrıca devrede bulunan dinamik separatörün üreticiler tarafından verilen toz yükü limitlerinde çalıştırılması, separatör performansı anlamında herhangi bir olumsuzluk yaratmadığı dolayısıyla separatörlerin bu değerlere zorlanmasının aynı ürün kalitesinde devrede harcanan özgül enerjiyi optimize ettiği anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Öğütme, Bilyalı Değirmenler, Özgül Enerji, Çimento Kalitesi, Çimento

Danışman: Prof. Dr. A. Hakan BENZER

Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Cevher Hazırlama ABD

COMPARISON OF TWO CLOSED CIRCUIT BALL MILLS IN TERMS OF CEMENT QUALITY AND ENERGY CONSUMPTION

Ayşegül HAKTANIR

ABSTRACT

In this study, reasons of same product quality in different production fineness conditions were investigated. Sampling studies were carried out in similar cement grinding circuits of SET ÇİMENTO SAN. ve TİC. A.Ş. ANKARA CEMENT PLANT.

According to the problem in plant, cement grinding circuits 2 and 4 were sampled in CEM I 42.5R production. During the studies term 1 and term 2 samples were taken around the circuit, in 3th term study samples were taken also inside of the mills. Size distributions of samples were measured and mass balance studies were carried out.

Standard Bond Work Index values of raw material samples determined. In addition, fineness values, surface areas, and chemical content of samples were determined. Clinker and product quality evaluated with strength tests. According to results of analysis performance evaluation studies of mills, classifier equipment and all of circuit were carried out.

At the end of this study, it is realized that the product size distribution of the number 4 cement grinding circuit has a wide range distribution. At that circuit, in addition to addition of static separator fine to final product which affects the slope of the product distribution; limestone in the fine size, affects the final strength positively. In the light of surveying studies on the circuits with static classifier; it is observed that if the static fines added to final product, the final strength is improved.

In addition to these, the dynamic separator in this circuit, if the system is operated at the dust limits provided by manufacturer, separator performance is not affected negatively. Thus, operating the separator in the limits can improve the specific energy figures while keeping the cement quality constant.

Keywords: Grinding, Ball Mills, Specific Energy, Cement Quality, Cement

Advisor: Prof. Dr. A. Hakan BENZER

Hacettepe University, Department of Mining Engineering, Mineral Processing Division

TEŞEKKÜR

Bölüm imkanlarından yararlanmamı sağlayan Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölüm Başkanı, Sayın Prof. Dr. Özcan Gülsoy'a,

Tez çalışmalarım sırasında bilgi ve tecrübesiyle yol gösterici olan, gelişimim için her türlü imkanı sağlayan ve manevi desteğini esirgemeyip yanımda olan tez danışmanım Sayın Prof. Dr. A. Hakan Benzer'e,

Tezimin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen; Dr. Elif Akcan, Araş. Gör. Deniz Ekşi, Araş. Gör. Okay Altun, Hulusi Konuray Demir ve Neslihan Menekşe'ye,

Değerli katkılarından dolayı Sayın Doç. Dr. Abdullah Obut, Dr. Namık A. Aydoğan ve Araş. Gör. Hakan Dünder'a,

DeneySEL Çalışmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı Araş. Gör. Nurettin Alper Toprak'a ve Sezgin Birsured'e,

Bölümümüz teknisyenleri Mustafa Yılmaz, Işın Aslıyüksek'e ve bölümümüz sekreterleri Sıddık Yılmazoğlu ve Birgül Atay'a,

Numunelerin temini konusunda yardımlarını esirgemeyen SET-Italcementi Ankara Çimento Fabrikası çalışanlarına,

Maddi desteklerinden dolayı Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne,

Sabrı ve sonsuz desteği için sevgili eşim Selim Haktanır'a

Manevi destek ve ilgileri ile her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZ	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ	1
2. ÇİMENTO ÜRETİM PROSESİ	3
3. ÇİMENTO ÖĞÜTME PROSESİ	10
3.1. Dik Değirmenler	10
3.2. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenler.....	12
3.3. Yatay Merdaneli Değirmenler (HOROMILL).....	13
3.4. Bilyalı Değirmenler	14
3.5. Havalı Sınıflandırıcılar	15
4. KAPALI DEVRE BİLYALI DEĞİRMENLERDE PERFORMANS VE KALİTEYİ ETKİLEYEN PARAMETRELER	18
4.1. Değirmenlerde Performans Üzerine Etkili Olan Parametreler	19
4.1.1. Bilya Boyu.....	19
4.1.2. Ara Bölme Izgarası Tasarımı	20
4.1.3. Hava Hızı	20
4.1.4. Astar Tasarımı	21
4.2. Havalı Sınıflandırıcılarda Performans Üzerine Etkili Olan Parametreler	22
4.2.1. Kesme Boyu	22
4.2.2. Hava Akımı İçerisinde Tanelerin Davranımı	22
4.2.3. Malzemenin Topaklanma Eğilimi	23

4.2.4. Gaz Akışının Viskozitesi	24
4.2.5. Yüzey Alanı	24
4.3. Malzeme Özelliklerinin Performans Üzerine Etkileri	24
4.3.1. Besleme Tane Boyu Dağılımı	24
4.3.2. Besleme Malzemesinin Kırılma Özelliği	25
4.3.3. Öğütülebilirlik	25
4.4. Kaliteyi Etkileyen Parametreler	25
5. TESİS ÖRNEKLEME ÇALIŞMALAR VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
5.1. TESİS ÖRNEKLEME ÇALIŞMALAR	28
5.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLARI	35
5.2.1. Numunelerin Tane Boyu Dağılımlarının Belirlenmesi	35
5.2.1.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi	35
5.2.1.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi	38
5.2.2. Öğütülebilirlik	41
5.2.3 Kimyasal Analiz	42
5.2.4. İncelik, Blaine BET Yüzey Alanı Belirleme	43
5.2.5. Çimento ve Klinker Dayanım Değerlerinin Belirlenmesi.....	44
6. MADDE DENKLİĞİ ÇALIŞMALAR	45
6.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi	45
6.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi	51
7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ	58
7.1 Bilyalı Değirmen Performansı.....	63
7.2. Sınıflandırıcı Performansı.....	70
7.2.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi	70
7.2.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi	73

8. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR DİZİNİ	78
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Çimento üretiminde birim işlemlerin enerji tüketimleri.....	1
Şekil 2.1 Dünya geneli çimento üretim ve tüketim değerleri	3
Şekil 2.2 Çimento ihracat verileri	4
Şekil 2.3 Çimento ithalat verileri	4
Şekil 2.4 Çimento üretim prosesi.....	5
Şekil 3.1 Dik Değirmen.....	11
Şekil 3.2 Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerin ön öğütme amaçlı kullanılışı	12
Şekil 3.3 Yarı-son öğütme sistemi	13
Şekil 4.1 Rosin Rammler eğim parametresinin hidratasyon oranı üzerine etkisi	27
Şekil 5.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi basitleştirilmiş akım şeması	28
Şekil 5.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi basitleştirilmiş akım şeması	29
Şekil 5.3. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi devre etrafı numune alma noktaları	32
Şekil 5.4. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi devre etrafı numune alma noktaları	32
Şekil 5.5. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi değirmen içi numune alma noktaları.....	34
Şekil 5.6. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi değirmen içi numune alma noktaları.....	34
Şekil 5.7. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-1.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları.....	36
Şekil 5.8. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-2.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları.....	36
Şekil 5.9. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları.....	37
Şekil 5.10. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 1.kamara ölçülen tane boyu dağılımları.....	37
Şekil 5.11. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 2.kamara ölçülen tane boyu dağılımları.....	38

Şekil 5.12. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-1.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları.....	39
Şekil 5.13. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-2.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları.....	39
Şekil 5.14. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları.....	40
Şekil 5.15. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 1.kamara ölçülen tane boyu dağılımları.....	40
Şekil 5.16. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 2.kamara ölçülen tane boyu dağılımları.....	41
Şekil 6.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi- Madde denkliği sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s).....	46
Şekil 6.2. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Madde denkliği sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları	46
Şekil 6.3. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki	47
Şekil 6.4. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi- Madde denkliği sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s).....	48
Şekil 6.5. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Madde denkliği sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları	48
Şekil 6.6. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki	49
Şekil 6.7. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi- Madde denkliği sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s).....	50
Şekil 6.8. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Madde denkliği sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları	50
Şekil 6.9. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki	51

Şekil 6.10. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi- Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s).....	52
Şekil 6.11. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları.....	52
Şekil 6.12. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki.....	53
Şekil 6.13. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi- Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s).....	54
Şekil 6.14. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları.....	54
Şekil 6.15. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki.....	55
Şekil 6.16. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi- Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s).....	56
Şekil 6.17. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları.....	56
Şekil 6.18. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki.....	57
Şekil 7.1. 1. örnekleme dönemine ait nihai ürün tane boyu dağılımları.....	59
Şekil 7.2. 2. örnekleme dönemine ait nihai ürün tane boyu dağılımları.....	59
Şekil 7.3. 3. Örnekleme dönemine ait nihai ürün tane boyu dağılımları.....	60
Şekil 7.4. İndirgeme oranı – değirmen özgül enerji tüketimi grafiği.....	64
Şekil 7.5. 2 No'lu değirmene ait tanelerin kaybolma hızı grafiği.....	65
Şekil 7.6. 4 No'lu değirmene ait tanelerin kaybolma hızı grafiği.....	65
Şekil 7.7. 2 No'lu Öğütme Devresi değirmen içi 1. Kamara %bakiye değerleri.....	67
Şekil 7.8. 4 No'lu Öğütme Devresi değirmen içi 1. Kamara %bakiye değerleri.....	68
Şekil 7.9. 2 ve 4 No'lu değirmenler 2. Kamara performansı.....	69
Şekil 7.10. 2 No'lu Öğütme Devresi değirmen içi 2. Kamara %bakiye değerleri.....	69

Şekil 7.11. 4 No'lu Öğütme Devresi değirmen içi 2. Kamara %bakiye değerleri.....	70
Şekil 7.12. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrisi.....	71
Şekil 7.13. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrisi.....	73
Şekil 7.14. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri 1. örnekleme dönemi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	74
Şekil 7.15. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri 2. Örnekleme dönemi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	75
Şekil 7.16. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri 3. Örnekleme dönemi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri	75

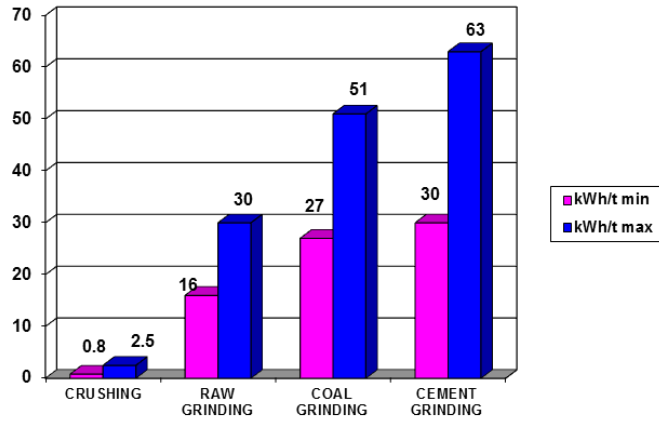
ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Klinkerin kimyasal bileşimi (Ullmann's Handbook).....	7
Çizelge 2.2 Klinker fazları (Duda, 1985).....	7
Çizelge 2.3 Çimento türlerine ait bileşim değerleri (TS EN 197).....	9
Çizelge 5.1. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri'nde yer alan ana ekipmanlara ait teknik özellikler	30
Çizelge 5.2. 2 numaralı öğütme devresi örnekleme dönemlerine ait kaydedilen kontrol odası değerleri.....	31
Çizelge 5.3. 4 numaralı öğütme devresi örnekleme dönemlerine ait kaydedilen kontrol odası değerleri.....	31
Çizelge 5.4. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi- Hammaddelere ait P80 ve P50 değerleri	38
Çizelge 5.5. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi- Hammaddelere ait P80 ve P50 değerleri	41
Çizelge 5.6. Klinkerlere ait iş indeksi değerleri	42
Çizelge 5.7. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi kimyasal analiz sonuçları	42
Çizelge 5.8. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi kimyasal analiz sonuçları	43
Çizelge 5.9. Örnekleme dönemlerine ait ürün Blaine, 40 mikron incelik ve BET yüzey alanı değerleri	43
Çizelge 5.10. Örnekleme dönemlerine ait ürün dayanım sonuçları	44
Çizelge 5.11. Örnekleme dönemlerine ait klinker dayanım sonuçları	44
Çizelge 7.1. 2 ve 4 No'lu devre klinkerlerine ait dayanım değerleri	58
Çizelge 7.2. Ürün boyut dağılımlarına ait eğim değerleri.....	61
Çizelge 7.3. Kimyasal analiz sonuçları	61
Çizelge 7.4. 2 ve 4 numaralı öğütme devrelerine ait ürün fraksiyonel kalker analizleri sonuçları.....	61
Çizelge 7.5. 4 No'lu değirmene ait statik separatör ve nihai ürün, ve karışım numuneleri dayanım sonuçları	62

Çizelge 7.6. Örnekleme dönemlerine ait güç, tonaj ve özgül enerji değerleri	63
Çizelge 7.7. 2 No'lu Değirmen örnekleme dönemlerine, tonaj, F80, P80, değirmen özgül enerji tüketimi, İndirgeme oranı değerleri.....	63
Çizelge 7.8. 4 No'lu Değirmen örnekleme dönemlerine, tonaj, F80, P80, değirmen özgül enerji tüketimi, İndirgeme oranı değerleri.....	64
Çizelge 7.9. 2 ve 4 No'lu Çimento Değirmeni 1. ve 2. kamara güç değerleri.....	66
Çizelge 7.10. 2 ve 4 No'lu değirmenlere ait mevcut bilya şarjı	67
Çizelge 7.11. 2 No 'lu separatörün maksimum hava miktarındaki limit değerleri.....	72
Çizelge 7.12. Separatöre ait üretici firma tarafından verilen ve hesaplanan toz yükü değerlerinin karşılaştırılması	72
Çizelge 7.13. Separatöre ait üretici firma tarafından verilen ve hesaplanan toz yükü değerlerinin karşılaştırılması	74
Çizelge 7.14. Örnekleme dönemlerine ait separatör performanslarının karşılaştırılması	75

1. GİRİŞ

Cevher hazırlama, çimento, seramik ve eczacılık gibi birçok endüstriyel alanda boyut küçültme işlemi yaygın olarak uygulanmakta ve enerjinin verimsiz kullanıldığı bir işlem olarak kabul edilmektedir. Bu endüstrilerin birçoğunda yüksek tonajlarda malzeme öğütüldüğü için özgül öğütme enerjisi büyük bir önem kazanmaktadır. Öğütme için kullanılan enerjinin ise ancak % 1 veya daha azı yeni yüzeyler oluşturmak için kullanılmaktadır (Austin, v.d., 1985).



Şekil 1.1. Çimento üretiminde birim işlemlerin enerji tüketimleri

Öğütme işlemi, çimento üretim prosesinde de en çok enerjinin harcandığı birimdir. Şekil 1.1'den de izlenebileceği üzere toplam enerjinin yaklaşık %30'u öğütmede harcanmaktadır. Dünya'da harcanan toplam enerjinin %2'i kadarının çimento üretim prosesinde harcandığı (Italcementi raporu, 2005) düşünüldüğünde, öğütme sistemlerinde gerçekleştirilecek en ufak bir iyileştirme harcanan enerji miktarında önemli tasarruflar sağlamaktadır.

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, konvansiyonel yöntemler olarak tanımlanan bilyalı ve dik değirmenlerde yapılan gelişmelere ek olarak, yüksek basınçlı merdaneli presler, CKP ön-öğütücüleri, düşey şoklu değirmenler, Horomill ve Cemax geliştirilerek enerji tüketimlerinde önemli tasarrufların sağlanması mümkün olmuştur (Knobloch, 1986; William and Bragan, 1989; Sutoh, et.al, 1992; Stoiber, et. Al., 1994; Cordonnier, 1994).

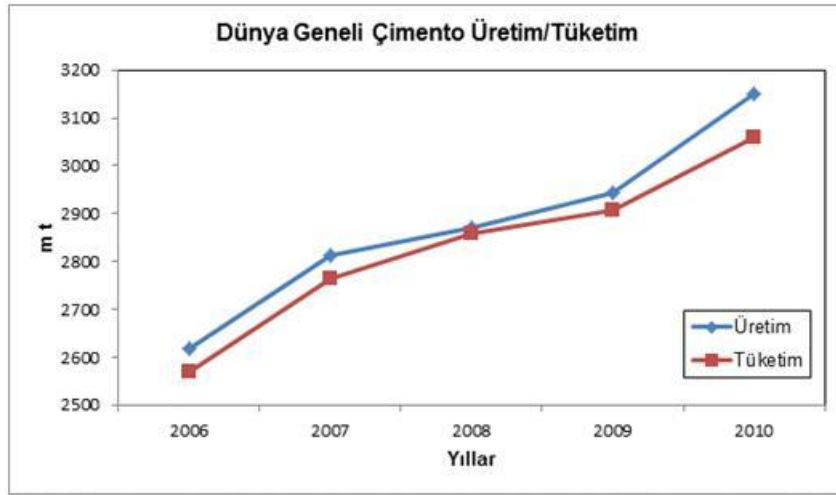
Bu gelişmelere rağmen 100 yıllık bir geçmişe sahip olan bilyalı değirmen havalı sınıflandırıcı kombinasyonu çimento öğütme prosesinde halen önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde kapalı devre bilyalı değirmenler birçok sebepten dolayı verimsiz olarak işletilmektedir. Verimsiz olarak işletilen bu sistemlerde nedenlerin tartışılması ve çözüm üretilmesi, ülkemizde bu proses için harcanan enerji miktarının da düşmesini sağlamaktadır.

Yürütülen bu tez çalışması kapsamında, bir tesiste aynı çimento kalitesinde (dayanım) ancak farklı özgül enerji tüketimlerinde üretim yapan 2 farklı öğütme devresinde, enerji harcamalarındaki farklılık ve bu farklılığın hangi sebeplerden kaynaklandığı araştırılmıştır. Bu kapsamda, devrelerde bulunan bilyalı değirmen ve havalı sınıflandırıcı performansları teknik veriler ve deneysel çalışmalar ışığında değerlendirilmiştir. Ayrıca devrelere ait akım şemasındaki farklılığın çimento kalitesine olan etkileri de tartışılmıştır.

Çalışmalar neticesinde, sonuçlar bölümünde de verildiği üzere, devre akım şeması ve ekipman işlem değerlerindeki farklılığın devre özgül enerji tüketiminde çok büyük farklılığa yol açtığı, dolayısıyla ekipmanların optimum işletilmesinin ve devre akım şemasındaki farklılıkların devre performansı açısından çok önemli olduğu anlaşılmaktadır.

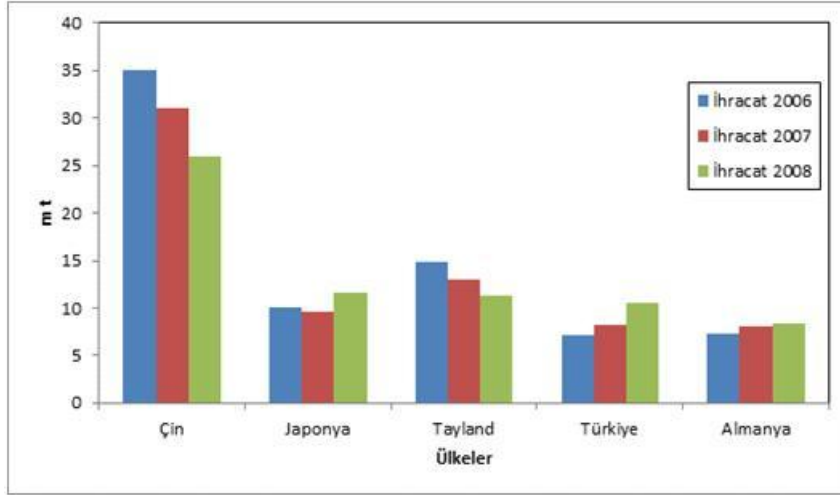
2. ÇİMENTO ÜRETİM PROSESİ

Çimento üretimi, enerjinin yoğun olarak kullanıldığı bir üretim sürecidir. Bu üretim süreci sonunda ise yapı malzemesi olarak kullanılan ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcı ticari bir ürün olarak sunulmaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyleri yapılan alt yapı yatırımları ile ilişkilendirilmiştir. Çimento bu alt yapı yatırımlarının en önemli yapı taşıdır. Aynı zamanda, çimento küresel piyasalarda da önemli bir yer almaktadır. Küresel çimento tüketimi, küresel piyasaların ekonomik düzeyinden oldukça etkilenmektedir. Çimento tüketimleri ülkelerin gelişmişlik düzeyleri ile orantılıdır. Gelişmekte olan ülkelerdeki alt yapı yatırımları nedeniyle kişi başı yıllık çimento tüketimleri de artmaktadır. Gelişmiş ve az gelişmiş ülkelerde ise kişi başı yıllık çimento tüketimleri göreceli olarak düşük olmaktadır.



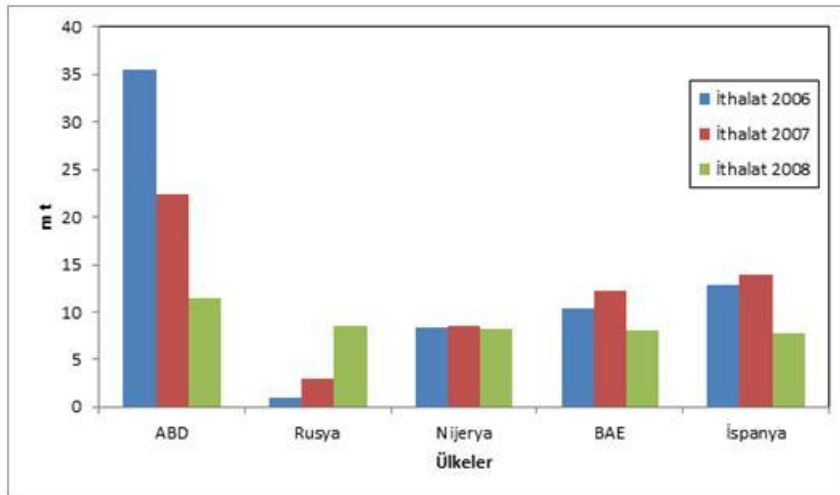
Şekil 2.1 Dünya geneli çimento üretim ve tüketim değerleri

Şekil 2.1’de görüleceği üzere yıllara göre çimento tüketiminde ve üretiminde artış gözlemlenmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde yıllık kişi başı çimento tüketiminin bir ton olduğu düşünüldüğünde, bu artışın önümüzdeki yıllarda da devam edeceği öngörülmektedir. Küresel piyasaların 2008 yılındaki krizinin çimento tüketimine etkisi de dünya geneli çimento üretim ve tüketim verilerinde görülmektedir. Tüketimdeki artış 2008 yılında düşüş göstermektedir. Dünya’nın önemli çimento ihracatçılarının yıllara göre ihracat figürleri Şekil 2.2’de grafiksel olarak gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Çimento ihracat verileri

Çimento ihracat verilerine göre Çin ve Tayland gibi önemli iki üreticinin, iç pazarının taleplerinin yüksek olması nedeniyle, son yıllarda ihracat değerlerinin göreceli olarak düştüğü gözlemlenmiştir.



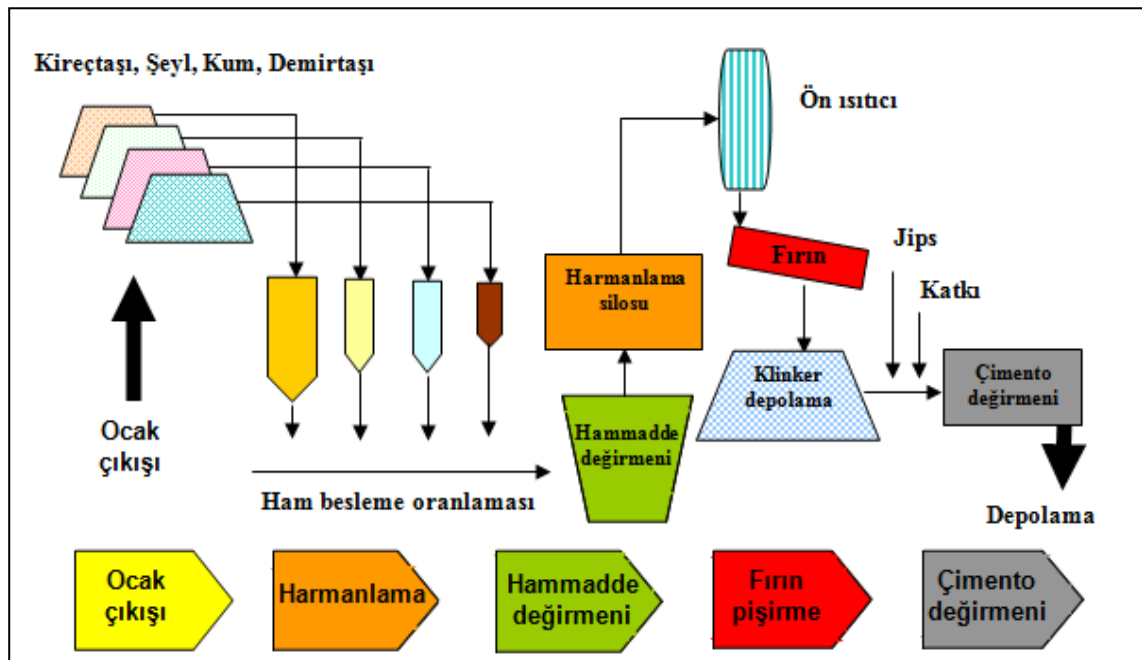
Şekil 2.3 Çimento ithalat verileri

Şekil 2.3'de dünya genelindeki en önemli çimento ve klinker ithalatçıları verilmektedir. Bu grafikten de anlaşılacağı üzere gelişmiş ülkelerin ithalat değerlerinin yıllar içinde azaldığı görülmektedir.

Veriler incelendiğinde, Türkiye'nin Avrupa'nın en önemli iki Dünya'nın en önemli altı çimento üreticisinden birisidir. Önümüzdeki yıllarda yeni projeler ve var olan tesislerin kapasite artırımları ile ülke bazında üretim kapasitesinin 55 milyon tonun üzerine çıkması beklenmektedir. Gelişmekte olan bir ülke olan Türkiye yaklaşık yıllık 43 milyon ton çimento tüketmektedir. 2008 yılındaki küresel krizden Türkiye

çimento endüstrisi oldukça etkilenmiştir. Tüketim değerlerindeki hızlı artış 2008 yılında yönünü ters çevirmiştir. Ekonomik olarak önemi yüksek olan çimentonun üretim aşamaları bu bölümde anlatılmaktadır.

Çimento üretimi, temel olarak hammaddelerin ocaklardan çıkarılıp, öğütülüp, hazırlanması; pişirme ve çimento öğütme aşamalarından oluşmaktadır. Bahsi geçen çimento üretim aşamaları Şekil 2.4'de verilen akım şeması ile gösterilmektedir (Manias et. al., 2001).



Şekil 2.4 Çimento üretim süreci

Çimento üretiminde kullanılan başlıca hammaddeler kalker ve kildir. Kalker, bileşiminde %90'a kadar kalsiyum karbonat bulunan kayalardır. Kalker doğada kalsit ve aragonit kristallerinden oluşmuş bir kayaç olarak ya da $Ca.Mg(CO_3)_2$ şeklinde 'dolomit' olarak da bulunmaktadır. Çimento üretiminde kullanılan kalkerler genellikle az miktarda opal, kalsedon, kuvars gibi silisyum dioksit bileşiklerini içermektedirler. (Yalçın ve Gürü, 2006).

Kil mineralleri ise alüminyum oksit, alüminyum silikat hidratlardan meydana gelmişlerdir. Bunlardan en önemli olanları kaolinit grubu kil mineralleri ($Al_2O_3.2 SiO_2.2H_2O$) ve montmorillonit grubu kil mineralleri ($Al_2O_3.4 SiO_2.H_2O+n H_2O$) dir. Doğada bulunan kalker ve kilin %50-70 oranında kalker + %30-50 oranında karışmış olarak bulunan kayalara marn olarak adlandırılmaktadır. Yeryüzünde yaygın olarak bulunduğu için çimento hammaddesi olarak sıklıkla kullanılmaktadır.

Çimento yapımında genellikle %70 kalker %30 kil içeren marnlı kalker kullanılmaktadır. Kalkerli marnın gevşek yapıda olması, işletme, öğütme ve pişirmede kolaylık sağlaması gibi nedenlerden dolayı avantajlı olmaktadır (Yalçın ve Gürü, 2006).

Kalker, klinker için gerekli olan kalsiyum oksit karşılarken, kil ise silisyum dioksit, alüminyum oksit ve demir oksit bileşenlerini karşılamaktadır. Kilin içeriğinin silisyum dioksit, alüminyum oksit, demir oksit bileşenlerinin bir ya da daha fazlasını karşılamada yetersiz kaldığı durumlarda ise karışımına gereken miktarlarda kuvars kumu, demir cevheri, alüminyum cevheri eklenebilmektedir (Yalçın ve Gürü, 2006).

Üretim prosesi, ocak çıkışı hammaddelerin kırıcılarda boyut küçültme işlemine tabi tutulması ile başlamaktadır. Kırılmış hammaddelerin öğütülmesinin ardından harmanlama işlemi ile malzemenin homojen olması sağlanmaktadır. Bu aşamadaki hammadde farin olarak adlandırılmaktadır. Öncelikle iyi pişmiş bir klinkerin elde edilmesi fırına beslenecek farinin yeterli incelikte ve homojenlikte olması gerekmektedir. Aksi halde pişme güçlüğü, kalitesiz klinker üretimi gibi istenmeyen durumlarla karşılaşılmaktadır. Farinin ince öğütülmesi, yüzey alanının arttırmaktadır, dolayısıyla fırın içinde gerçekleşen tepkimelerin gerçekleşmesinde olumlu bir katkıda bulunmaktadır

Döner fırınlarda 1450⁰C'ye kadar sıcaklıklarda pişme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu aşamada gerek duyulan ısı fırına alt ucundan alev borusundan fırına püskürtülen yakıt vasıtası ile sağlanmaktadır. Genel olarak, farinin döner fırına sevkinden önce, kalsinasyon üniteleri yer almaktadır. Döner fırınlarda sıcaklık ile gerçekleşen tepkimeler sonucunda yarı mamul olan klinker elde edilmektedir. Yüksek sıcaklığa sahip fırın çıkışı klinker soğutma ünitelerinde soğutma ünitelerine sevk edilmektedir.. Klinker özelliklerini ham karışım faktörleri (ham karışımın mineralojik ve kimyasal bileşimi, boyut dağılımı, akışkanlaştırıcı ve mineralizatörler gibi katkı maddeleri v.d.) ve fırın koşulları (fırın atmosferi, yakıt tipleri, sinterleme sıcaklığı ve süresi, ısıtma ve soğutma hızı, fırın sistemleri v.d.) etkilemektedir (Altun, 1999). Standart bir klinkerin kimyasal içeriği ve fazları sırasıyla Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'de verilmektedir.

Çizelge 2.1 Klinkerin kimyasal bileşimi (Ullmann's Handbook)

SiO ₂	19.7–24.3	(21.4)
Al ₂ O ₃	3.8–6.8	(5.5)
TiO ₂	0.2–0.5	(0.3)
P ₂ O ₅	0.02–0.3	(0.1)
Fe ₂ O ₃	1.3–4.6	(2.7)
Mn ₂ O ₃	0.03–0.7	(0.1)
CaO	63.8–70.1	(66.6)
MgO	0.0–4.5	(1.5)
SO ₃	0.2–2.1	(0.8)
K ₂ O	0.3–1.8	(0.9)
Na ₂ O	0.03–0.3	(0.1)
CO ₂	0.03–0.8	(0.1)
H ₂ O	0.04–1.1	(0.3)

Çizelge 2.2 Klinker fazları (Duda, 1985)

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	

Çimento üretiminde son aşama ise özellikleri verilen klinkerin öğütülmesidir. Öğütme işlemi sırasında çimentonun priz sürelerini ayarlayabilmek amacıyla, klinker %3 ile %5 arasında bir oranda tek veya daha fazla katkı maddesi ile birlikte öğütülmektedir. Eklenen tek katkı maddesinin alçıtaşı alçıtaşı olması durumunda üretilen çimento portland çimentosu olarak adlandırılmaktadır. Ancak, eğer öğütme işlemi sırasında klinker ve alçıtaşına belli miktarlarda başka katkı maddeleri de eklenerek farklı tiplerdeki katkı çimentolar elde edilmektedir.

Farklı amaçlar için üretilen imento türleri genel olarak aşağıdaki Şekilde sınıflandırılmaktadır.

- CEM I Portland imentosu
- CEM II Portland-Kompoze imento
- CEM III Yüksek Fırın Cüruflu imento
- CEM IV Puzolanlı imento
- CEM V Kompoze imento

Çizelge 2.3 Çimento türlerine ait bileşim değerleri (TS EN 197)

Ana Tipler	27 ürüne ait işaret (Genel Çimento Tipleri)		Bileşim (kütlece ^{a)} % olarak										Minor İlave Bileşen	
			Ana Bileşenler											
			Klinker K	Yüksek Fırın Curufu S	Silis Dumanı D ^{b)}	Puzolan		Uçucu Kül		Pısmış 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 I/A-S	80-94	6-20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-S	65-79	21-35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-Silis Dumanlı Çimento	CEM I/A-D	90-94	-	6 - 10	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-Puzolanlı Çimento	CEM I/A-P	80-94	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-P	65-79	-	-	21- 35	-	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-Q	80-94	-	-	-	6-20	-	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-Q	65-79	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	-	0-5
	Portland-Uçucu Küllü Çimento	CEM I/A-V	80-94	-	-	-	-	6 - 20	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-V	65-79	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	-	0-5
		CEM I/A-W	80-94	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
		CEM I/B-W	65-79	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	-	0-5
	Portland-Pısmış Şistli Çimento	CEM I/A-T	80-94	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	-	0-5
		CEM I/B-T	65-79	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	-	0-5
	Portland-Kalkerli Çimento	CEM I/A-L	80-94	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	-	0-5
		CEM I/B-L	65-79	-	-	-	-	-	-	-	21-35	-	-	0-5
		CEM I/A-LL	80-94	-	-	-	-	-	-	-	-	6-20	-	0-5
		CEM I/B-LL	65-79	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21 -35	0-5
	Portland-Kompoze Çimento ^{c)}	CEM I/A-M	80-94	←----- 6 - 20 -----→										0-5
CEM I/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 ilâve bileşenlerin toplamı ile ilgilidir.
b Silis dumanının oranı % 10'la sınırlanmıştır.
c Portland Kompoze çimento CEM I/A-M ve CEM I/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 işaretle beyan edilmelidir (Madde 8).

3. ÇİMENTO ÖĞÜTME PROSESİ

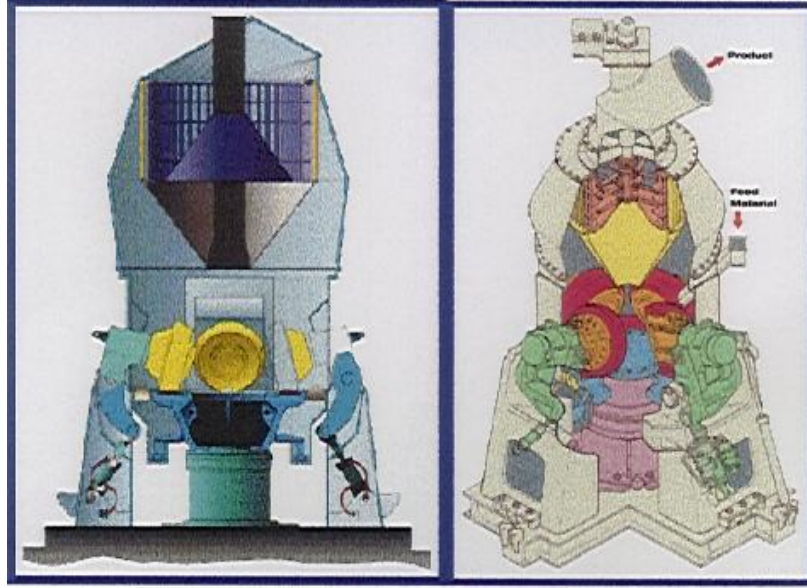
Çimento üretiminde harcanan enerjinin büyük bir bölümü öğütme işlemi için kullanılmaktadır. Üretilen çimentonun tipi ve incelik gereksinimlerine bağlı olarak enerji tüketimi 30-50 kWs/t çimento aralığında değişmektedir. Buna dayanarak öğütme devrelerinde enerji verimliliği önem kazanmakta ve yeni ekipman alternatifleri geliştirilmektedir. Enerji dışında öğütme sisteminin tasarlanmasında dikkate alınması gereken faktörler aşağıda sıralanmaktadır. Bunlar;

- Öğütme enerjisi
- Ürün kalite sürekliliği
- Test edilmiş & güvenilir ekipman
- Uygun işletme koşulları
- Değişik çimento tiplerine yatkınlık
- Düşük yatırım maliyeti
- Minimum sayıda ekipman olarak sayılabilmektedir.

Bu faktörler öğütme sistemlerinin birbirlerine göre avantajları ve dezavantajlarını tanımlamaktadır.

3.1. Dik Değirmenler

Çimento öğütmede, yeni uygulamalardan biri dik değirmenlerin kullanılmasıdır. Dik değirmenler ilk olarak Loesche firması tarafından kömür öğütme amacıyla geliştirilmiştir. Daha sonra diğer malzemelerin öğütülmesi için kullanılmıştır (Chatterjee, 1991). Dik değirmenler çimento, farın, kömür öğütmede kullanılmaktadır.



Şekil 3.1 Dik Değirmen

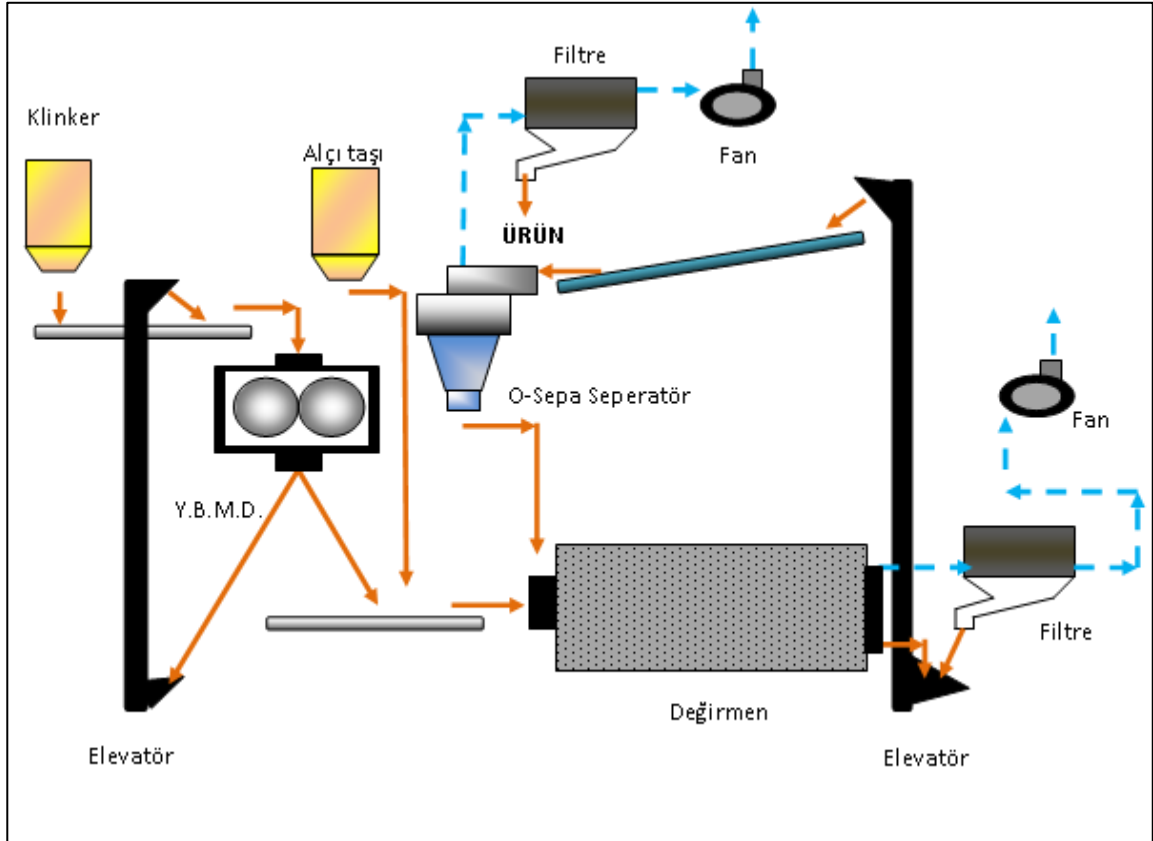
Şekil 3.1’de gösterilen dik değirmenlerde malzeme, dönen öğütme tablası üzerine değirmen yanından bir besleyici ile sevk edilmektedir. Öğütme tablası dişli bir hareket sistem ile düşey eksen etrafında döndürülmektedir. Tabla üzerine beslenen malzeme merkezkaç kuvveti etkisi ile tabla kenarına doğru savrulur ve tabla ile valsler arasında öğütülüp sıcak hava akışı ile seperatöre taşınmaktadır. Sıcak havanın etkisi ile malzeme neminden arındırılarak kurutulmakta ve bu özellik %22’ye kadar nem içeriğine sahip malzemelerin dik değirmenlerde öğütülebilmesine olanak vermektedir. Değirmende mevcut olan separatörün ayırdığı iri boyuttaki taneler tekrar öğütme tablasına geri dönerken, öğütülmüş malzeme de öğütme devresinden alınmaktadır. (Yıldız, 2010)

Dik değirmenlerin; öğütme performansı, katkılar (kalker + tras) ile çimento kalitesinde değişiklik olmaması, kurutma kapasitesi, ses seviyesi ve cürufun çimento ile öğütülmesinin sağlanabilmesi gibi avantajları bulunmaktadır. Fakat yüksek aşınma oranı, kimyasal katkı kullanılmaması, incelik sınırlaması gibi dezavantajları göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Konvansiyonel bilyalı değirmenler ile karşılaştırılırsa, dik değirmenlerin enerji sarfiyatı aynı kapasitede bir bilyalı değirmenin enerji sarfiyatının yaklaşık %75’i kadar olmaktadır.

3.2. Yüksek Basıncılı Merdaneli Değirmenler

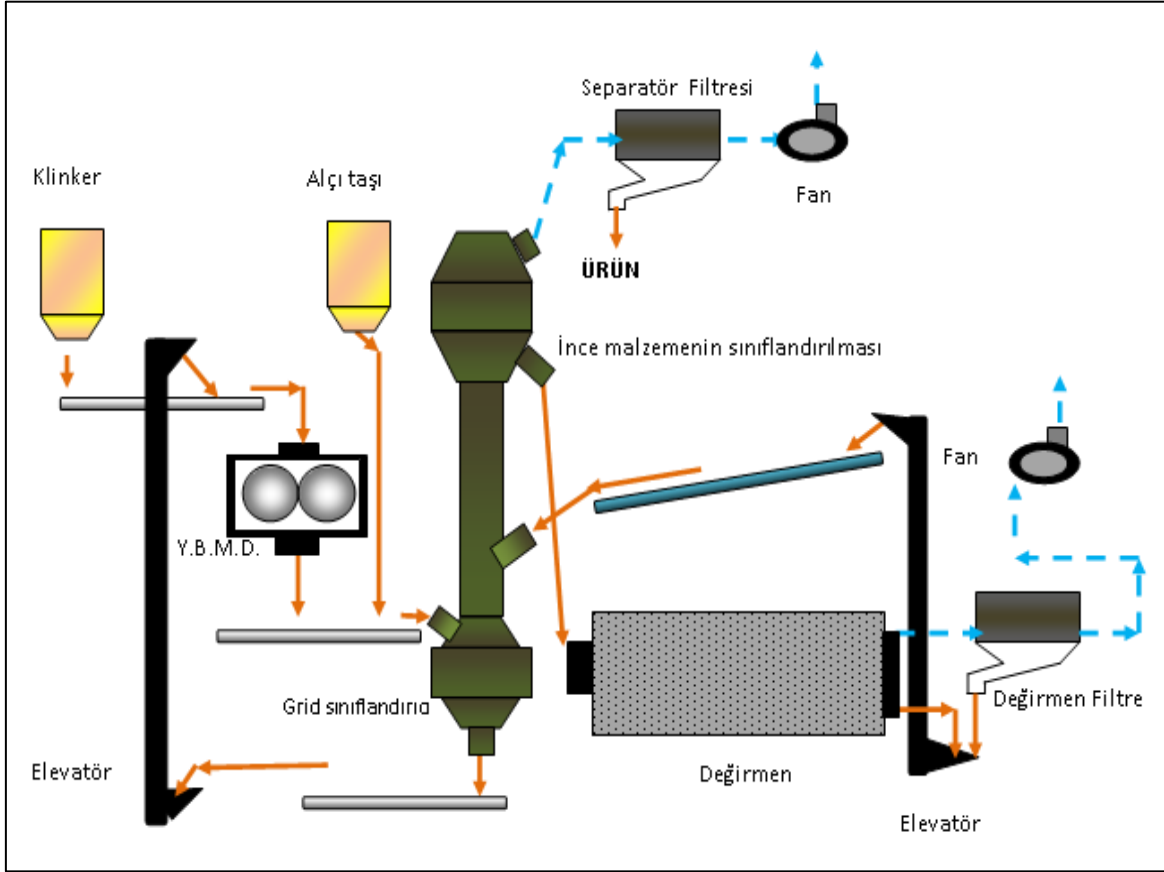
Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerin 1985 yılındaki ilk ticari uygulaması başarılı olup uygulamaları özellikle çimento endüstrisinde artış göstermiştir (Kellerwessel, 1996). Bu ekipmanlar biri sabit olmak üzere iki adet ters yönde hareket eden merdanelerden meydana gelmektedirler. Hareketli merdane ise basınç uygulamaktadır. Kırma işlemi ise merdanelerden geçen malzeme üzerine 50 MPa' yı aşan bir basınç uygulanması ile gerçekleşmektedir. Bu kuvvetin etkisi ile rulolar arasında kalan malzeme ezilerek ruloları ince, yassılaştırmış olarak terk etmektedir.

Yüksek basınçlı merdaneler değirmenlerin kullanıldığı farklı devre tasarımlarında yer alabilmektedir. Bu değirmenlerin ön öğütücü olarak mevcut bilyalı değirmenlerin önünde kullanılması önemli kapasite artışları ve enerji tasarrufu sağlamaktadır (Şekil 3.2)



Şekil 3.2. Yüksek basınçlı merdaneli değirmenlerin ön öğütme amaçlı kullanılışı

Yüksek basınçlı merdaneleri değirmenin ve bilyalı değirmenin arasına separatör kullanılması durumunda bu kalibrasyona yarı-son öğütme denilmektedir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Yarı-son öğütme sistemi

Yüksek basınçlı merdaneleri değirmenlerin tek başına (bilyalı değirmen olmaksızın) kullanılması son öğütme olarak tanımlanmaktadır. Özetle değişik uygulamaları var olan yüksek basınçlı merdaneleri değirmenlerin, yüksek kapasite ve daha düşük enerji tüketimi gibi avantajlarının yanında merdanelerin aşınma problemleri, öğütülen malzemenin tane büyüklüğü, rutubeti ve sıcaklığı gibi sınırlamalar dezavantajları olarak tanımlanabilmektedir.

3.3. Yatay Merdaneli Değirmenler (HOROMILL)

Çimento öğütme teknolojisinde en son gelişmelerden biri de yatay merdaneli değirmenler (Horo Mill)'dir. 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. Tasarım olarak içinde tek

bir röle bulunan ve kendi yatay ekseninde dönen silindirik kovan ilkesi uygulanmıştır. İşletmedeki en önemli zorluk ise merkezkaç kuvvetin önemli bir rol oynadığı malzeme geri dönüşünün denetlenmesidir.

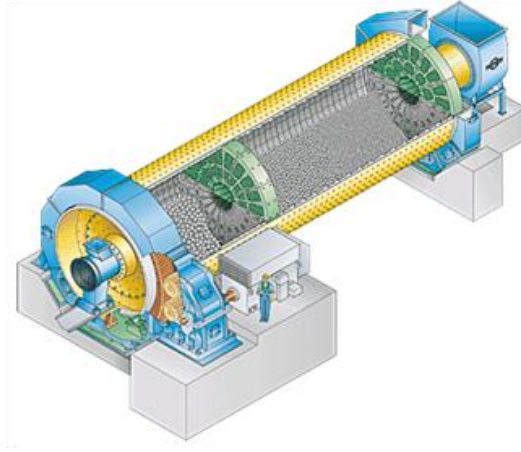
Son on yıl içinde test edilmeye başlanan bu yeni öğütücünün en önemli avantajı öğütme performansıdır. Fakat avantajının yanında yeni bir teknoloji olması nedeniyle, yüksek sirkülasyon yükü, giriş rutubetinde sınırlama, düşük değirmen havalandırması, yüksek kalitede çimento üretimde karşılaşılan sınırlamalar (>4000 cm²/gr) gibi dezavantajları bulunmaktadır.

3.4. Bilyalı Değirmenler

Bilyalı değirmenler; çimento öğütme, farin öğütme ve kömür öğütmede kullanılmaktadırlar. Öğütücü ortam olarak bilya ve/veya silpebs kullanılmaktadır. Çimento öğütme devrelerinde kullanılan kuru bilyalı değirmenler genellikle tüp değirmenlerdir. Tüp değirmenlerin boy-çap oranı 3 ile 5 arasında değişmektedir. Bu değirmenler öğütme kamaralarının sayısı, ürün çıkış sistemi ve öğütme işleminin (kuru/yaş) gibi çeşitli kriterlere göre sınıflandırılmaktadır (Labahn, v.d. 1983).

Tüp değirmenler kullanış şekillerine göre tek ve çok kamaralı olarak kullanılabilirlerdir. Kamaralar birbirleri ile elek görevi gören ızgara ile ayrılmışlardır. Her kamarada farklı koşullar sağlanabilmektedir. Bu durum, farklı öğütme işlemi yapan bilyalı değirmenlerin seri olarak bağlanmasına eşdeğer bir işlev yaratmaktadır. Kamaralı değirmenler özellikle ince öğütme ihtiyaç duyulan kuru öğütme işlemlerinde kullanılmaktadır.

Genellikle iki kamaralı bilyalı değirmenler tercih edilmektedir. İki kamaralı bilyalı değirmenin genel görünüşü Şekil 3.4'de gösterilmektedir. Birinci kamarada iri öğütme meydana gelmektedir. Bu nedenle bu kamarada bilya boyları iri malzemeyi kırabilmek amacıyla büyük olmaktadır. İkinci kamaraya ise gelen malzeme ince olduğundan dolayı ince öğütme gerçekleştirilmekte ve bilya boyu 1.kamaraya oranla küçük olmaktadır.



Şekil 3.4 İki kamaralı bilyalı değirmen

Bilyalı değirmenler genellikle, öğütme verimini arttırmak amacıyla havalı sınıflandırıcılar ile kapalı devre olarak çalıştırılmaktadır.

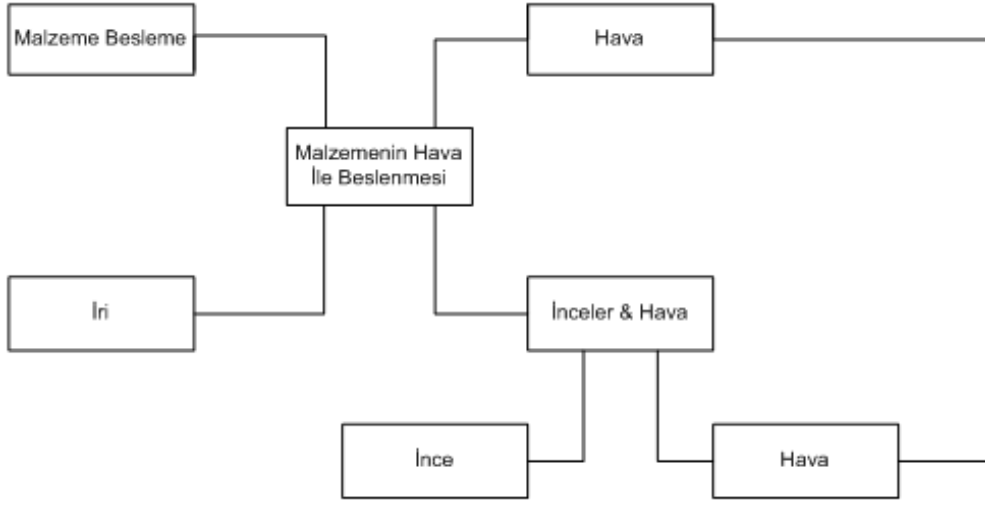
3.5. Havalı Sınıflandırıcılar

Havalı sınıflandırma, farklı boylara sahip tanelerden meydana gelen kuru karışımın, ayırım boyutu genellikle 2 mm ve daha az olan ekipman içerisinde boyutlandırılması ve gruplandırılması işlemidir (Anonim, 2004). Uygulamalardaki temel amaç ürün kalitesindeki malzemenin devreyi terk etmesini sağlamak ve aşırı öğütmeyi engellemektir.

Havalı sınıflandırıcılar ilaç, gıda, boya, mineral ve çimento endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Uygulamanın tipine ve istenilen ürüne bağlı olarak farklı devre çeşitleri tercih edilmektedir (Duda, 1985)

Çimento ve mineral endüstrilerinde karşılaşılan genel uygulama tipinde, havalı sınıflandırıcılar bilyalı değirmen ile kapalı devre işletilmektedirler. Bu endüstrilerde öğütme ve sınıflama işlemleri ayrı ekipmanlarda gerçekleştirilebileceği gibi dik değirmenlerin adapte edilmesi ile tek bir çatı altında da toplanabilmektedir (Altun, 2007)

Havalı sınıflandırıcılar temel olarak beslenen malzemeyi iri ve ince ürün olarak gruplandırmaktadırlar. Bu işlem malzemenin beslenmesi, sınıflandırılması ve son ürünün alınması olmak üzere üç aşamada gerçekleşmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Havalı sınıflandırıcıların ayırım mekanizmaları

İlk aşamada ayırım işlemine maruz kalacak olan malzeme hava ile birlikte ekipmanda separasyon bölgesine beslenmektedir. Bu bölgede taneler, iri taneler, ince tanelerden ve havadan, yerçekimi, merkezkaç ve eylemsizlik kuvvetlerine karşılık gelen sürtünme kuvveti yardımıyla ayrılmaktadırlar. Taneler üzerinde etkili olan bu kuvvetler tane boyu ile doğru orantılıdır. Yerçekimi kuvveti tanelerin çapının küpü ile doğru orantılıdır. Dolayısıyla eğer taneler yeterince inceyse yerçekimi kuvvetinin etkisi azalmakta ve hava akımı yardımı ile taşınmaktadırlar. Eğer kuvvetler arası eşitlik söz konusu ise taneler denge durumunda kalmakta ve bu koşuldaki tane boyu kesme boyu olarak adlandırılmaktadır. Ayırma işlemi de d_{50} olarak adlandırılan bu değer ile kontrol edilmekte ve bu boydan daha büyük tane boyuna sahip taneler iri üründe toplanırken, daha düşük tane boyuna sahip taneler ince ürün olarak alınmaktadır. Son aşamada ise, hava ile taşınan ince taneler siklon ya da filtreler aracılığı ile çöktürülürken, hava sisteme tekrar geri kazandırılmaktadır.

Bugüne kadar birçok havalı sınıflandırıcı dizaynı geliştirilmiştir. Üretilen her ekipmanın çalışma prensibi ve teknik özellikleri farklı olduğundan, sınıflandırılması istenen farklı özelliklerdeki besleme malzemeleri için evrensel bir sınıflandırıcı dizaynı önerilememektedir.

Havalı sınıflandırıcılar, yapılarına, besleme sistemlerine ve beraber işletildikleri ekipmanlara göre farklılık göstermektedir (Duda,1985).

Temelde havalı sınıflandırıcılar mekanik özelliklerine göre statik ve dinamik sınıflandırıcılar olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır.

Statik sınıflandırıcılarda hareketli parçalar bulunmamakta olup ayırım, havanın yönü ve şiddetinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Genellikle hava emişli değirmenlerin çıkışına yerleştirilen bu sınıflandırıcılar grit sınıflandırıcılar olarak da tanımlanabilmektedir (Altun, 2007).

Malzeme içerikli hava sınıflandırıcıya alt bölmeden beslenmekte ve iç konik bölmeye doğru yol almaktadır. Hava ve malzeme karışımı iç konik bölmeye girerken dairesel hareket veren ayarlanabilir kanatlardan geçmektedir. Ekipman içerisinde ayarlanabilir kanatlar dışında hareketli parça bulunmamaktadır. Ayarlanabilir kanatların açısına göre taneler üzerine etkiyen merkezkaç kuvveti de farklılık göstermekte ve sonuç olarak sınıflandırıcı geri dönüşü doğrudan etkilenmektedir. Açının artırılması durumunda merkezkaç kuvvetinin etkisi artacağından daha ince ürün elde etmek mümkün olmaktadır. Buna karşılık geri dönüş miktarı artış göstermektedir (Knoflicek, 2004).

Dinamik sınıflandırıcılar temelde dağıtıcı ve ayırıcı görevi gören rotor ile ekipmana hava sağlayan dahili veya harici fanndan oluşmaktadır (Duda, 1985). Bu sınıflandırıcılarda da ayırım, gelen malzemenin işletim parametreleri ile iri ve ince malzeme içerikli iki ayrı akışa bölünmesi ile gerçekleşmektedir. Dinamik sınıflandırıcılar enerji tüketimlerine göre birinci, ikinci ve üçüncü nesil olarak gruplandırılmaktadırlar.

4. KAPALI DEVRE BİLYALI DEĞİRMENLERDE PERFORMANS VE KALİTEYİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

Öğütme devrelerinin performansının ölçülmesi ve devrede yer alan ekipmanların performanslarının izlenmesi işletme performansını arttıran önemli etkenlerden biridir. Devrede meydana gelen ani performans değişimlerinin zamanında tespiti ve bunlara zamanında müdahale, koruyucu bakıma yardımcı olmak gibi nedenlerden dolayı devre performanslarının belirli zaman aralıklarında izlenmesi gerekmektedir.

Çimento sanayide bilyalı değirmen öğütme sistemlerine etki eden çeşitli faktörler vardır (Gouda, 1981). Bu faktörler;

- Kritik hız
- Bilya çapı ve miktarı
- Astar tasarımı
- Izgara tipi
- Değirmen havalandırma hızı
- Değirmen basınç düşmesi
- Değirmen motor gücü
- Öğütme sistemi
- Aşınma
- Besleme tane boyu
- Besleme malzemesinin öğütülebilirliği
- Beslemenin nem içeriğidir.

Sıralan faktörlere bakıldığında devre performansı üzerinde değirmen ve sınıflandırıcı işletme, tasarım değişkenleri ile malzeme özelliklerinin etkili olduğu anlaşılmaktadır.

4.1. Değirmenlerde Performans Üzerine Etkili Olan Parametreler

4.1.1. Bilya Boyu

Bilyalı değirmenler için verimliliği etkileyen en önemli işletme parametresi öğütücü ortam boyudur ve bu boyun belirlenmesine yönelik olarak halen kullanılmakta olan ampirik yaklaşım F.C. Bond tarafından geliştirilmiştir (Bond, 1960). Bu yaklaşım kullanılarak değirmen içerisinde kullanılması gereken maksimum bilya boyu başarıyla belirlenebilmektedir. Yapılan çalışmalarda ince bilyaların ince öğütmede iri bilyaların ise iri öğütmelerde kullanılmaları gerektiği belirlenmiştir (Austin v.d., 1984). Ancak değirmen içerisindeki bilya boyu dağılımının belirlenmesine yönelik kanıtlanmış bir yaklaşım bulunmamaktadır. Uygulamada değirmen üretici firmalar tarafından değirmen boyunca bilya dağılımının belirlenebilmesine yönelik teorik yaklaşımlar bulunmaktadır. Bu yaklaşımların temelinde iki ilke yatmaktadır.

- Öğütme işleminde, ince üretimi değirmen boyunca üssel bir davranımla artış göstermektedir, bu nedenle bilya dağılımında aynı ilke takip edilmelidir.
- Boyut küçültme işlemi taneler inceldikçe zorlaşmaktadır. Bu nedenle ince fraksiyonlar için fazla sayıda bilya kullanmak gerekmektedir

Yukarıda da özetlendiği üzere bilya boyu dağılımının belirlenmesinin teorik yaklaşımdan kurtarılıp değişen koşullar için en uygun bilya dağılımının belirlenebilmesi için en etkili yöntem farklı bilya boyu dağılımları için kırılma hızlarının belirlenmesidir. Bu amaçla devre etrafından ve değirmen içerisinden alınan numunelerin boyut analizleri kullanılmaktadır. Elde edilen sonuçlar farklı dağılıma sahip bilya boylarının değirmen içerisinde farklı kırılma hızları verdiklerini göstermektedir. Yapılan çalışmalar ile bilya boyu dağılımı ile kırılma hızı değişimi arasında bir ilişki kurulmaktadır ve elde edilen veriler kullanılarak simülasyon çalışmaları ile besleme tane boyu dağılımına bağlı olarak uygun bilya boyu dağılımı belirlenebilmektedir.

4.1.2. Ara Bölme Izgarası Tasarımı

Değirmenler içerisinde iki kamara arasında kullanılmakta olan ara bölme izgaralarının ana işlevi iki farklı kamarada yer alan bilya dağılımlarının birbirlerine karışmalarını engellemektir. Ancak uygulamaların pek çoğunda ara bölme izgarasında bir sınıflandırma meydana gelmektedir ve ikinci kamaraya geçmesi gereken malzemeler birinci kamarada kalmaktadır (Özer v.d. 2002). Ara bölme izgarasının seçimi yapılırken kırılma ve taşınma hızına bağlı olarak en uygun açık alan yüzdesine sahip uygun tasarımı izgaranın kullanılması gerekmektedir. Bu sayede değirmen içerisinde malzeme taşınımı kesintisiz sürdürülebilirken ikinci kamarada yer alan bilya boyu dağılımına uygun besleme malzemesi de hazırlanabilmektedir.

4.1.3. Hava Hızı

Değirmen içerisinden geçirilmekte olan havanın üç farklı kullanım amacı bulunmaktadır.

- Yeterli inceliğe ulaşmış taneciklerin anında değirmen içerisinden uzaklaştırılması
- Çimentonun değirmen içerisinde soğutulması
- Hammadde ve/veya katkılardaki nemin uçurulmasıdır.

Değirmen içerisinde hava akışı, hava hızı(m/s) ile ifade edilmektedir. Kapalı devre öğütme sistemlerinde hava hızı 1-1.5 m/s, açık devre öğütme sistemlerinde ise 0.6-1 m/s arasında değişmektedir (Duda, 1985).

Çimento tesislerinde kullanılan bilyalı değirmenler içerisinde havalandırmanın sağlanabilmesi amacıyla emiş yapılan havanın taşıdığı malzeme miktarı kütle denkliliği çalışmaları ile belirlenebilmektedir. Farklı çimento öğütme devrelerinden elde edilen bulgular etkili bir havalandırmanın sağlandığı koşulda değirmen besleme miktarının (taze besleme + devreden yük) %7.5-10'unun hava ile taşınan akışta yer aldığını göstermektedir. Etkili havalandırma ile değirmende taşınma hızı maksimize edilmektedir. Yetersiz havalandırma koşullarında değirmen içerisinde çoğunlukla kırılma hızını düşüren yastıklanma etkisine sebep olabilecek bir birikme ile karşılaşılabilir. Bu etki ile bilya tarafından taneciğe aktarılan

darbe etkisi azaldığından öğütme kinetiğinde önemli azalmalar gözlemlenmektedir (Austin v.d., 1984).

Değirmenden hava ile taşınan malzemeler uygulamalarda ya ürün silosuna yada separatör beslemesine verilmektedir. Bu malzemelerin ürün silosuna gönderildiği durumda genellikle separatör incesinden alınan dağılım ile tane boyu karşılaştırması yapılmaktadır. Ancak bazı uygulamalarda üretilen ürün tipine bağlı olarak hava ile taşınan malzemeler boyut dağılımı olarak ürün özelliklerini karşılamasına rağmen dayanım kalite kriterleri gereği yeterli performansı sağlayamamaktadır. Özellikle kalker katkılı çimento öğütülmesinde kalkerin klinkere nazaran daha yüksek bir kırılma hızına sahip olması nedeniyle hava akımındaki tanelerin oransal olarak ağırlığı kalker şeklinde olmaktadır. Böyle bir durumda elde edilen bu ürünün çıkış silosuna sevk edilmesi kalitenin bozulmasına neden olabilmektedir.

4.1.4. Astar Tasarımı

Değirmen içerisinde çok farklı tasarıma sahip astar plakalar kullanılmaktadır. Yaratılmak istenilen kırma mekanizmasına (darbe veya aşınma) bağlı olarak uygulamada farklı tasarımlar kullanılmaktadır. Farklı tasarımdaki astar plakalar kullanıldıkları yere göre etkin öğütme koşulları yaratabilmektedirler. Sınıflandırıcı astarlar gibi bazı özel astar plaka uygulamaları ile %7-10'lara varan kapasite artışları olduğu üretici firmalar tarafından bildirilmektedir. Halihazırda birçok tesiste uygulama alanı bulmuş olan sınıflandırıcı astar uygulaması ile değirmenin giriş ucunda iri bilyalar, çıkış ucunda ise ince bilyalar yer almaktadır. Sınıflandırıcı astar kullanımı ile iri bilyalar değirmenin giriş ucunda yer almakta ince öğütme için gerekli bilyalar da çıkış ucunda ağırlık kazanmaktadır. Bu uygulama sayesinde değirmenin içerisinde iki farklı kırılma hızının elde edildiği iki farklı bölge oluşmaktadır. Bu etki nedeniyle performans olumlu olarak etkilenmekte ve değirmen içerisinde istenilen öğütme inceliğine ulaşılabildiği görülmektedir. Ayrıca değirmen içerisinde farklı bölgelerde bilya kontrolü astarlar vasıtasıyla yapıldığı için taşınma hızına olumsuz etki edebilecek ara bölme ızgarası gibi bir ekipmana ihtiyaç duyulmamaktadır. Ancak bu astar tipi uygulamasının yapılabilmesi ve etkili bir sonuç için kullanılan bilya boyu dağılımının sınıflandırma yapılabilecek şekilde geniş bir aralıkta olması gerekmektedir.

4.2. Havalı Sınıflandırıcılarda Performans Üzerine Etkili Olan Parametreler

4.2.1. Kesme Boyu

Kesme boyu, sınıflandırıcı içerisinde taneler üzerine etkiyen kuvvetlerin dengede olduğu koşuldaki tane boyunu ifade etmektedir. Bu boya sahip tanelerin iri ya da ince ürüne gitme olasılıkları birbirine eşittir.

Her sınıflandırıcı, sınıflandırma işlemini sahip oldukları performans eğrisine göre yapmaktadır. Dolayısı ile ekipmanın kesme boyunda yapılacak olan bir değişiklik, verimliliğe direk olarak etki etmektedir (Anonim, 2004).

Havalı sınıflandırıcılarda kesme boyu işlem parametreleri ile ayarlanabilmektedir. Statik sınıflandırıcılarda kesme boyu havanın şiddeti ve yönünün ayarlanması ile değiştirilebilir. Dinamik sınıflandırıcılar ise daha esnek bir operasyon sağlamaktadır. Kesme boyu hava hızı, rotor hızının değiştirilmesi ile ayarlanabilmektedir. Ancak araştırmalar sınıflandırıcıların maksimum hava hızında işletilmesinin kaçak miktarını azalttığını (Altun, 2010) dolayısıyla inceliğin rotor hızı ile ayarlanmasının performans açısından daha verimli olduğunu göstermektedir.

4.2.2. Hava Akımı İçerisinde Tanelerin Davranımı

Havalı sınıflandırıcılar taneleri, kesit alanına bağlı olarak sınıflama gerçekleştiren elek sistemlerinden farklı olarak, hava akımı içerisinde sergilemiş oldukları çökme hızlarındaki farklılıktan yararlanarak sınıflamaktadırlar. Yapılan deneysel çalışmalar, havalı sınıflandırıcılardaki bu farklılığı desteklemektedir (Anonim, 2004).

- Yoğunluktaki değişim tanelerin çökme hızlarına doğrudan etki etmektedir. Akışkan içerisinde, 2 g/cm³ yoğunluğa sahip 74 µm'lik tane ile 4 g/cm³ yoğunluğa sahip 53 µm'lik tane aynı davranışı sergilemektedir.
- Uçucu kül gibi gözenekli tanelere sahip malzemeler, sınıflandırılacak olan malzemelerin yoğunluklarına, dolayısıyla çökme hızlarına etki etmektedir.
- Tanelerin şekli küresellikten uzaklaştıkça, yüzey alanındaki değişkenlikten dolayı, hava akımının tane üzerine etkisi her noktada aynı olmamaktadır. Örneğin, uzunluğu, kalınlığının altı katı olan yapraksı bir mika tanesi düşünüldüğünde, ortalama çapına bakıldığında iri üründe alınması gerekirken, yapraksı yapısından dolayı hava ile birlikte taşınıp ince üründen alınabilmektedirler.

4.2.3. Malzemenin Topaklanma Eğilimi

Topaklanma, ince tanelerin birleşerek 125 µm'den büyük tane boyuna sahip bir küme ya da topak oluşturması olarak tanımlanmaktadır. Sınıflandırıcılara beslenen malzeme topluluğunda, 10 µm tane boyunun altındaki malzeme miktarındaki artış, tanelerin topaklanma eğilimini de arttırmaktadır. Dolayısı ile beslemenin akışkanlık karakteristiği de zayıflamaktadır. Sonuç olarak sınıflandırıcı beslemesindeki tane boyu dağılımı da değişmektedir (Richardson, 2002). Bu değişim sınıflandırıcı performansı üzerinde olumsuz etki yapmaktadır.

Taneler arası topaklanma, ikili etkileşim serisi sonucu oluşmaktadır. Buna göre i ve j taneleri için topaklanma hızı Eşitlik 1'de ifade edilmektedir (Refstrup, 1992).

$$K_{ij} * E_{ij} * n_i * n_j \dots\dots\dots(1)$$

Eşitlikte;

K_{ij} , çarpışma sıklığı sabitidir.

E_{ij} , çarpışma verimliliğidir (yapışma olasılığı). Malzeme topluluğunun kimyasal bileşimi ve tanelerin yapışmasını etkileyen nem içeriği ile belirlenen bir parametredir.

n_i ve n_j ise iki malzemenin ayrı ayrı konsantrasyonlarını ifade etmektedir.

Topaklanmaya neden olan etkenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Richardson, 2002),

- Nem Miktarı: Öğütülen malzeme içerisindeki nemin topaklanma üzerine iki etkisi vardır. İlk olarak taneler arası yüzey gerilimini arttırarak, tanelerin birleşmelerine neden olması, ikincil olarak da bir miktar katının çözünmesine neden olup bağlayıcı eleman gibi davranmalarını sağlaması.
- Yüzey Çekimi: Van der Waals gibi yüzey kuvvetleri 10 µm'nin altındaki taneler için artış göstermekte ve sonuç olarak birleşme eğilimini arttırmaktadır.
- Elektrostatik Çekim: Ekipmana beslenen tanelerin yüklü olmaları tanelerin kuvvetler aracılığı ile birleşip topaklanmalarına neden olur.

4.2.4. Gaz Akışının Viskozitesi

Havalı sınıflandırıcılar ısıtılmış, soğutulmuş hava ile ya da nitrojen gibi havadan farklı viskoziteye sahip diğer gazlarla işletilebilmektedirler. Farklı gazların viskozitelerinin de farklı olması, taneler üzerinde yarattıkları sürtünme kuvvetlerinin de değişmesine neden olmaktadır. Dolayısı ile farklı gazlar kullanan ekipmanlarda aynı kesme boyunu ayarlamak için taneler üzerine etki eden yerçekimsel, eylemsizlik ve merkezkaç kuvvetlerinin de aynı oranda değiştirilmesi gerekmektedir (Anonim, 2004).

4.2.5. Yüzey Alanı

Birim hacimde bulunan tane sayısı, sınıflandırıcı kapasitesinin belirlenmesinde önemli bir etkidir. Sınıflandırıcılara daha ince taneli malzeme beslendiğinde, aynı hacimde daha fazla tane bulunacağından sınıflandırıcının verimi olumsuz yönde etkilenecektir.

Öğütülen malzemenin heterojen bir yapıya sahip olmasından dolayı yüzey alanı ölçümünde tane sayımı kullanılmamakta, belirli bir akış için yüzey alanı ölçümü yaygın olarak Blaine testi ile elde edilen değer ile ifade edilmektedir.

4.3. Malzeme Özelliklerinin Performans Üzerine Etkileri

4.3.1. Besleme Tane Boyu Dağılımı

Çimento öğütme devrelerinde gerek fırın koşullardaki değişime gerekse de farklı tipteki çimento üretimine bağlı olarak çok farklı boyut dağılımına sahip malzemeler devreye besleme olarak verilmektedir. Sistem içerisinde beslemeden ürün kademesine kadar olan aşamalardaki gözlenen tane boyu dağılımları bu iki eğrinin arasında kalmaktadır. Öğütme devrelerinin performanslarının belirlenebilmesi için izlenecek en önemli analitik yöntem tane boyu dağılımlarının belirlenmesidir. Tane boyu dağılımlarının belirlenmesi ile birlikte devre etrafındaki madde denkleğinin sağlanarak performansların değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.

Tane boyu dağılımlarının belirlenebilmesi amacıyla pek çok teknik bulunmaktadır. Bu yöntemlerden en önemlisi eleme yöntemidir. Ancak tipik bir çimento öğütme devresinde malzemenin büyük bir kısmının ince fraksiyonlarda olması nedeniyle (üründe % 90'ı 40 mikronun altında) elek analizi dışındaki tekniklere de ihtiyaç

duyulmaktadır. Pek çok uygulamada elek analizi ile diğer tekniklerin birleşimi kullanılmaktadır.

4.3.2. Besleme Malzemesinin Kırılma Özelliği

Malzemelerin belirli bir darbe yüklemesi sonucunda kırıldıktan sonra alt tane boylarına gösterdikleri karakteristik dağılım kırılma dağılım fonksiyonu olarak ifade edilmektedir. Kırılma dağılım fonksiyonunun belirlenmesinde farklı yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerden ağırlık düşürme test yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kırılma dağılım fonksiyonunun belirlenmesi modelleme çalışması sırasında kırılma hızı, taşınma hızı gibi parametrelerin hesaplanmasında veri girişi sağlamakla birlikte örnekleme çalışmalarında değirmen içerisinde gözlenmekte olan bazı öğütme problemlerinin açıklanmasına da yardımcı olmaktadır.

4.3.3. Öğütülebilirlik

Öğütülebilirlik, malzemenin ufalamaya karşı direnci olarak tanımlanmaktadır (Taggart, 1945). Öğütülebilirlik değerinin belirlenmesi için çeşitli test yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar klinker öğütülebilirliği için Bond İş İndeksi, Zeissel Yöntemi, PM-VTI Yöntemi, F.L.Smidth yöntemleridir (Aksarı, 1990). Yaygın olarak kullanılan yöntem ise Bond öğütülebilirlik testidir (Bond 1960). Literatürde sonsuz büyüklükteki bir malzemenin %80' inin 100 mikronun altına geçmesi için gerekli enerji olarak tanımlanan Bond iş indeksi, aynı zamanda malzemenin kırılmaya ve öğütülmeye karşı olan direncini göstermektedir. Bond iş indeksi değerinin yüksek olması, malzemenin öğütülmeye karşı direncinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

4.4. Kaliteyi Etkileyen Parametreler

Kapalı devre öğütme sistemlerinde çimento kalitesi dayanım bazında değerlendirilmekte ve hammadde kimyasal analizine, klinker dayanımına, ürün dağılımının yatıklığına, ürünün yüzey alanına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Dayanım, çimento yüzey alanının artmasıyla artmakta ancak etkisinin erken dayanım üzerinde daha etkili olduğu belirtilmektedir (Kuhlmann v.d., 1985).

Troxell, G.E., 1968 tarafından yüzey alanında %1'lik bir artışın 7 günlük dayanımda %2'lik artışa ve 28 günde %1'lik artışa neden olduğu belirtilmiştir.

Aynı yüzey alanına sahip çimentonun, boyut dağılımlarının farklı olabileceği düşünüldüğünde, özgül yüzey alanı ile incelik arasında net bir ilişki olmayabileceği anlaşılmaktadır. Ortalama tane boyu iri olan yatık bir dağılım ile ortalama tane boyu düşük olan dar bir dağılım aynı değere sahip olabilmektedir. Locher, F.W., v.d. 1976, tarafından yürütülen çalışmalarda 0-3 µm fraksiyonunun 1 günlük dayanım üzerinde, 3-25 µm fraksiyonunun ise 90 günlük dayanımda etkili olduğu belirtilmiştir.

Farklı boyut dağılımı fraksiyonlarının karıştırılması sonucu yapılan dayanım testleri 0-3 µm fraksiyonunun artması ile erken dayanımın arttığı anlaşılmıştır. Aynı şekilde 3-25 µm fraksiyonunun artması ile 28 günlük dayanımın da arttığı anlaşılmıştır (Kuhlmann v.d., 1985).

Kuhlmann et.al (1985), tane boyu dağılım eğimi, yüzey alanı ve hidrasyon oranı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, farklı Blaine değerlerinde yapılan çalışmalar, boyut dağılımının dikleşmesinin hidrasyon oranı üzerine dolayısıyla dayanım üzerine belirgin etkisinin olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ışığında, ince öğütmede harcanacak fazla enerji yerine dağılımın yatıklığının ayarlanarak aynı dayanım değerinin elde edilebileceği anlaşılmaktadır.

Literatürde (Zhang, Y.M., 1995), 3, 7 ve 28 günlük çimento dayanımının, ürün mineral içeriğine (Tri-Kalsiyum Silikat, Di-Kalsiyum Silikat, Tri-Kalsiyum Aluminat), özgül yüzey alanına bağlı olarak tahminine yönelik çalışmalar sunulmaktadır.

$$3 \text{ Günlük Dayanım} = 0,2726 \text{ FCH} + 0,04698 \text{ SSA} - 18,34$$

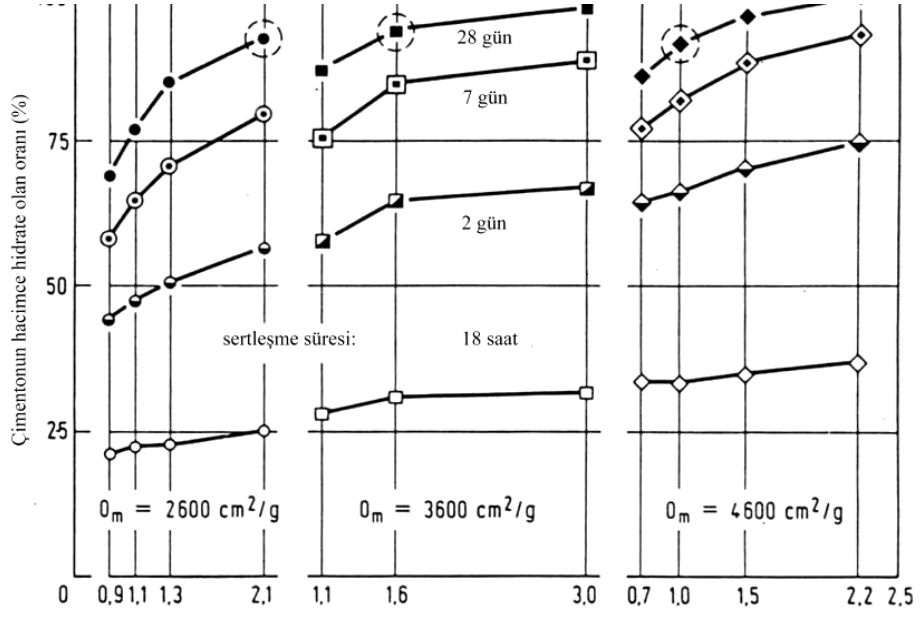
$$7 \text{ Günlük Dayanım} = 0,5855 \text{ FCH} + 0,03818 \text{ SSA} - 28,84$$

$$28 \text{ Günlük Dayanım} = 0,4714 \text{ FCH} + 0,04231 \text{ SSA} - 12,7$$

Bu eşitliklerde;

$$\text{FCH} = \text{C3S} + \text{C2S} + \text{C3A} - \text{C4AF}$$

SSA: Özgül yüzey alanı ifade edilmektedir.



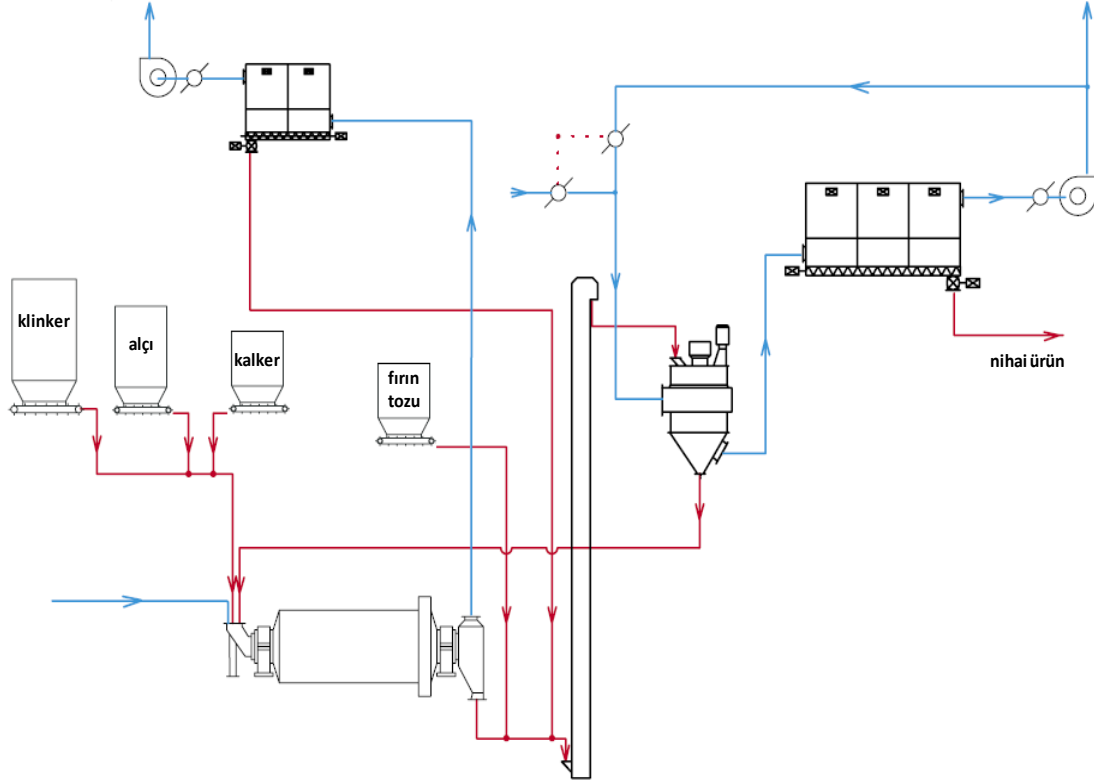
Şekil 4.1 Rosin Rammler eğim parametresinin hidratasyon oranı üzerine etkisi

5. TESİS ÖRNEKLEME ÇALIŞMALARI VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamında Set Grup'a ait Set Ankara Çimento Fabrikası'nda yürütülen tesis örnekleme ve alınan numunelere uygulanan deneysel çalışmalar sunulmaktadır. Set Ankara Çimento Fabrikası'nda çimento öğütme prosesinde 3 adet çimento öğütme devresi bulunmaktadır. Bu devreler fabrika tarafından 2 No'lu, 3 No'lu ve 4 No'lu olarak adlandırılmıştır. 2 ve 4 No'lu devreler kapalı devre olup CEM I 42.5R üretiminde, 3 No'lu devre ise açık devre olup CEM IV B-P 42.5R üretiminde kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında aynı tipte çimento üretimi yapan (CEM I 42.5R) iki kapalı devrenin kalite, enerji tüketimi gibi operasyonel değişkenler açısından performans karşılaştırmasının yapılabilmesi amacıyla farklı tarihlerde örnekleme yapılmıştır.

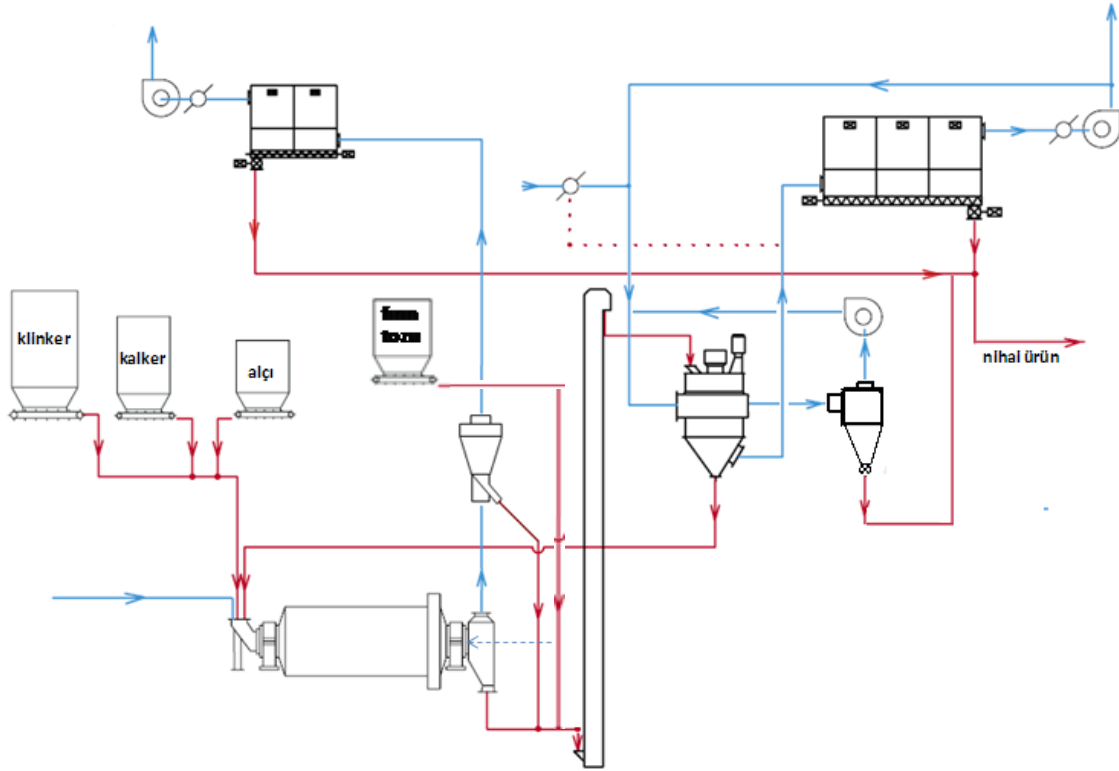
5.1. TESİS ÖRNEKLEME ÇALIŞMALARI

Kapalı devre öğütme sistemini içeren 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi'nin basitleştirilmiş akım şeması Şekil 5.1'de, 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi'nin basitleştirilmiş akım şeması ise Şekil 5.2'de verilmektedir.



Şekil 5.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi basitleştirilmiş akım şeması

Devrede, değirmen içerisindeki ince malzemenin bir kısmı değirmen filtresi tarafından tutulmakta ve sonrasında değirmen boğazından taşan malzeme ile birleşerek elevatör ile separatöre taşınmaktadır. Separatör geri dönüşü malzeme değirmene geri dönerken, separatör incisi malzeme separatör filtresinde tutularak nihai ürün olarak alınmaktadır. Değirmen girişine beslenen hammaddelerin yanı sıra, elevatör girişinden ayrıca fırın tozu verilmektedir.



Şekil 5.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi basitleştirilmiş akım şeması

4 No'lu çimento öğütme devresinde ise değirmen içerisindeki ince malzemenin bir kısmı statik separatöre taşınmakta ve sonrasında değirmen boğazından taşan malzeme ile statik separatör geri dönüşü malzeme birleşerek elevatör ile dinamik separatöre taşınmaktadır. Dinamik separatör geri dönüşü malzeme değirmene geri dönerken, dinamik separatör incisi malzeme separatör siklonu ve filtresinde tutulmaktadır. Statik separatör incisi ile birleşen dinamik separatör siklon altı malzeme ve dinamik separatör filtre malzemesi nihai ürün olarak alınmaktadır. Değirmen girişine beslenen hammaddelerin yanı sıra, elevatör girişinden ayrıca fırın tozu verilmektedir. Her iki devrede yer alan ana ekipmanlara ait teknik özellikler Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Çizelge 5.1. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri'nde yer alan ana ekipmanlara ait teknik özellikler

2 No'lu Çimento Öğütme Devresi		4 No'lu Çimento Öğütme Devresi	
Bilyalı Değirmen		Bilyalı Değirmen	
Üretici firma	FCB	Üretici firma	FLS
Çap (m)	3.4	Çap (m)	4.2
Boy (m) - 1. Kamara	4.25	Boy (m) - 1. Kamara	5.2
- 2. Kamara	7.0	- 2. Kamara	6.3
Kurulu motor gücü (kW)	1696	Kurulu motor gücü (kW)	2640
Separatör		Separatör	
Üretici firma	PSP	Üretici firma	FLS
Model no.	VTP 2100	Model no.	FLS 450
Rotor çapı (mm)	1860	Separatör çapı (mm)	4730
Rotor yüksekliği (mm)	1150	Max. rotor hızı (rpm)	1185
Max. rotor hızı (rpm)	327	Max. hava miktarı (m ³ /h)	135000
Max. hava miktarı (m ³ /h)	108000	Kurulu motor gücü (kW)	160
Kurulu motor gücü (kW)	110		
Separatör Filtre Fanı		Değirmen Filtre Fanı	
Max. hava miktarı (m ³ /h)	110000	Max. hava miktarı (m ³ /h)	60000
Kurulu motor gücü (kW)	250	Kurulu motor gücü (KW)	75
Değirmen Filtre Fanı			
Max. hava miktarı (m ³ /h)	35000		
Kurulu motor gücü (kW)			

Çalışma kapsamında CEM I 42.5 tipinde üretim yapılırken numune alma çalışmaları yürütülmüştür. Numune alma çalışmaları devrelerde ortalama çalışma koşullarının sağlanması ve kararlı durumda çalıştığı kontrol odası verilerinden tespit edilmesi ile örnekleme işlemleri yapılmıştır.

Devrenin kararlı durumda olup olmadığının takip edilmesi amacıyla kontrol odasında değirmen çıkış elevatör akımı, separatör motor akımı, geri dönüş tonajı, fuller pompa akımı gibi parametrelerin zamana bağlı değişimi gözlemlenmiştir. Benzer denge durumu bütün örnekleme çalışmaları için izlenmiş ve sonrasında numune alma işlemine başlanmıştır. Örnekleme çalışmalarının yapıldığı kararlı durum çalışma koşullarında kaydedilen kontrol odası verileri 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri için sırasıyla Çizelge 5.2 ve çizelge 5.3'de verilmektedir. Örnekleme çalışmaları 2 No'lu devre için 3, 4 No'lu devre içinde 3 kez olmak üzere farklı operasyonel koşullar için tekrar edilmiştir.

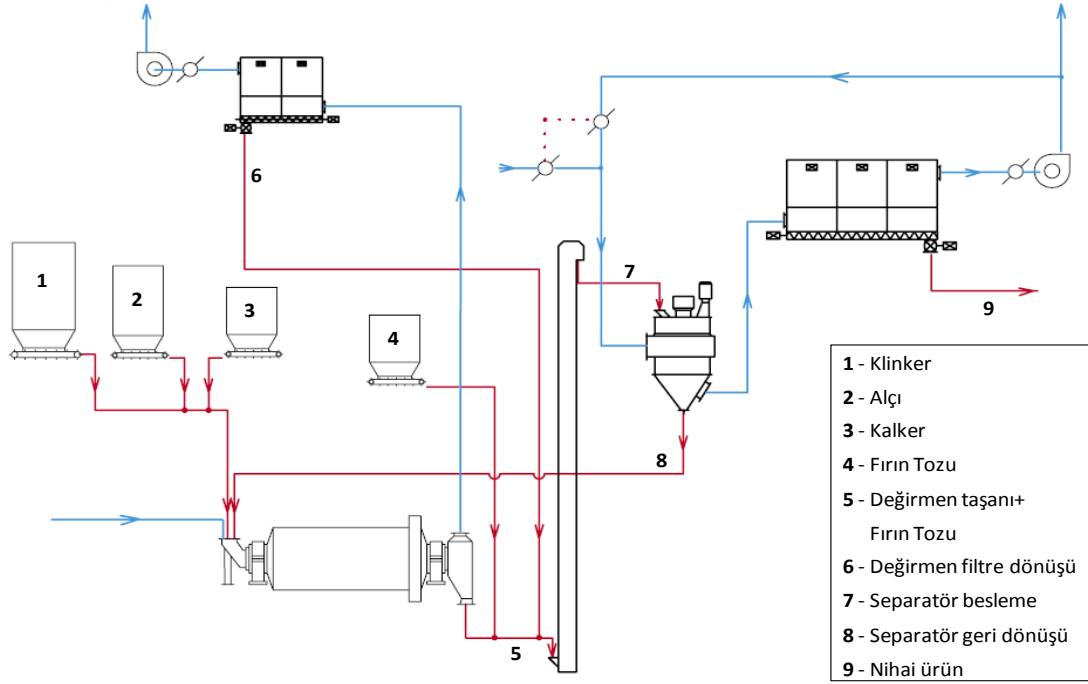
Çizelge 5.2. 2 numaralı öğütme devresi örnekleme dönemlerine ait kaydedilen kontrol odası değerleri

2 No'lu Çimento Öğütme Devresi			
Örnekleme	1	2	3
Üretim Tipi	CEM I 42.5R	CEM I 42.5R	CEM I 42.5R
Üretim Kapasitesi	35.15	41.42	42.18
Klinker (t/s)	31.89	37.57	39.01
Alçı (t/s)	1.05	1.66	1.56
Kalker (t/s)	1.51	1.39	1.61
Fırın Tozu (t/s)	0.70	0.8	0
Değirmen motor gücü (kW)	1392	1406	1473
Separatör rotor %	72.7	71.9	79.20
Separatör motor akımı (%)	46.5	50.2	49
Geri dönüş tonajı (t/s)	103.50	82.00	64
Değirmen çıkış elevatör akımı (%)	28	30	28.50
Değirmen filtre fan devri %	99.8	99.8	99.20
Değirmen filtre fanı motor akımı	72.6	72.6	74
Separatör filtre fan devri %	93.0	93.6	90.60
Separatör filtre fanı motor akımı	99.5	99.9	99.9
Separatör filtre fanı hava miktarı	93000	93600	89800
Çimento çıkış sıcaklığı (°C)	87.6	93.5	104.8

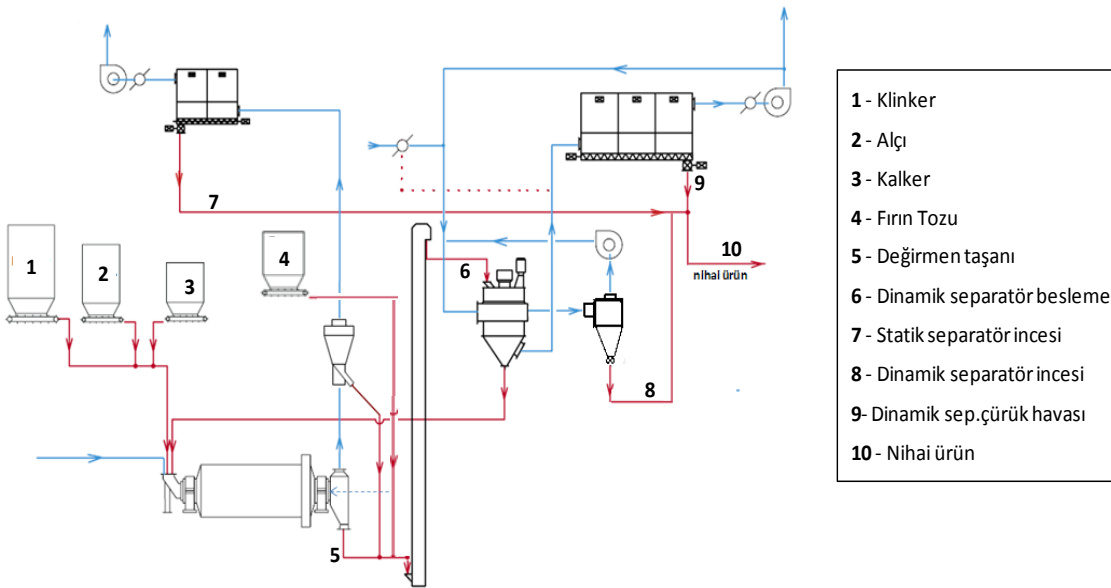
Çizelge 5.3. 4 numaralı öğütme devresi örnekleme dönemlerine ait kaydedilen kontrol odası değerleri

4 No'lu Çimento Öğütme Devresi			
Örnekleme Dönemi	1	2	3
Üretim Tipi	CEM I 42.5 R	CEM I 42.5 R	CEM I 42.5 R
Üretim Kapasitesi	81.46	94.56	81.66
Klinker (t/s)	74.50	87.00	76.00
Alçı (t/s)	3.36	1.90	3.36
Kalker (t/s)	1.70	3.56	2.3
Fırın Tozu(t/s)	1.90	2.10	0
Değirmen motor gücü (kW)	2400	2460	2410
Separatör rotor %	79.0	77.6	81.80
Geri dönüş tonajı (t/s)	200.00	180.00	193.00
Değirmen çıkış elevatör akımı (A)	90	85	90
Separatör filtre fan devri %	72	72	66
Statik separatör fan (%)	100	100	100
Değirmen çıkış basıncı (mm.H ₂ O)	64	180	85
Çimento sıcaklığı (°C)	118.0	121.7	108.5

Örnekleme çalışmaları sırasında, devre etrafındaki tüm akış kollarından ait oldukları akışı istatistiksel olarak temsil edecek miktarda numuneler alınmıştır. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devrelerine ait devre etrafı numune alma noktaları sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4 'de verilmektedir.



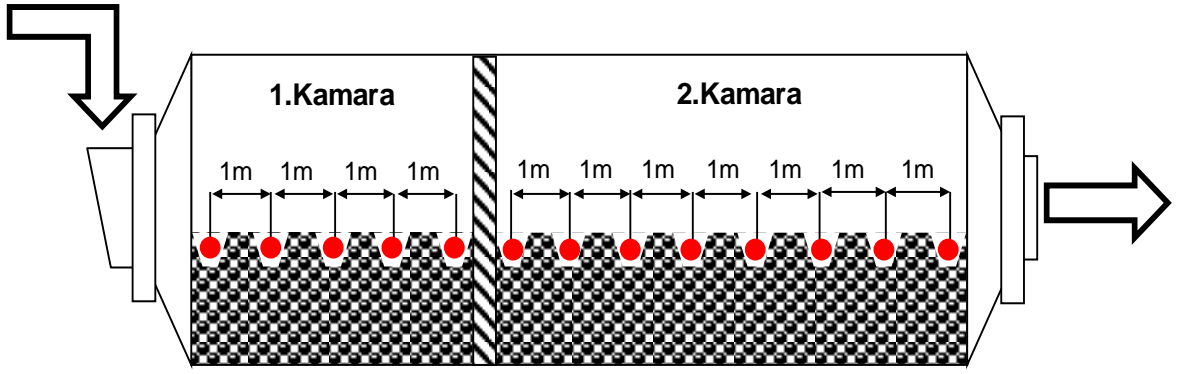
Şekil 5.3. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi devre etrafı numune alma noktaları



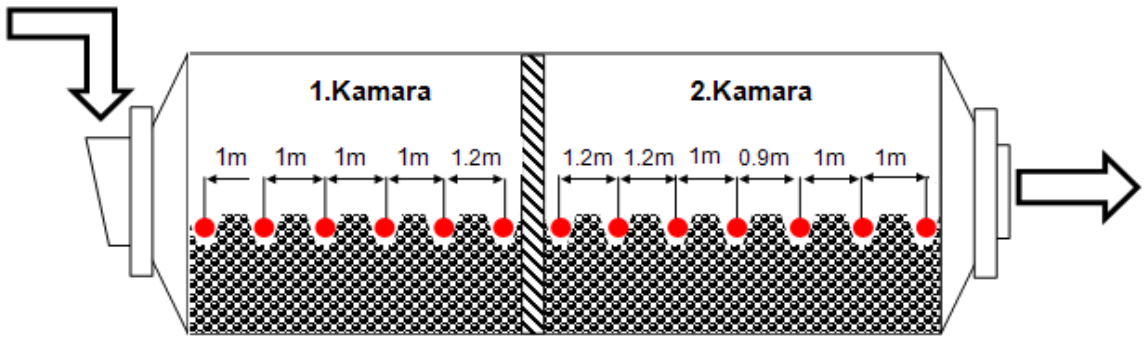
Şekil 5.4. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi devre etrafı numune alma noktaları

4 No'lu Çimento Öğütme Devresinde statik separatör geri dönüş akışında örnekleme çalışması yürütülemedi. Bu durum akış borusunda oluşan yüksek vakumdan kaynaklanmaktadır.

Her iki öğütme devresinin 3'üncü örnekleme döneminde, devre etrafı örnekleme çalışmalarının ardından ani duruş yapılarak devredeki tüm ekipmanların eşzamanlı durdurulması sağlanmıştır. Ani duruş sonrasında devreye beslenen hammaddelerin örnekleme çalışmaları, tartım bantları üzerinde kalan malzemelerin, malzeme yüksekliğine ve iriliğine bağlı olarak, 1-2 metrelik kısmının sıyırılması ile gerçekleştirilmiştir. Numune alma işleminin son aşamasında ise değirmen içi örnekleme çalışmaları yürütülmüştür. Ani duruş sonrasında değirmen içerisinden değirmen eksenine boyunca belirlenen noktalardan numuneler alınmıştır. Değirmen içi örnekleme sırasında, numune alma noktalarına ani duruş sonucu biriken ilk 20-25 cm'lik üst tabaka (bilya+malzeme) ayrılmış ve bu derinlikten numuneler alınmıştır. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri değirmen içi numune alma noktaları sırasıyla Şekil 5.5 ve Şekil 5.6' da gösterilmektedir.



Şekil 5.5. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi değirmen içi numune alma noktaları



Şekil 5.6. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi değirmen içi numune alma noktaları

5.2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve SONUÇLARI

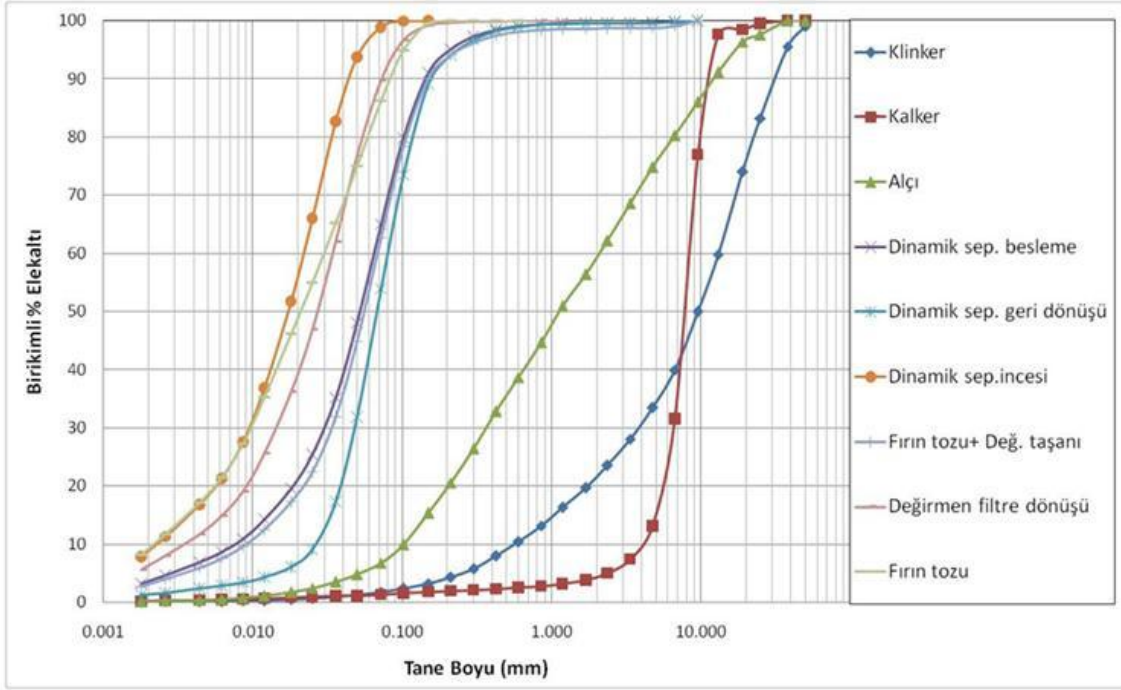
Deneysel çalışmalar kapsamında ilk olarak, 2 ve 4 No'lu çimento öğütme devrelerinde gerçekleştirilen örnekleme çalışmaları sonucunda elde edilen numunelerin tane boyu dağılımları, yüzey alanları, öğütülebilirlik analizleri, dayanım testleri, kimyasal analizleri gerçekleştirilmiştir.

5.2.1. Numunelerin Tane Boyu Dağılımlarının Belirlenmesi

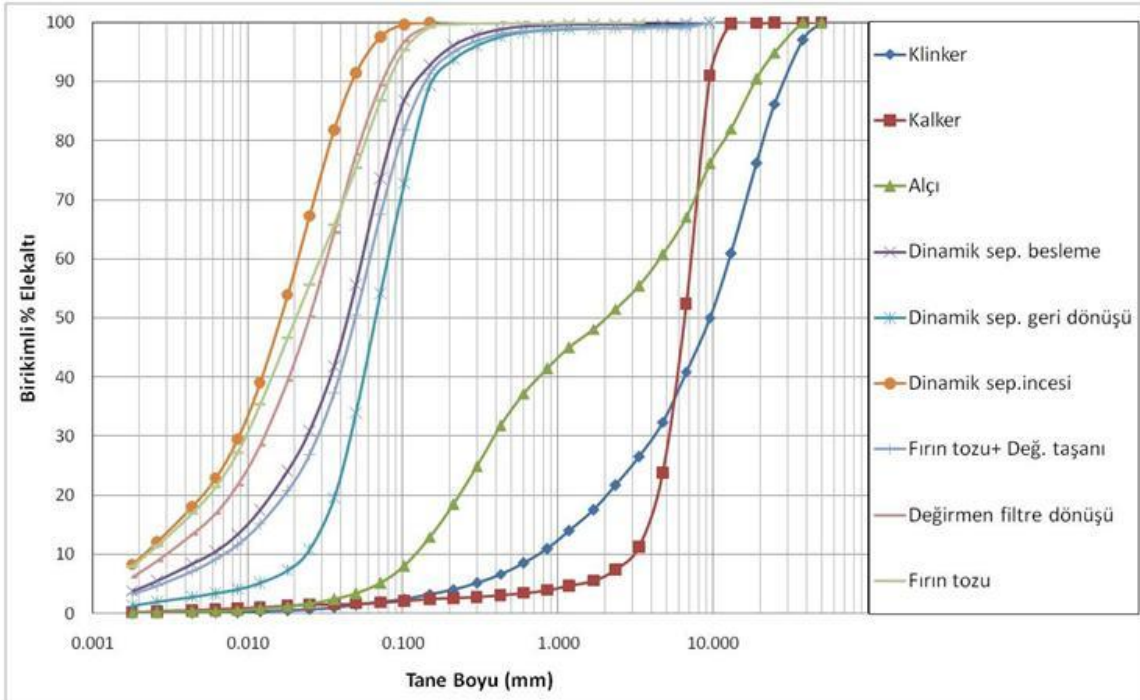
Bir öğütme ve sınıflama devresinde yer alan ekipmanların verimliliği, o ekipmanlar etrafındaki mevcut akışların tane boyu dağılımları esas alınarak değerlendirilebilmektedir. Bu kapsamda iki aşamadan oluşan bir boyut analizi yöntemi izlenmiştir. Analizin ilk aşamasında numunedeki en iri boy belirlenerek, bu boydan itibaren 150 µm' ye kadar $\sqrt{2}$ elek serisi kullanılarak elek analizi yapılmaktadır. İkinci aşamada ise 150 µm' lik eleğin altına geçen malzeme Sympatec marka lazerli tane boyu ölçüm cihazı ile analiz edilerek numunenin boyut dağılımı 1.8 µm' ye kadar belirlenmektedir.

5.2.1.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi

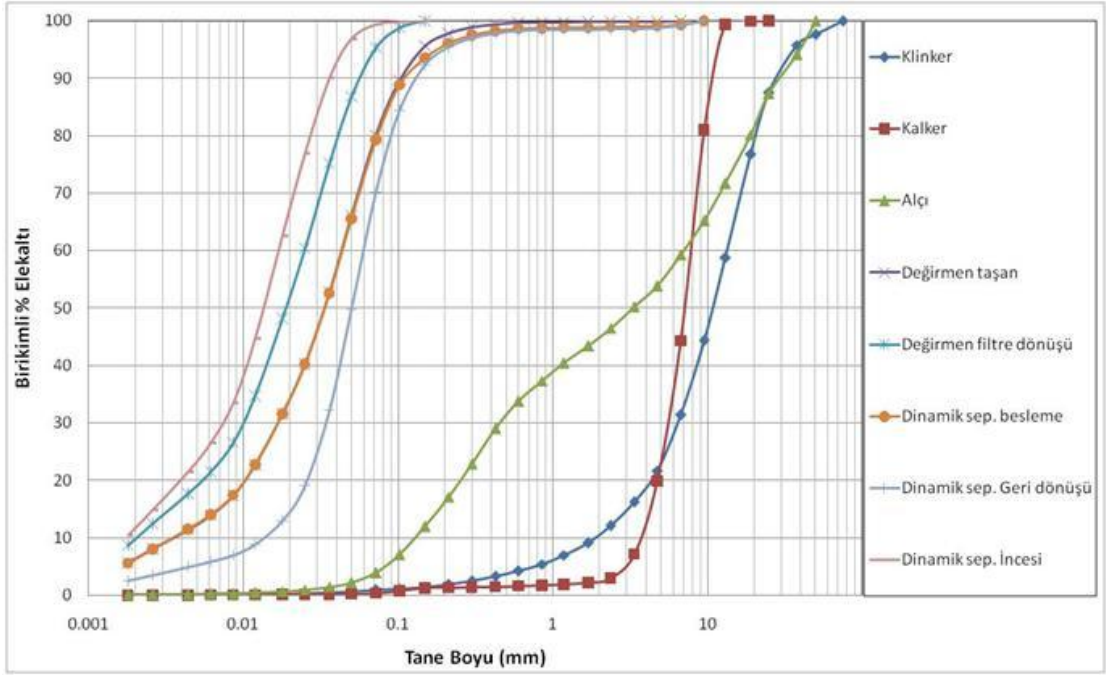
Belirtilen prosedüre göre her tesis için örnekleme çalışmalarına ait devre etrafı akışlarına ait tane boyu dağılımları belirlenmiştir. 1. ve 2. ve 3. örnekleme dönemlerine, devre etrafından alınan numunelerin ölçülen tane boyu dağılımları Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9 'da verilmektedir.



Şekil 5.7. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-1.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları

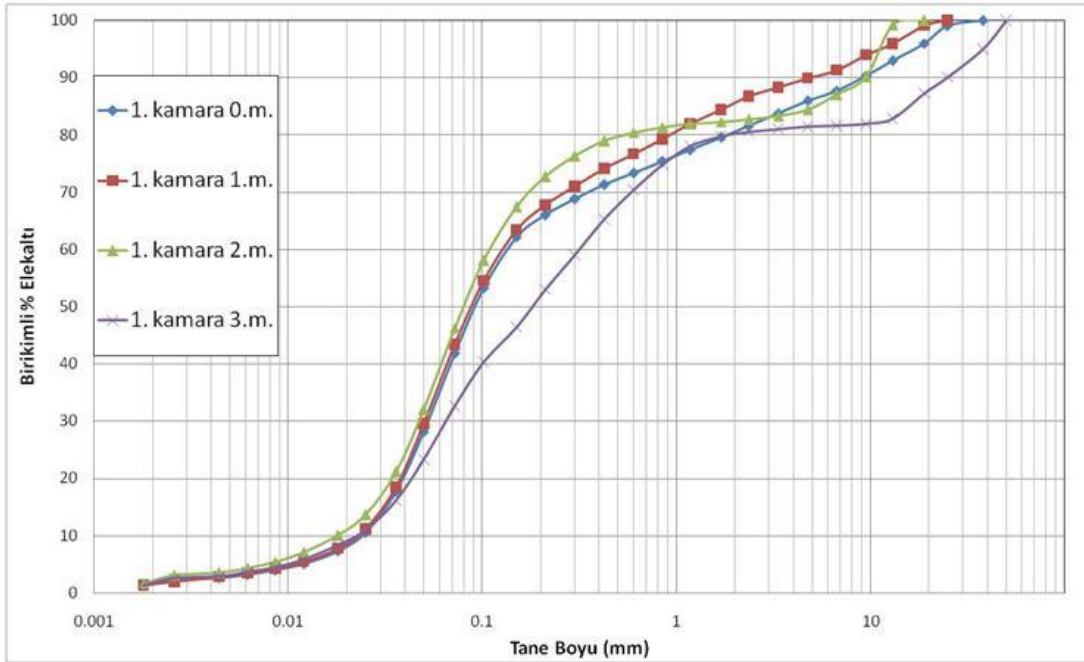


Şekil 5.8. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-2.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları

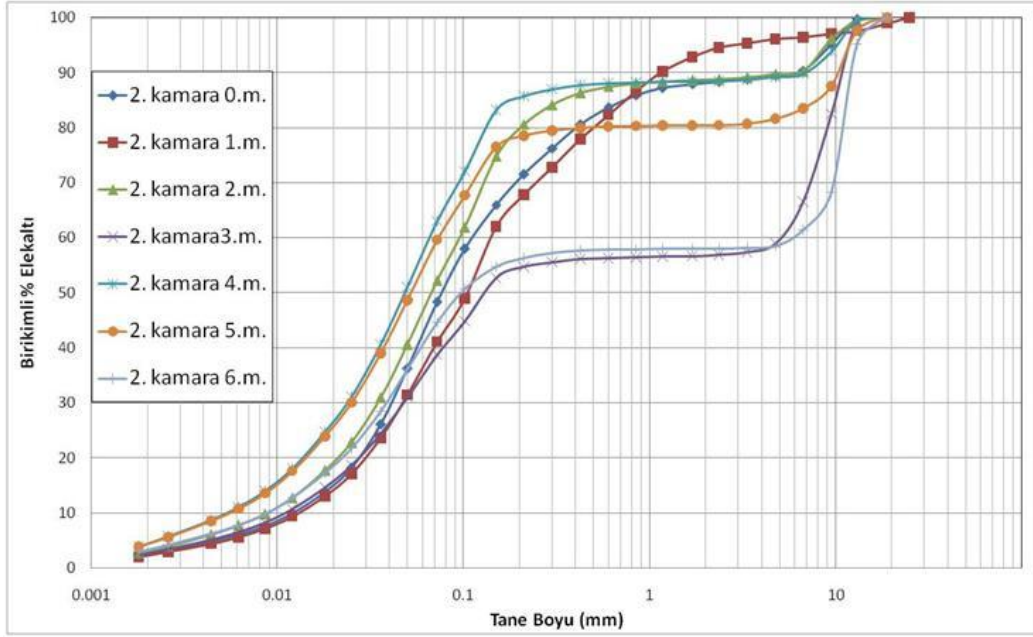


Şekil 5.9. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları

3.örnekleme döneminde alınan değirmen içi numunelerine ait tane boyu dağılımları ise 1.kamara ve 2.kamara için sırasıyla Şekil 5.10 ve Şekil 5.11 'de verilmektedir.



Şekil 5.10. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 1.kamara ölçülen tane boyu dağılımları



Şekil 5.11. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 2.kamara ölçülen tane boyu dağılımları

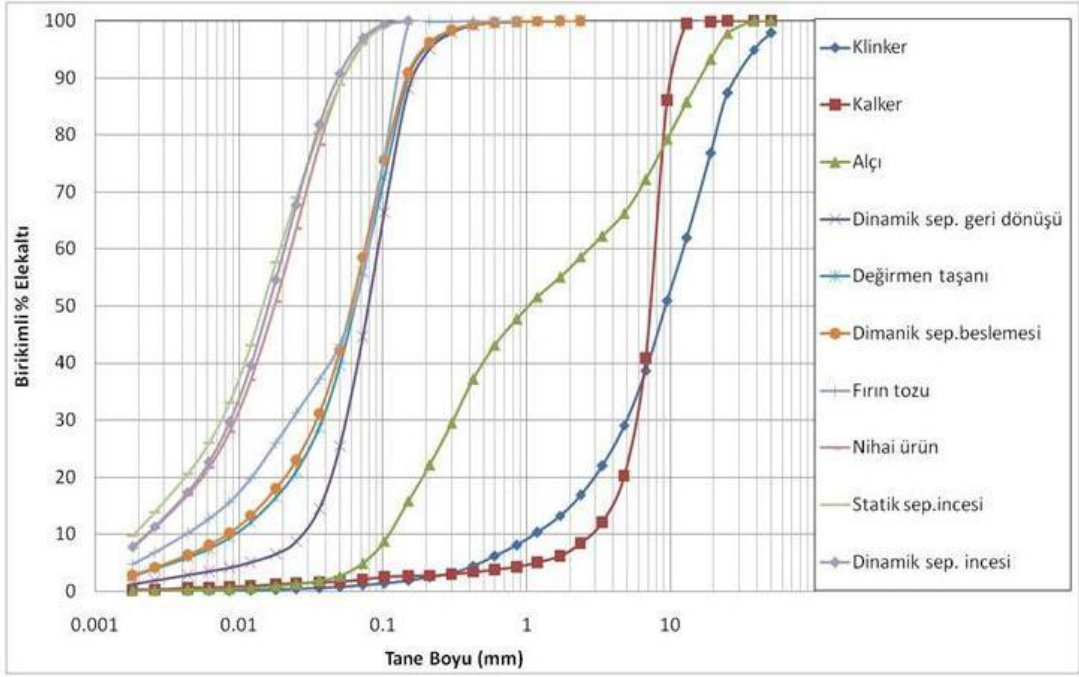
2 No'lu Çimento Öğütme Devresi'nde yürütülen örnekleme çalışmaları sırasında devreye beslenen hammaddelerin de tane boyu dağılımları belirlenmiştir. Hammaddelerin P80 ve P50 değerleri Çizelge 5.4'de verilmektedir.

Çizelge 5.4. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi- Hammaddelere ait P80 ve P50 değerleri

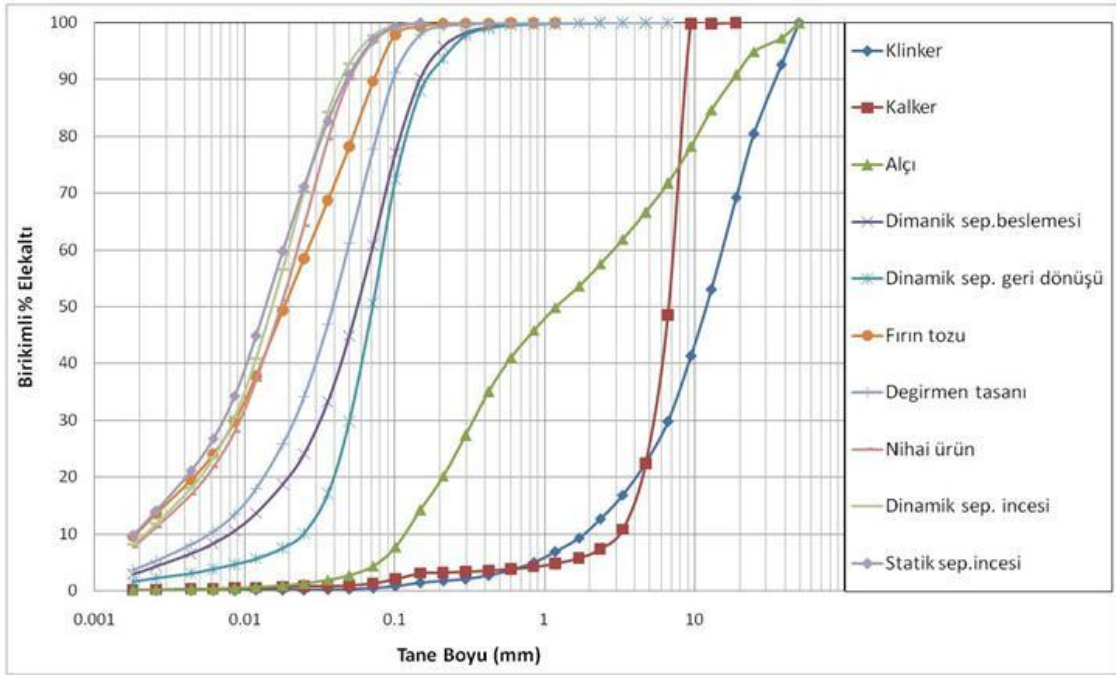
	2 No'lu Çimento Öğütme Devresi								
	1			2			3		
	Klinker	Alçı	Kalker	Klinker	Alçı	Kalker	Klinker	Alçı	Kalker
P₈₀ (mm)	22.91	10.01	6.60	21.29	8.70	11.76	20.81	9.42	18.89
P₅₀ (mm)	9.51	7.84	1.13	9.47	6.53	2.06	10.87	7.13	3.28

5.2.1.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi

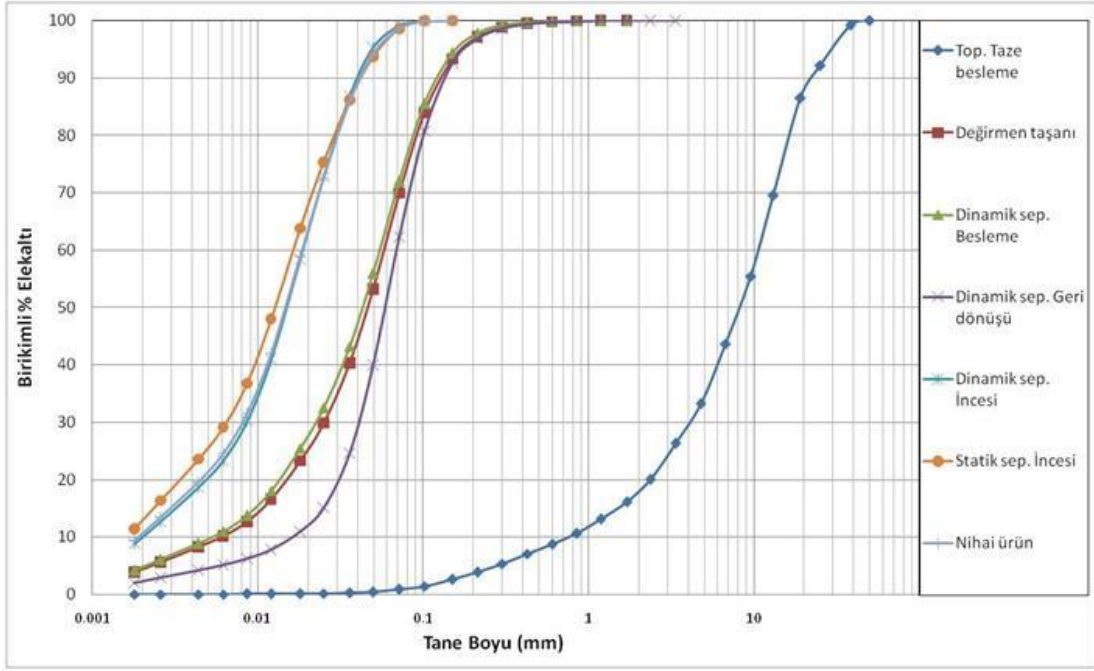
2 No'lu çimento öğütmesine benzer olarak tüm örnekleme dönemlerinde alınan numunelerin tane boyu analizleri yapılmış, Şekil 5.12 Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'da gösterilmektedir.



Şekil 5.12. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-1.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları

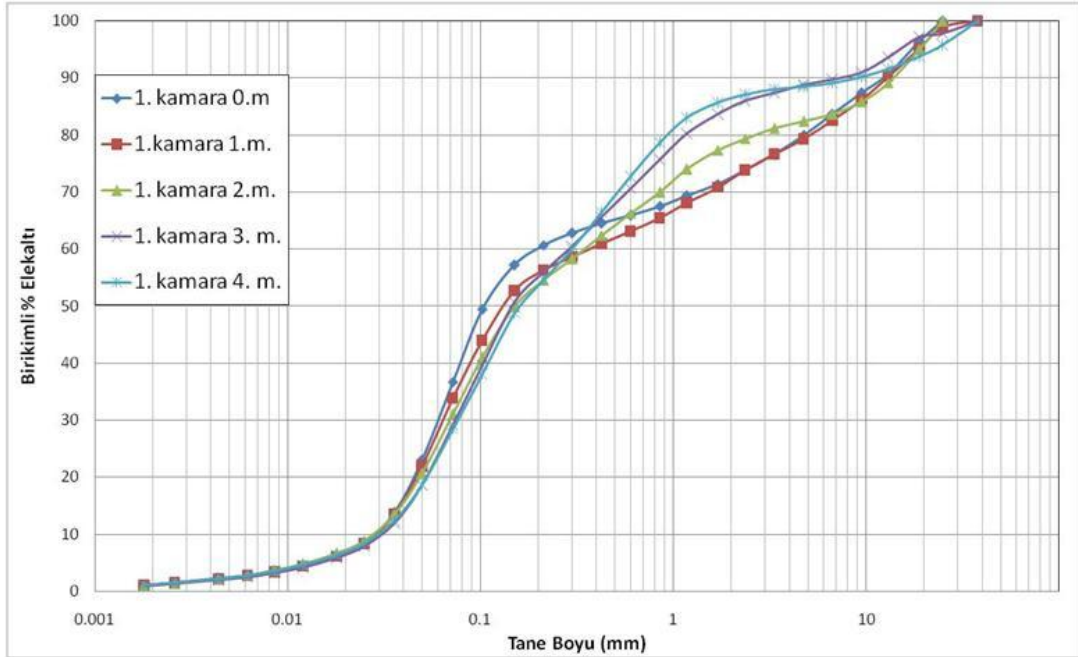


Şekil 5.13. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-2.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları

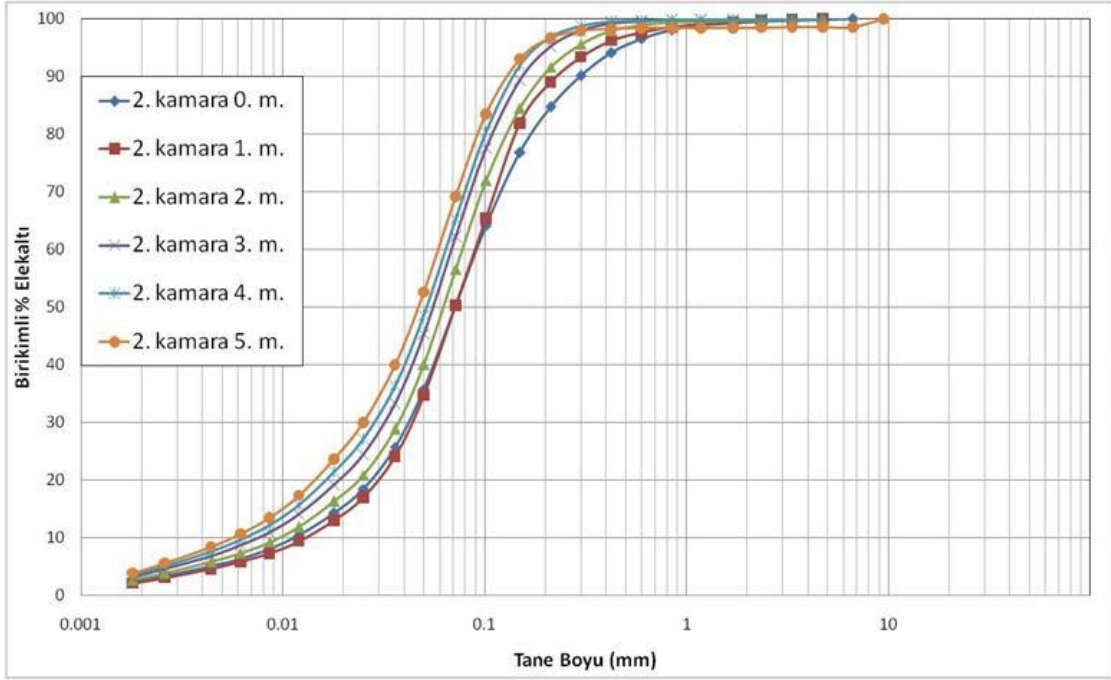


Şekil 5.14. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi devre etrafı ölçülen tane boyu dağılımları

3.örnekleme döneminde alınan değirmen içi numunelerine ait tane boyu dağılımları ise 1.kamara ve 2.kamara için sırasıyla Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da verilmektedir.



Şekil 5.15. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi-3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 1.kamara ölçülen tane boyu dağılımları



Şekil 5.16. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi değirmen içi 2.kamara ölçülen tane boyu dağılımları

4 No'lu Çimento Öğütme Devresi'nde yürütülen örnekleme çalışmaları sırasında devreye beslenen hammaddelerin P_{80} ve P_{50} değerleri Çizelge 5.5'te verilmektedir.

Çizelge 5.5. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi- Hammaddelere ait P_{80} ve P_{50} değerleri

4 No'lu Çimento Öğütme Devresi							
	1			2			3
	Klinker	Alçı	Kalker	Klinker	Alçı	Kalker	Toplam Taze Besleme
P_{80} (mm)	20.82	9.13	9.89	24.78	8.42	10.45	16.71
P_{50} (mm)	9.28	7.26	1.04	12.09	6.78	1.19	8.20

5.2.2. Öğütülebilirlik

Literatürde sonsuz büyüklükteki bir malzemenin %80' inin 100 mikronun altına geçmesi için gerekli enerji olarak tanımlanan olan Bond iş indeksi, aynı zamanda malzemenin kırılmaya ve öğütülmeye karşı olan direncini göstermektedir. Bond iş indeksi değerinin yüksek olması, malzemenin öğütülmeye karşı direncinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir.

Standart Bond iş indeksi testi ile her iki devreye beslenen klinkerin öğütülebilirlik karakteristiği belirlenmiştir. Standart Bond iş indeksi testi (TS 7700) sonucunda elde edilen değerler Çizelge 5.6'da verilmektedir.

Çizelge 5.6. Klinkerlere ait iş indeksi değerleri

Örnekleme Dönemi	2 No'lu Ç.Ö.D	4 No'lu Ç.Ö.D
1	15.71	16.10
2	14.47	14.09
3	15.06	16.00

5.2.3 Kimyasal Analiz

2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri'nin 3. Örnekleme dönemine ait devre etrafından alınan numunelerin tane boyu analizleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında, alınan numunelerin kimyasal analiz ölçümleri Set Çimento San. ve Tic. A.Ş. Ankara Çimento Fabrikası laboratuvarında yapılmıştır.

Devre etrafından alınan numunelerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de verilmektedir.

Çizelge 5.7. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi kimyasal analiz sonuçları

	LOI (%)	CaO (%)	Si ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Kalker (%)
Değirmen Taşan	2.4	63.09	20.14	5.47	3.5	2.13	2.07	0.62	0.14	3.63
Seperatör Geri Dönüş	1.86	62.8	20.56	5.61	3.6	2.16	1.62	0.54	0.31	2.54
Seperatör Besleme	2.54	62.67	20.13	5.45	3.5	2.14	2.1	0.62	0.16	3.18
Değirmen Filtresi Dönüşü	3.24	62.62	19.76	5.28	3.36	2.09	2.28	0.67	0.2	4.92
Klinker	0.26	65.49	21.52	5.49	3.67	2.23	1.04	0.79	0.11	-
Nihai Ürün	3.52	63.05	19.46	5.17	3.3	2.08	2.86	0.73	0.17	4.67

Çizelge 5.8. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi kimyasal analiz sonuçları

	LOI (%)	CaO (%)	Si ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Kalker (%)
Değirmen Taşan	2.4	63.09	20.14	5.47	3.5	2.13	2.07	0.62	0.14	3.63
Seperatör Geri Dönüş	1.86	62.8	20.56	5.61	3.6	2.16	1.62	0.54	0.31	2.54
Seperatör Besleme	2.54	62.67	20.13	5.45	3.5	2.14	2.1	0.62	0.16	3.18
Değirmen Filtresi Dönüşü	3.24	62.62	19.76	5.28	3.36	2.09	2.28	0.67	0.2	4.92
Klinker	0.26	65.49	21.52	5.49	3.67	2.23	1.04	0.79	0.11	-
Nihai Ürün	3.52	63.05	19.46	5.17	3.3	2.08	2.86	0.73	0.17	4.67

5.2.4. İncelik, Blaine BET Yüzey Alanı Belirleme

Her iki öğütme devresinin örnekleme dönemlerinde alınan ürün numunelerinin tane boyu analizleri ve BET yüzey alanı analizleri Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında, numunelerin Blaine ve 40 mikron incelik analizleri laboratuvarında yapılmıştır.

Numunelerin Blaine, 40 mikron incelik, BET yüzey alanı değerleri Çizelge 5.9'da verilmektedir.

Çizelge 5.9. Örnekleme dönemlerine ait ürün Blaine, 40 mikron incelik ve BET yüzey alanı değerleri

Örnekleme Dönemi	Öğütme Devresi	40 µm bakiye (%)	Blaine (cm ² /g)	BET yüzey alanı
1	2	6.2	3043	1.29
2	2	6.9	2996	1.13
3	2	3.7	3064	1.53
1	4	9.6	3079	1.12
2	4	9.1	2958	1.01
3	4	7.1	3093	1.46

5.2.5. Çimento ve Klinker Dayanım Değerlerinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu kısmında, üç örnekleme döneminde her iki öğütme devresinden alınan klinker ve nihai ürün numunelerinin dayanımları belirlenmiştir. Dayanım testleri Set Çimento San. ve Tic. A.Ş. Ankara Çimento Fabrikası laboratuvarında yapılmıştır. Numunelerin belirlenen 2, 7 ve 28 günlük dayanım değerleri Çizelge 5.10 ve Çizelge 5.11’de verilmektedir.

Çizelge 5.10. Örnekleme dönemlerine ait ürün dayanım sonuçları

	2 Günlük (MPa)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)
ÇD2- 1.Örnekleme	26.19	38.26	50.91
ÇD4- 1.Örnekleme	25.90	39.63	52.68
ÇD2- 2.Örnekleme	22.86	38.65	49.83
ÇD4- 2.Örnekleme	25.90	40.61	51.80
ÇD2- 3.Örnekleme	27.76	40.42	50.72
ÇD4- 3.Örnekleme	24.13	39.53	52.48

Çizelge 5.11. Örnekleme dönemlerine ait klinker dayanım sonuçları

	2 Günlük (MPa)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)
ÇD2- 1.Örnekleme	28.06	39.53	51.01
ÇD4- 1.Örnekleme	26.88	38.55	50.82
ÇD2- 2.Örnekleme	27.37	39.34	50.33
ÇD4- 2.Örnekleme	25.90	41.10	51.11
ÇD2- 3.Örnekleme	26.39	39.24	49.64
ÇD4- 3.Örnekleme	30.41	43.16	52.48

6. MADDE DENKLİĞİ ÇALIŞMALARI

Örnekleme çalışmaları sırasında, sistemin dinamik yapısından, fiziksel koşullardan, ölçümsel hatalardan ve insan faktöründen kaynaklanan bazı hatalar ortaya çıkmaktadır. Madde denklığı, ham verilerin istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak, devre etrafındaki akışların en iyi şekilde tahmin edilmesini kapsamaktadır.

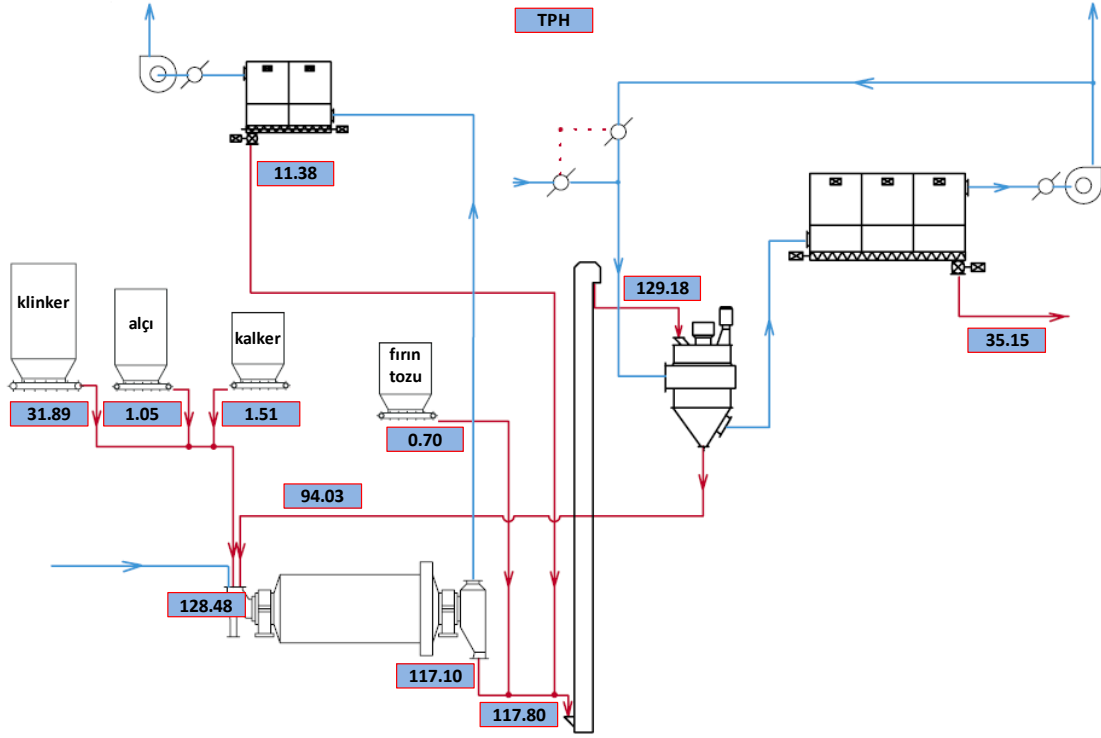
Çimento öğütme devrelerinden alınan devre etrafı numunelerinin tane boyu dağılımları ve kontrol odasında kaydedilen tonaj değerleri kullanılarak madde denklığı çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmalar sırasında madde denklığı algoritması kullanılmıştır. Madde denklığı sonucunda devre etrafı tane boyu dağılımları istatistiksel olarak hatalardan arındırılarak düzeltilmiş ve bu değerler kullanılarak devredeki tüm kolların akış değerleri (tonajları) hesaplanmıştır.

Madde denklığı sonucunda düzeltilen tane boyu dağılımları ve hesaplanan devre etrafı akış değerlerinin yanı sıra, örneklemin fiziksel koşullar sebebiyle yapılamadığı değirmen girişi, değirmen çıkışı ve toplam besleme gibi akışlar da bu çalışma ile hesaplanmıştır.

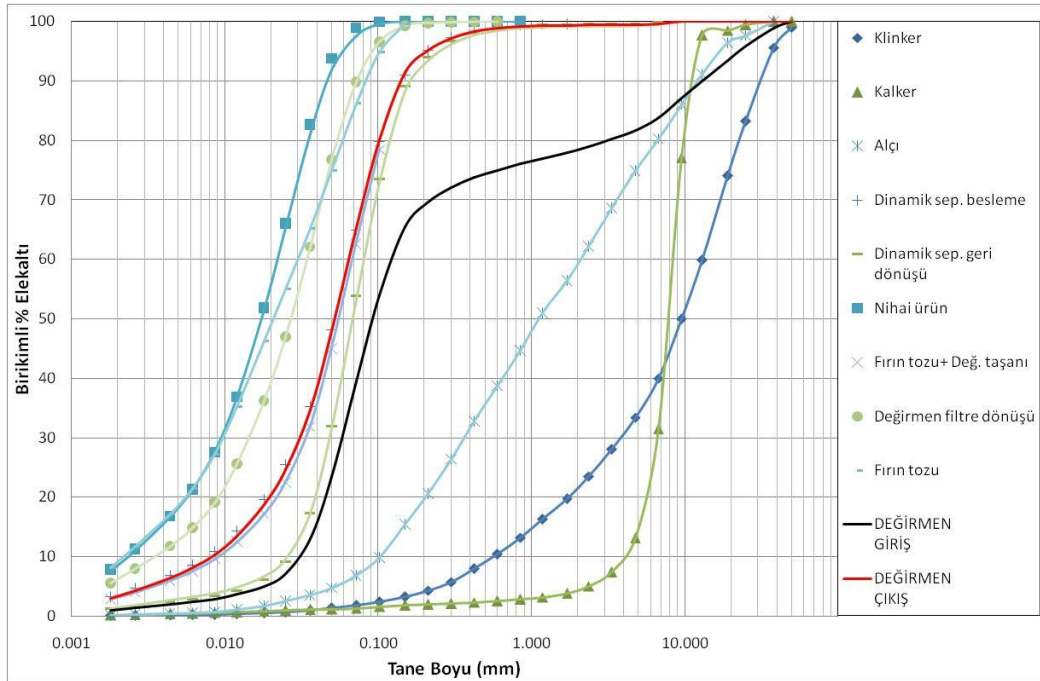
Madde denklığı çalışmaları, hammaddelere ait nem değerleri kullanılarak hesaplanan kuru tonaj değerleri baz alınarak yürütülmüştür.

6.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi

Madde denklığı çalışmaları sonucunda, 1. örnekleme dönemi için hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s) Şekil 6.1'de, hesaplanan tane boyu değerleri ise ölçülen değerlerle birlikte Şekil 6.2'de verilmektedir.

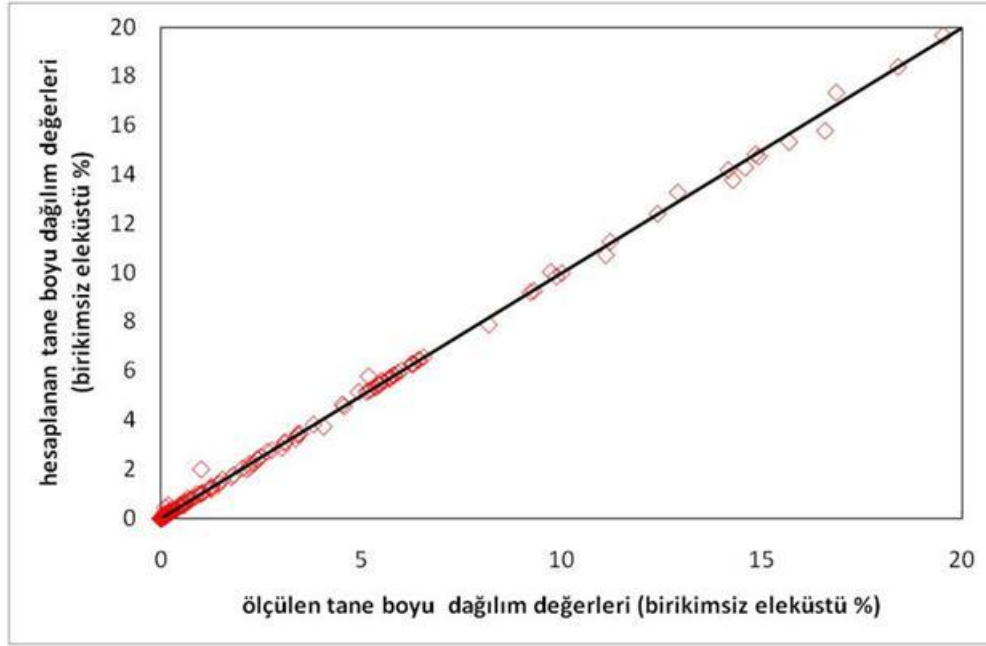


Şekil 6.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi- Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s)



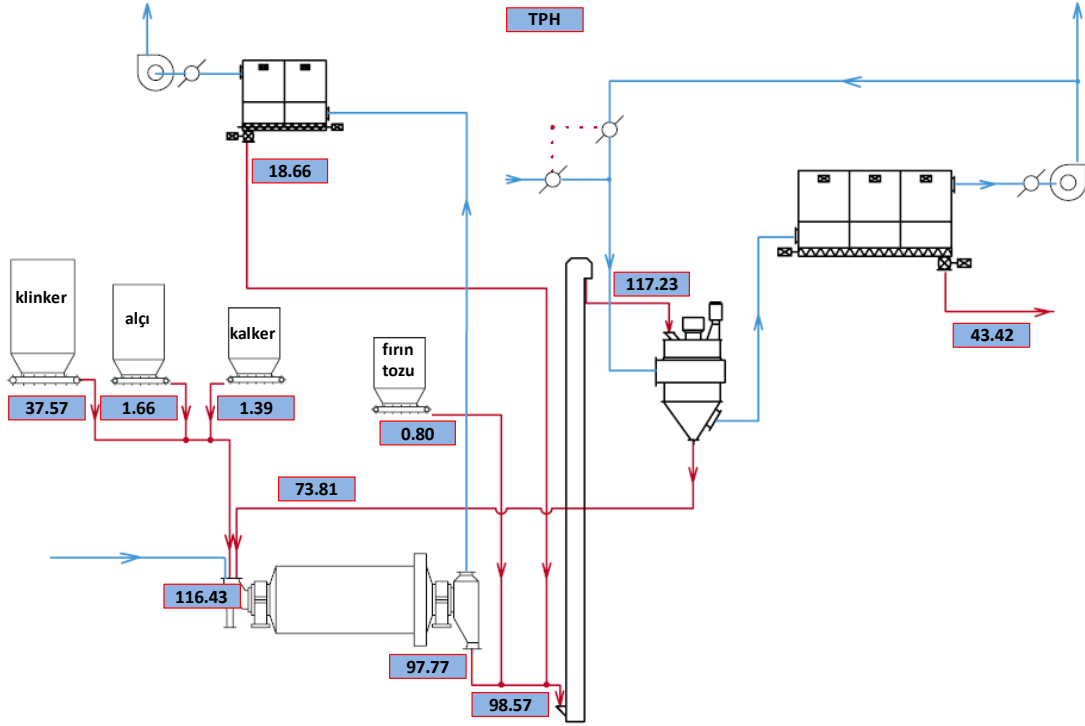
Şekil 6.2. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları

Şekil 6.2’de, her bir veri noktası ölçülen değerleri, düz çizgiler ise hesaplanan (düzeltilmiş) değerleri ifade etmektedir. Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki tutarlılık Şekil 6.2’de görülmektedir. Bu ilişkiyi net bir şekilde görebilmek amacıyla, aynı tane boyutuna karşılık gelen ölçülen ve hesaplanan dağılım değerleri grafiksel olarak Şekil 6.3’te gösterilmektedir. Şekilden de izlenebileceği gibi elde edilen sonuçların iyi bir uyum içerisinde olduğu gözlemlenmektedir. Benzer uyum değerleri diğer örnekleme çalışmalarında da gözlemlenmiştir.

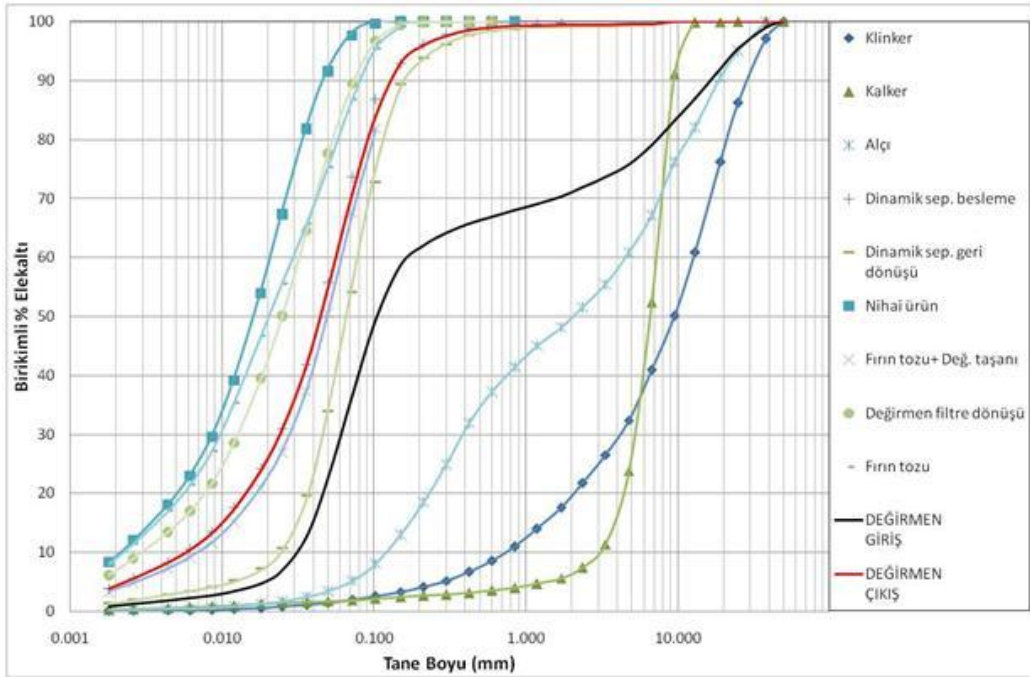


Şekil 6.3. 2 No’lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki

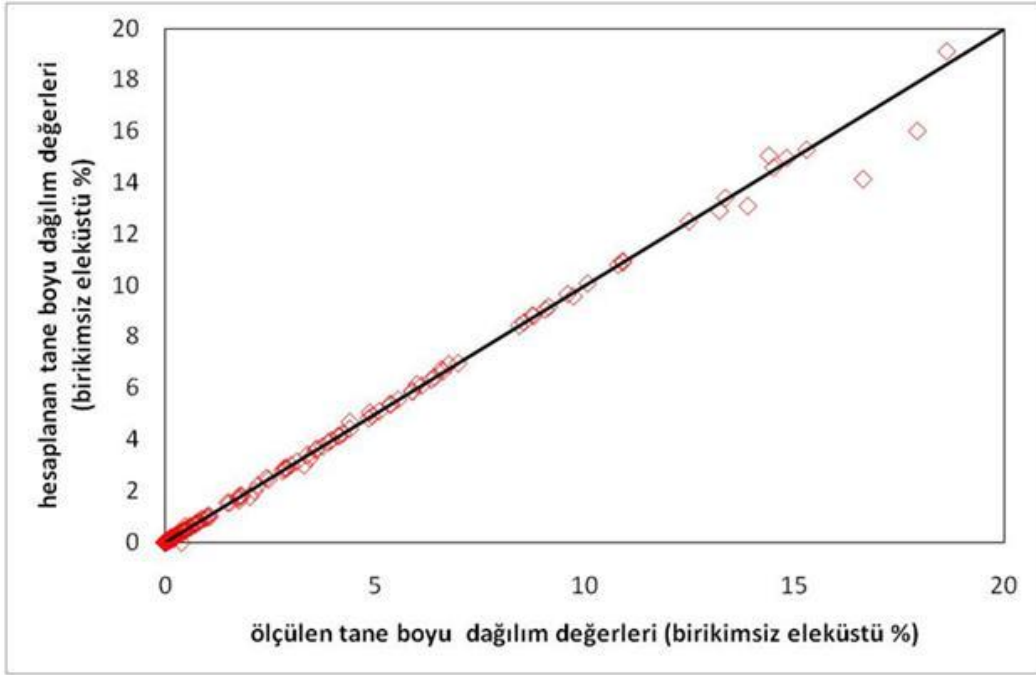
2. örnekleme dönemine ait kütle denkliği sonucu hesaplanan akış değerleri (t/s) akım şeması üzerinde gösterilmektedir (Şekil 6.4). Şekil 6.5’te ise akış kollarına ait hesaplanan tane boyu dağılımları verilmektedir. Örnekleme sonucu madde denkliği çalışmalarının uyumu Şekil 6.6’da sunulmaktadır. Veriler iyi bir uyum göstermektedir.



Şekil 6.4. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi- Madde denliği sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s)

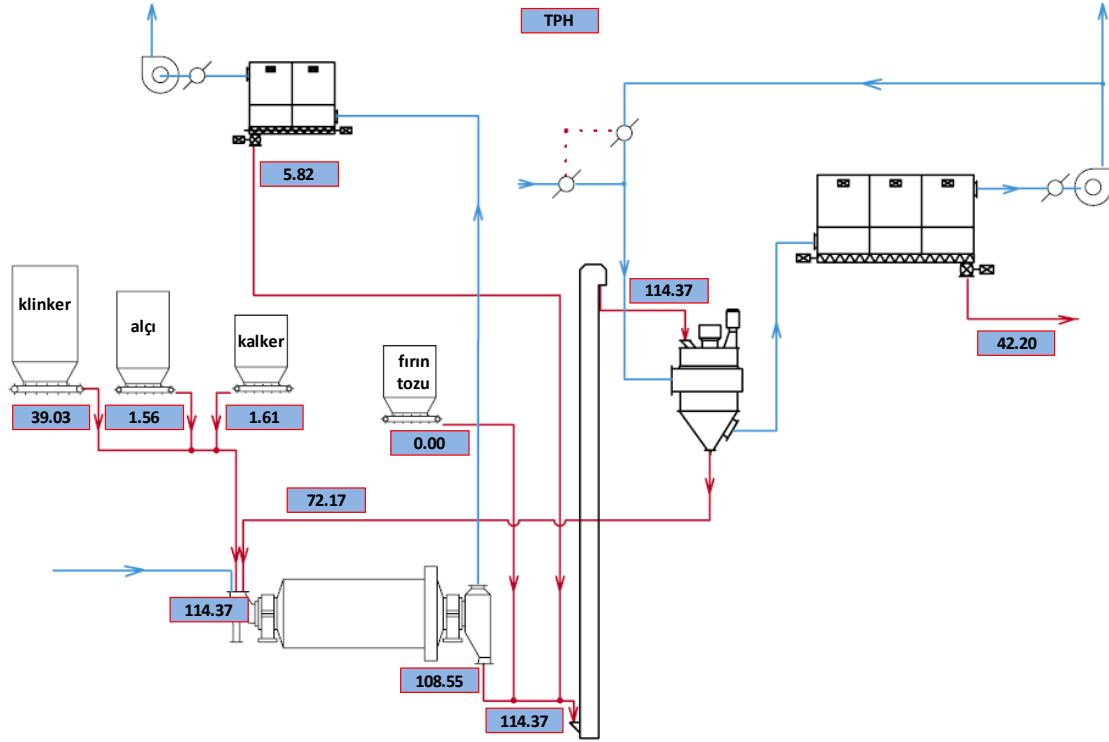


Şekil 6.5. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Madde denliği sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları

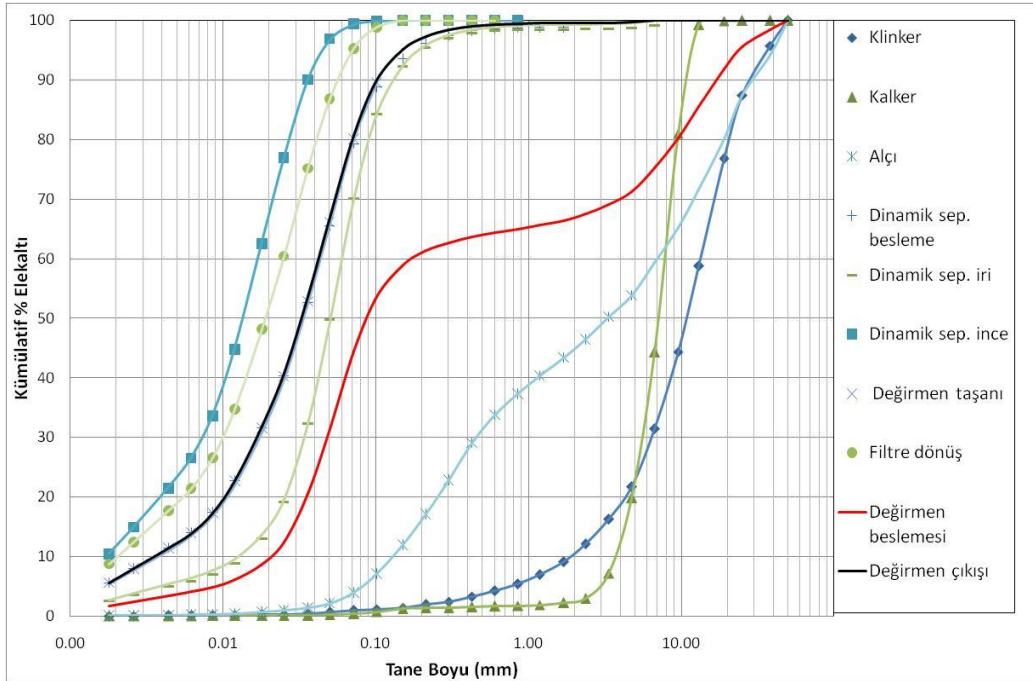


Şekil 6.6. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki

3. örnekleme döneminde ait, madde denklığı çalışmaları sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s) Şekil 6.7'de, hesaplanan tane boyu değerleri ise ölçülen değerlerle birlikte Şekil 6.8'de verilmektedir.

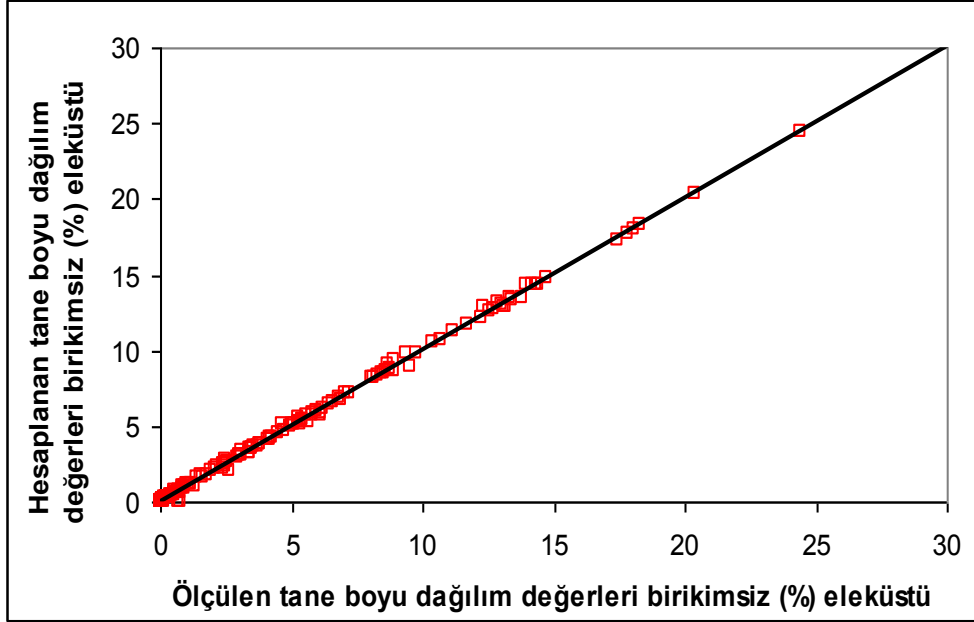


Şekil 6.7. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi- Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s)



Şekil 6.8. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları

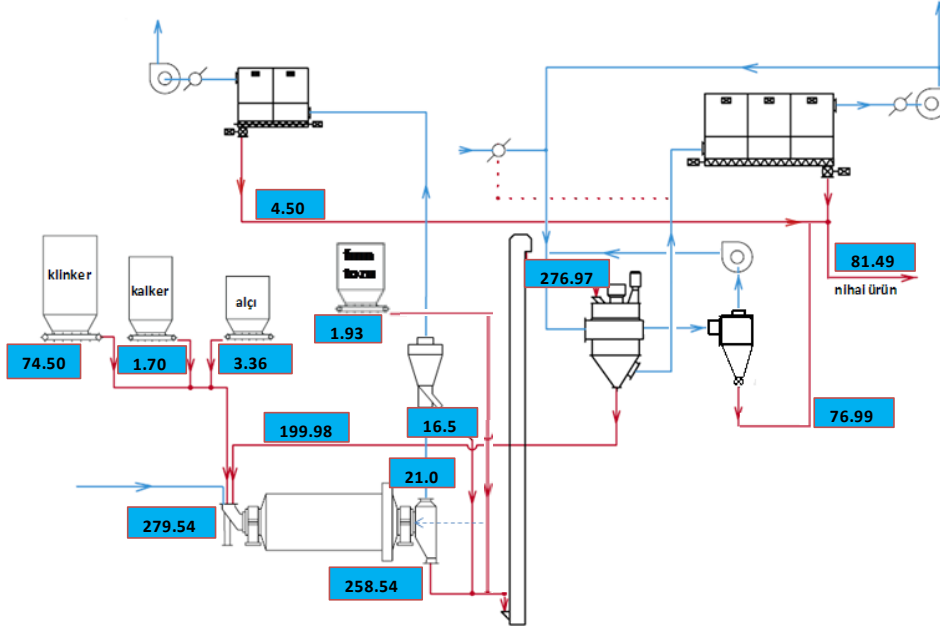
Ölçülen ve madde denkliği ile hesaplanan tane boyu dağılımlarının uyumu Şekil 6.9' da gösterilmektedir. Buna göre örnekleme çalışması yüksek güvenilirliğe sahip olmaktadır.



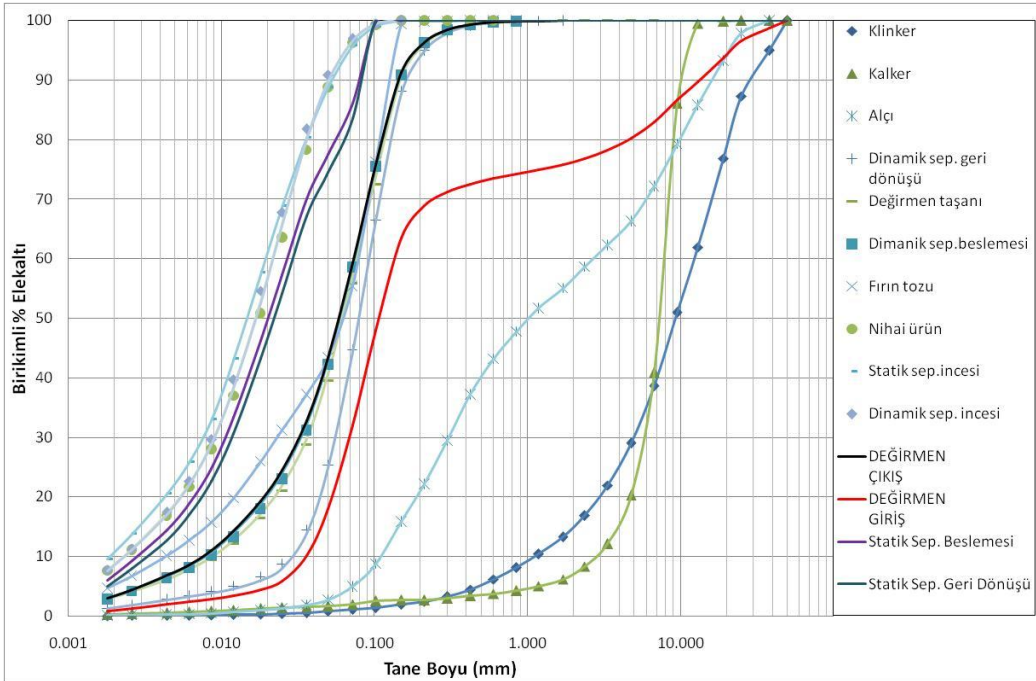
Şekil 6.9. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki

6.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi

1. örnekleme dönemi için hesaplanan 4 No'lu Çimento Öğütme Devre'si, devre etrafı akış değerleri (t/s) Şekil 6.10'da, hesaplanan tane boyu değerleri ise ölçülen değerlerle birlikte Şekil 6.11'de verilmektedir.

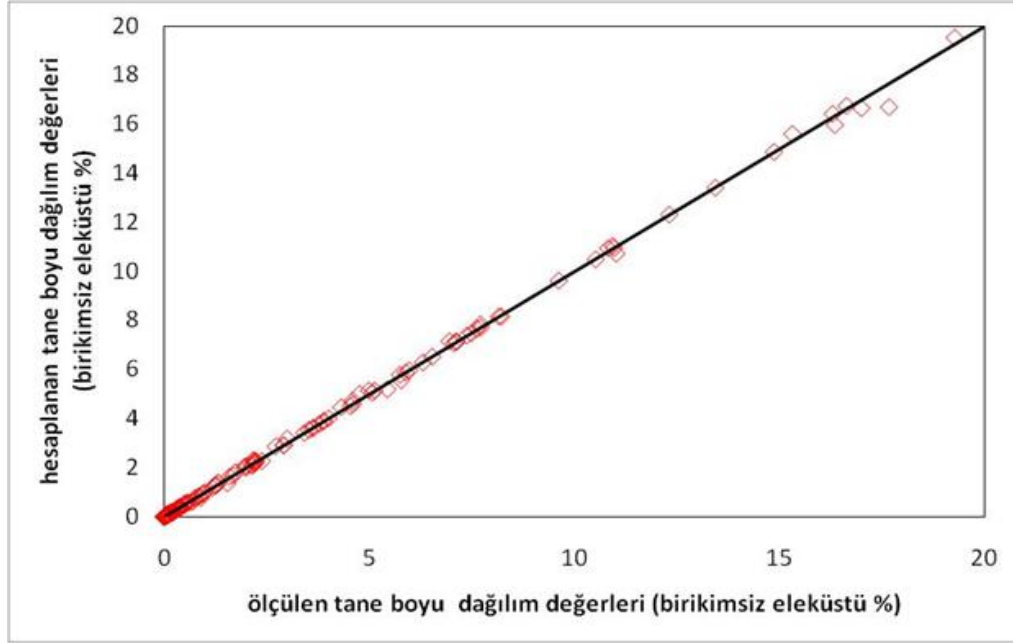


Şekil 6.10. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi- Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s)



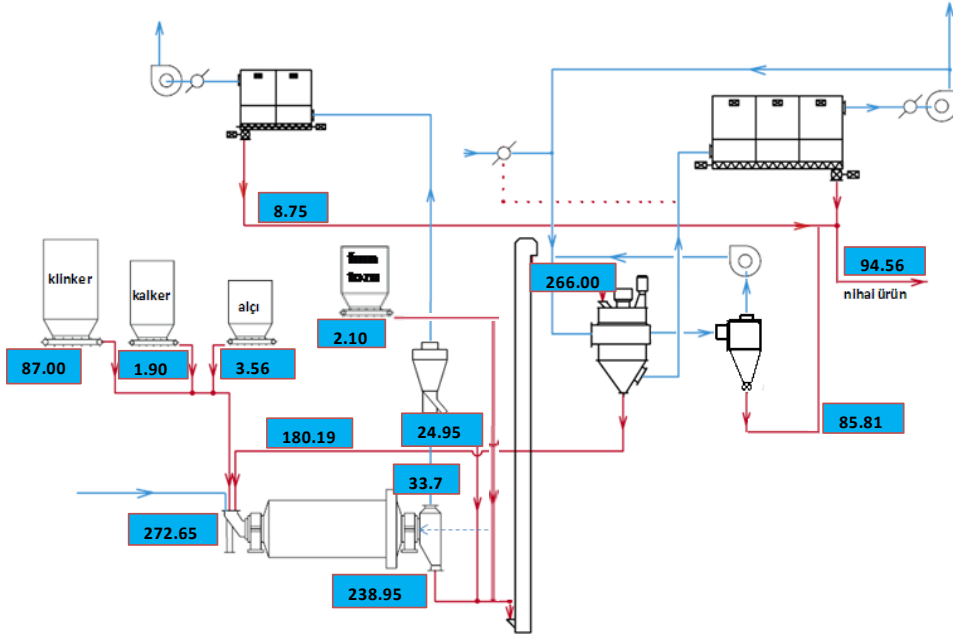
Şekil 6.11. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Madde denklığı sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları

Ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki uyum Şekil 6.11’de görülmektedir. Bu ilişkiyi net bir şekilde görebilmek amacıyla, aynı tane boyutuna karşılık gelen ölçülen ve hesaplanan dağılım değerleri grafiksel olarak Şekil 6.12’de gösterilmektedir.

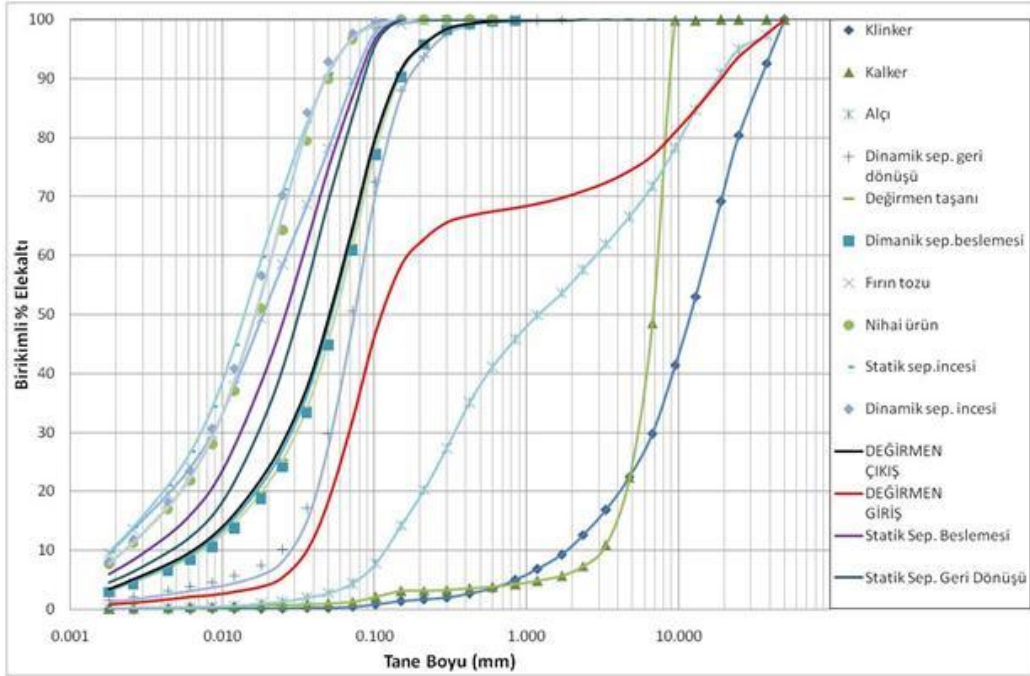


Şekil 6.12. 4 No’lu Çimento Öğütme Devresi - 1.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki

2. örnekleme döneminde ait, madde denklığı çalışmaları sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s) Şekil 6.13’te, hesaplanan tane boyu değerleri ise ölçülen değerlerle birlikte Şekil 6.14’de verilmektedir.

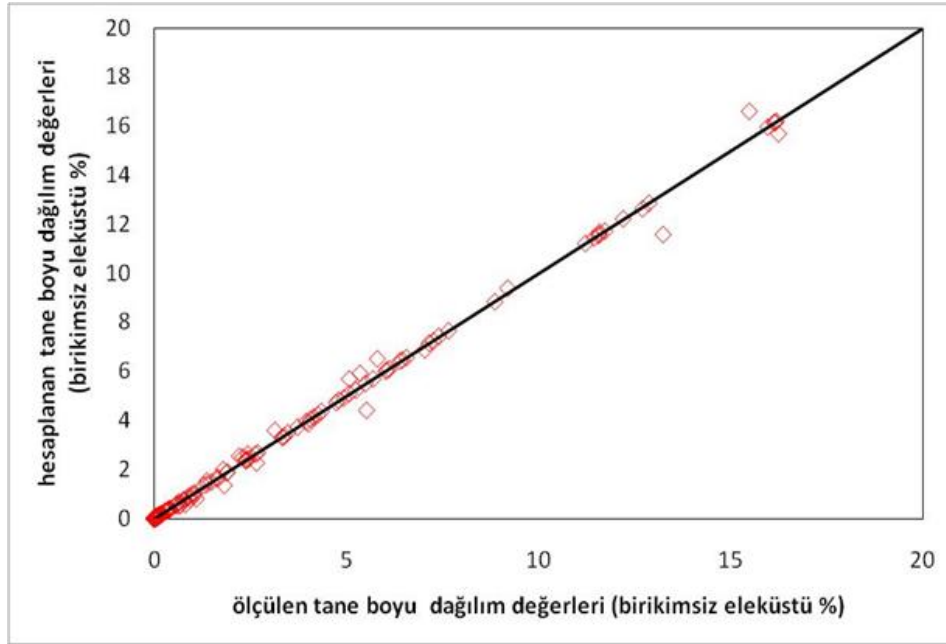


Şekil 6.13. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi- Madde denliği sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s)



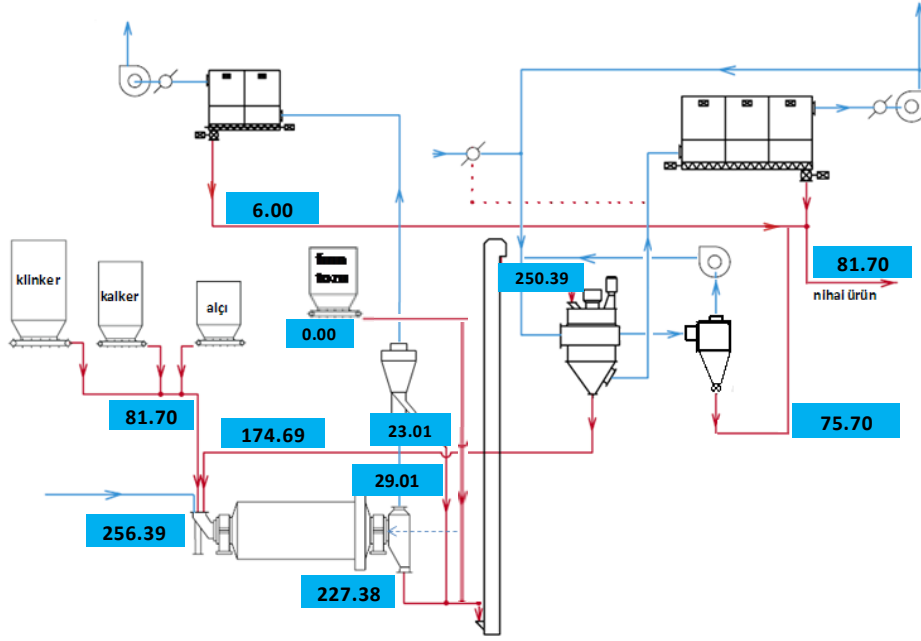
Şekil 6.14. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Madde denliği sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları

Ölçülen ve madde denkliği ile hesaplanan tane boyu dağılımlarının uyumu Şekil 6.15'de gösterilmektedir. Buna göre örnekleme çalışması yüksek güvenilirliğe sahip olmaktadır.

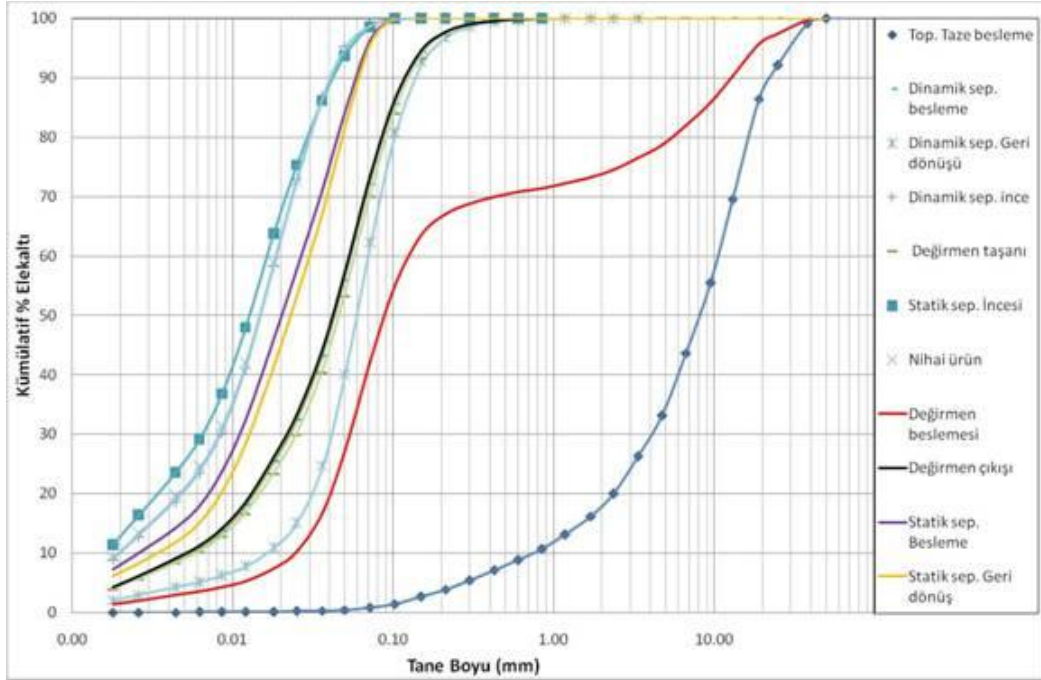


Şekil 6.15. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 2.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki

3. örnekleme döneminde ait, madde denkliği çalışmaları sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s) Şekil 6.16'da, hesaplanan tane boyu değerleri ise ölçülen değerlerle birlikte Şekil 6.17'de verilmektedir.

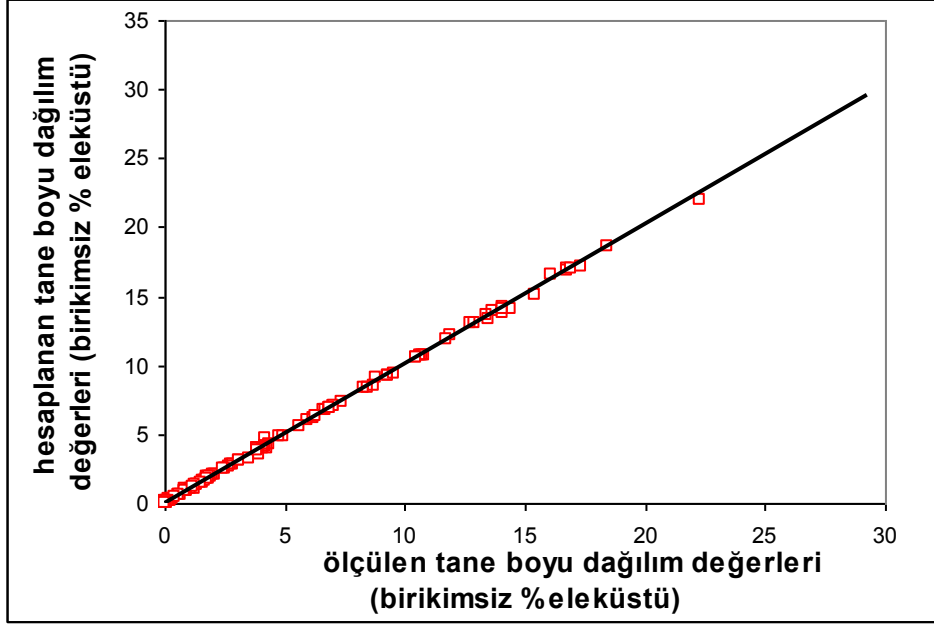


Şekil 6.16. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi- Madde denliği sonucunda hesaplanan devre etrafı akış değerleri (t/s)



Şekil 6.17. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Madde denliği sonucunda hesaplanan devre etrafı tane boyu dağılımları

Ölçülen ve madde denkliği ile hesaplanan tane boyu dağılımlarının uyumu Şekil 6.18'de gösterilmektedir. Bu durum örneklemenin doğru yapıldığını teyit etmektedir.



Şekil 6.18. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi - 3.Örnekleme Dönemi - Ölçülen tane boyu değerleri ile hesaplanan tane boyu değerleri arasındaki ilişki

7. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRMESİ

Tezin bu bölümünde, devrelerde mevcut olan değirmen ve separatörlerin performanslarının değerlendirilmesine yönelik yapılan çalışmalar yer almaktadır.

Set Ankara Çimento Fabrikası'nda paralel olarak çalışan iki adet kapalı devre bilyalı değirmen devresinin Çizelge 7.1'de sunulduğu üzere benzer kalite özelliklerine sahip çimento üretimi sırasında harcadıkları enerji farklılık göstermektedir. Enerji kullanımındaki farklılığın en belirgin nedeni devrelerdeki üretim inceliğinin birbirinden farklı olmasıdır. Ancak devrelerde yer alan ekipmanların performansları da bu farklılığa neden olmaktadır. Bu bölümde, farklı incelikte çalışan iki devrenin aynı kalitede ürün vermesinin nedenleri ve devrelerde yer alan ekipmanları performans farkları ve nedenleri sunulmaktadır.

Ürün kalitesi değerlendirilirken,

- Klinker dayanımı,
- Blaine, incelik, BET yüzey alanı değerleri
- Boyut dağılımının eğimi
- Kimyasal analiz
- Ürün dayanımı

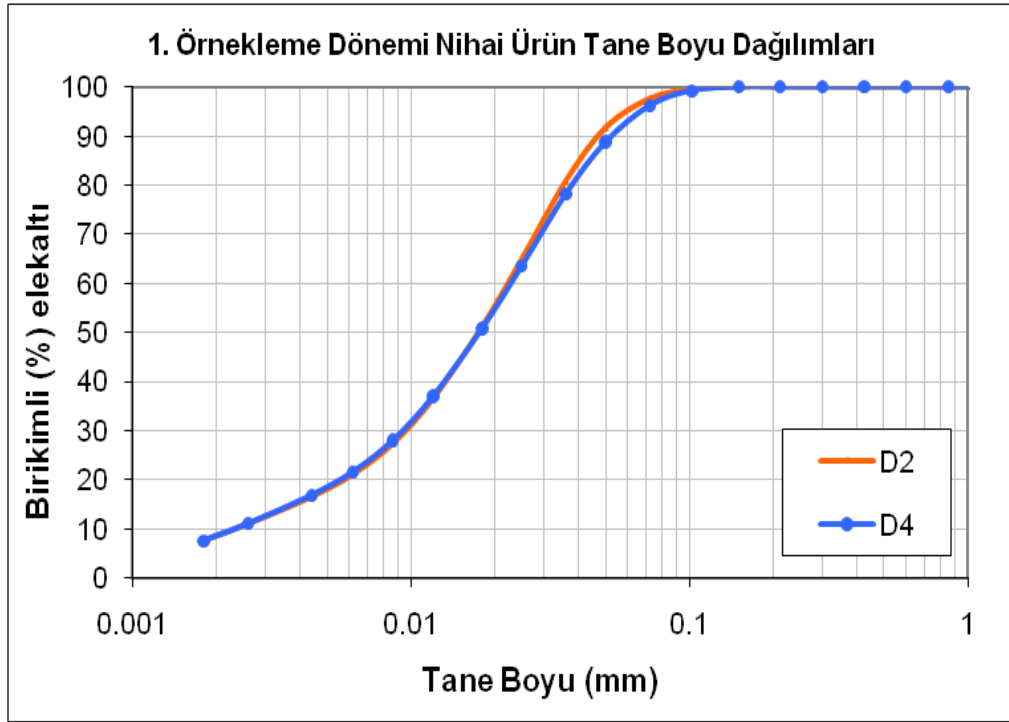
parametreleri göz önünde bulundurulmuştur.

Çizelge 7.1. 2 ve 4 No'lu devre klinkerlerine ait dayanım değerleri

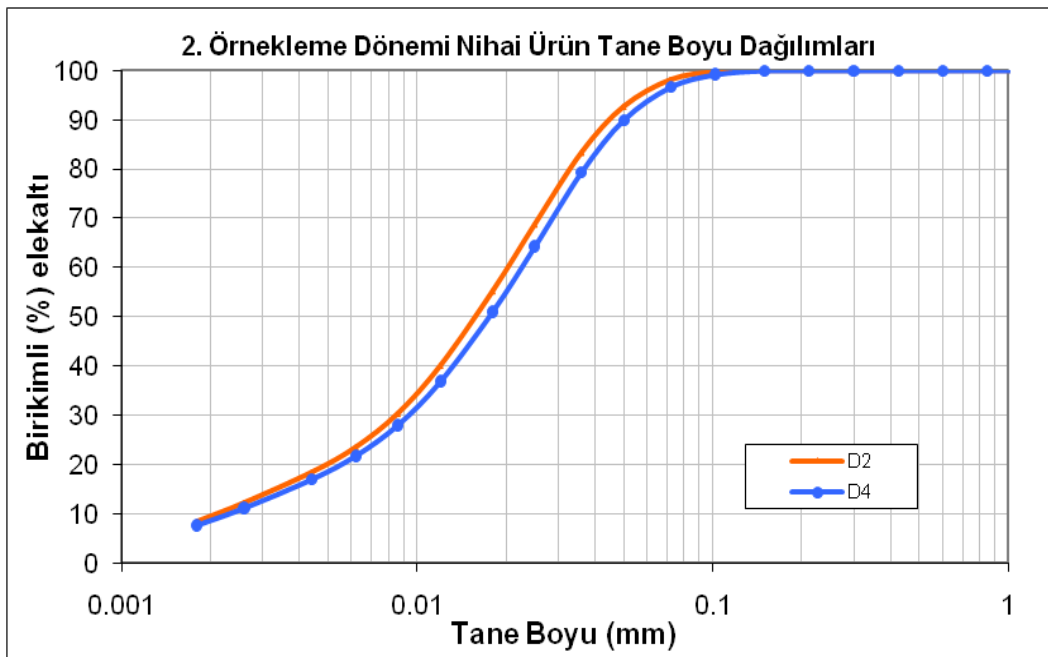
KLİNKER DAYANIMLARI	2 Günlük (MPa)	7 Günlük (MPa)	28 Günlük (MPa)
2 No'lu 1. Örnekleme	28.06	39.53	51.01
4 No'lu 1. Örnekleme	26.88	38.55	50.82
2 No'lu 2. Örnekleme	27.37	39.34	50.33
4 No'lu 2. Örnekleme	25.90	41.10	51.11
2 No'lu 3. Örnekleme	26.39	39.24	49.64
4 No'lu 3. Örnekleme	30.41	43.16	52.48

Çizelge 7.1'de dayanım değerleri verilmektedir. Klinker dayanım değerlerinin birbirlerine benzer olduğu, sadece 4 No'lu devre 3. örnekleme döneminde dayanım değerinin bir miktar farklı olduğu anlaşılmaktadır. Dayanım değerlerinden, her iki değirmene yapılan klinker beslemesinin dayanım anlamında birbirlerine benzer olduğu dolayısıyla dayanım farklılığının hammaddeden bağımsız olduğu anlaşılmaktadır.

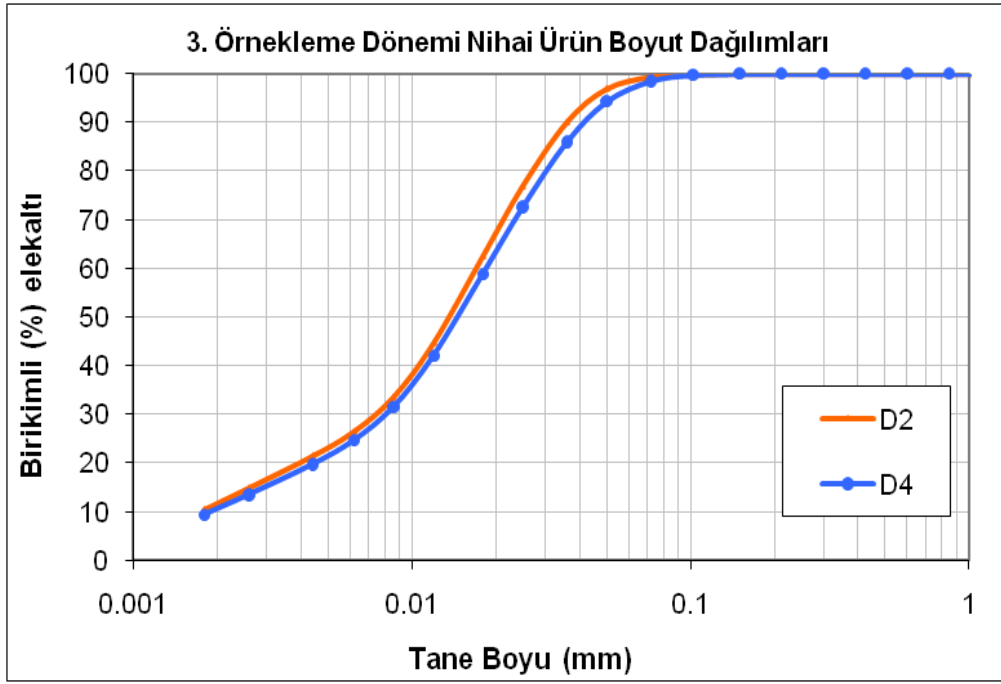
Her iki çimento öğütme devresinin son ürünlerinin boyut dağılımlarının kıyası Şekil 7.1 Şekil 7.2 ve Şekil 7.3'de sunulmaktadır. Şekillerden de izlenebileceği gibi 2 No'lu devrenin ürün boyut dağılımı aynı ürün kalitesinde 4 No'lu devreye kıyasla daha ince olmaktadır.



Şekil 7.1. 1. örneklemeye döneme ait nihai ürün tane boyu dağılımları



Şekil 7.2. 2. örneklemeye döneme ait nihai ürün tane boyu dağılımları



Şekil 7.3. 3. Örnekleme dönemine ait nihai ürün tane boyu dağılımları

Boyut dağılımındaki farklılık sadece incelik yönünden değil aynı zamanda eğrilerin yatıklığı da her iki devre için değişkenlik göstermektedir. Çizelge 7.2’de aynı örnekleme dönemlerinde son ürün boyut dağılımlarının Rosin-Rammler eşitliği kullanılarak (Eşitlik 2) hesaplanan eğim değerleri sunulmaktadır. Dağılımlardaki eğim değerinin artması daha dik bir boyut dağılımına işaret etmektedir.

$$Q(x)=1-\exp[-(x/d_0)^n] \dots\dots\dots(2)$$

Bu eşitlikte;

x : Tane boyu

Q(x) : Birikimli elekaltı %

n : Eğim

Çizelge 7.2. Ürün boyut dağılımlarına ait eğim değerleri

Örnekleme Dönemi	2 No'lu Öğütme Devresi		4 No'lu Öğütme Devresi	
	Eğim	R ²	Eğim	R ²
1	1.099	0.9985	1.039	0.9993
2	1.062	0.9988	1.054	0.9989
3	1.091	0.9984	1.071	0.9970

Bir diğer çalışmada da ürünlere ait kimyasal analiz yapılmıştır. Bu çalışmanın sonucu Çizelge.7.3'de sunulmaktadır.

Çizelge 7.3. Kimyasal analiz sonuçları

	LOI (%)	CaO (%)	Si ₂ O (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	Kalker (%)
Değirmen 2 Nihai Ürün	3.52	63.05	19.46	5.17	3.3	2.08	2.86	0.73	0.17	4.67
Değirmen 4 Statik Seperatör İnce	3.08	62	19.4	5.23	3.3	2.02	2.76	0.77	0.21	4.61
Değirmen 4 Nihai Ürün	2.68	62.28	19.89	5.14	3.25	2.04	2.46	0.68	0.17	4.26

Kimyasal analizi yapılan iki numunenin fraksiyonel bazda kalker analizleri de yapılmıştır. Kalker analizi sonuçları çizelge 7.4'de sunulmaktadır.

Çizelge 7.4. 2 ve 4 numaralı öğütme devrelerine ait ürün fraksiyonel kalker analizleri sonuçları

	D4	D2
	% Kalker	% Kalker
-150+32	2.65	2.73
-32+20	9.20	12.78
-20	88.15	84.49

Çizelge 7.2 'den izlenebileceği üzere aynı örnekleme dönemlerinde 4 No'lu devrenin boyut dağılımlarının daha yatık olduğu anlaşılmaktadır. Bölüm 4.4'de verildiği üzere yapılan önceki çalışmalarda aynı yüzey alanına sahip malzemelerde dik dağılımın daha iyi dayanım verdiği bildirilmektedir.

Ancak, dağılımın içerisinde bulunan malzemelerin karakteristiğinin de önemli olduğu bu çalışma sonucunda ortaya koyulmaktadır. Bu yatıklığın elde edilmesindeki en büyük etken, 4 No'lu değirmende statik separatör kullanımınıdır. Statik separatör kullanımı ile kalker oranı yüksek malzeme ürüne katılmakta, bunun sonucunda dağılım yatıklaştırılmakta ve ürünün ince fraksiyonundaki (20 mikron altı) kalker miktarı arttırılmaktadır. Ürünlerde bulunan kalkerin fraksiyonel bazda dağılımı incelendiğinde 4 No'lu devrede statik separatörün de etkisiyle 20 µm altına daha fazla kalkerin geçtiği saptanmıştır. Bu boydaki kalkerin dolgu etkisi yapıp ve dayanım üzerinde olumlu bir etki yaptığı düşünülmektedir. Bu etkinin test edilebilmesi amacıyla laboratuvar ortamında tesisten alınan numuneler Çizelge 7.5'de verilen oranlarda karıştırılarak dayanım üzerinde bir etki yaratıp yaratmadığı test edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan da görülebileceği gibi karışım numunenin dayanımı her iki bileşenden de daha yüksek bir değere ulaşmaktadır. Bu veriler ışığında dayanım farkını yaratan etkinin, statik separatörden kaynaklandığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 7.5. 4 No'lu değirmene ait statik separatör ve nihai ürün, ve karışım numuneleri dayanım sonuçları

NUMUNE ALINAN YER		ÇD4	ÇD4	ÇD4	ÇD4	ÇD4
		Nihai Ürün	Statik İnce	%95 NİHAİ ÜRÜN %5 STATİK İNCESİ	%90 NİHAİ ÜRÜN %10 STATİK İNCESİ	%85 NİHAİ ÜRÜN %15 STATİK İNCESİ
32 µ Üzeri	%	12.6-12.4	20.9-21.1	12.7	12.6	13.0
2 Günlük Dayanım	MPa	25.4	23.2	24.6	25.0	24.9
28 Günlük Dayanım	Mpa	50.6	48.3	52.4	53.3	51.4

Devrelerde yer alan ekipman performanslarındaki farklılığın nedenlerini üç ana kategoride ele almak gerekmektedir. Bunlar değirmen performansı, separatör performansı ve malzeme özelliklerindeki farklılık olarak değerlendirilmektedir.

Çizelge 7.6. Örnekleme dönemlerine ait güç, tonaj ve özgül enerji değerleri

	2 numara			4 numara		
	1. Örnekleme	2. Örnekleme	3. Örnekleme	1. Örnekleme	2. Örnekleme	3. Örnekleme
Değirmen Güç (kW)	1392	1406	1473	2400	2460	2410
Dinamik Separatör Güç (kW)	115.2	115.2	126.4	71.1	70.2	72.9
Toplam Tonaj (t/h)	35.15	41.42	42.18	81.46	94.56	81.66
Devre Özgül Enerji Tüketimi (kWh/t)	42.88	36.73	37.92	30.34	26.76	30.41

7.1 Bilyalı Değirmen Performansı

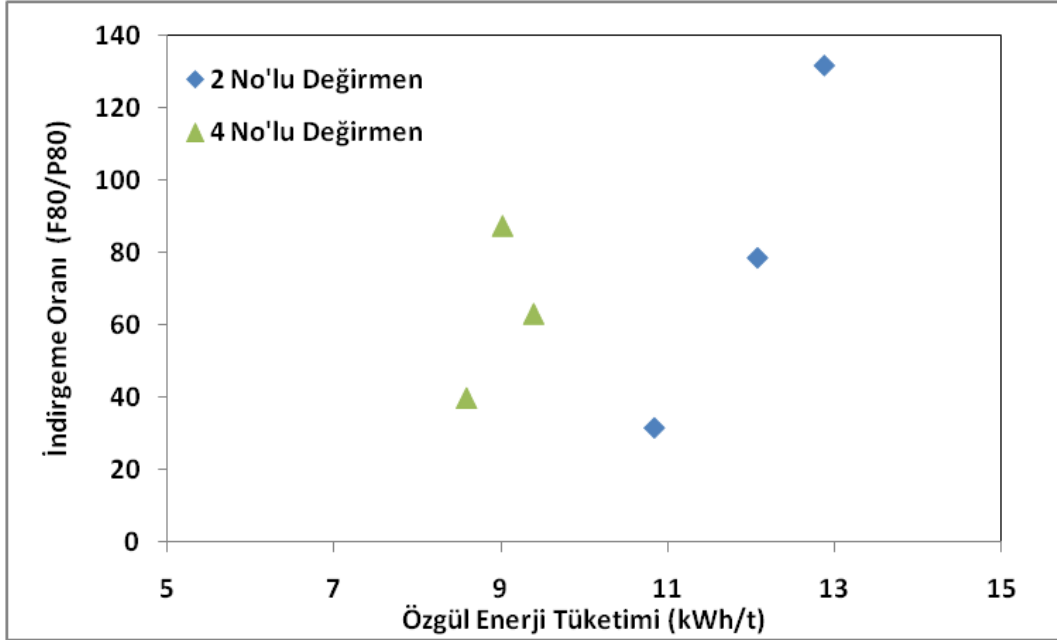
Bilyalı değirmen performanslarını değerlendirmek amacıyla değirmen girişi ve değirmen çıkışı tane boyu dağılımları ve sadece değirmende gerçekleşen birim enerji tüketimleri incelenmiştir. Elde edilen veriler Çizelge 7.6'da sunulmaktadır. Beklenildiği üzere indirgeme oranındaki artışa bağlı olarak spesifik enerji tüketimlerinde de artış gözlemlenmektedir. Bu karakteristik davranış her devre için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Şekil 7.4'de görüldüğü üzere aynı indirgeme oranı için 2 No'lu değirmende daha fazla enerji tüketimi gözlemlenmektedir.

Çizelge 7.7. 2 No'lu Değirmen örnekleme dönemlerine, tonaj, F80, P80, değirmen özgül enerji tüketimi, İndirgeme oranı değerleri

	2 Numara		
	1. Örnekleme	2. Örnekleme	3. Örnekleme
Değirmen Tonaj (t/h)	128.48	116.43	114.37
F80 (mm)	3.21	7.30	9.33
P80 (mm)	0.10	0.09	0.07
Değirmen Özgül Enerji Tüketimi (kWh/t)	10.83	12.08	12.88
İndirgeme Oranı F(80)/P(80)	31.52	78.40	131.65

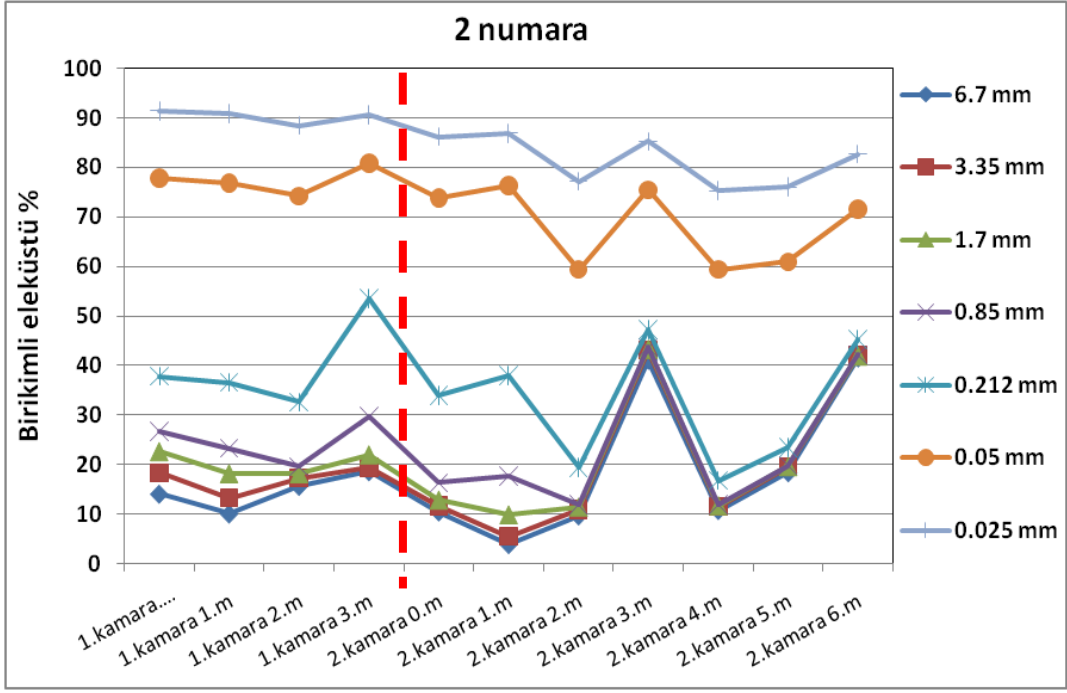
Çizelge 7.8. 4 No'lu Değirmen örnekleme dönemlerine, tonaj, F80, P80, değirmen özgül enerji tüketimi, İndirgeme oranı değerleri

	4 Numara		
	1. Örnekleme	2. Örnekleme	3. Örnekleme
Değirmen Tonaj (t/h)	279.54	272.65	256.39
F80 (mm)	4.59	8.83	5.52
P80 (mm)	0.12	0.10	0.09
Değirmen Özgül Enerji Tüketimi (kWh/t)	8.59	9.02	9.40
İndirgeme Oranı F(80)/P(80)	39.85	86.99	63.1

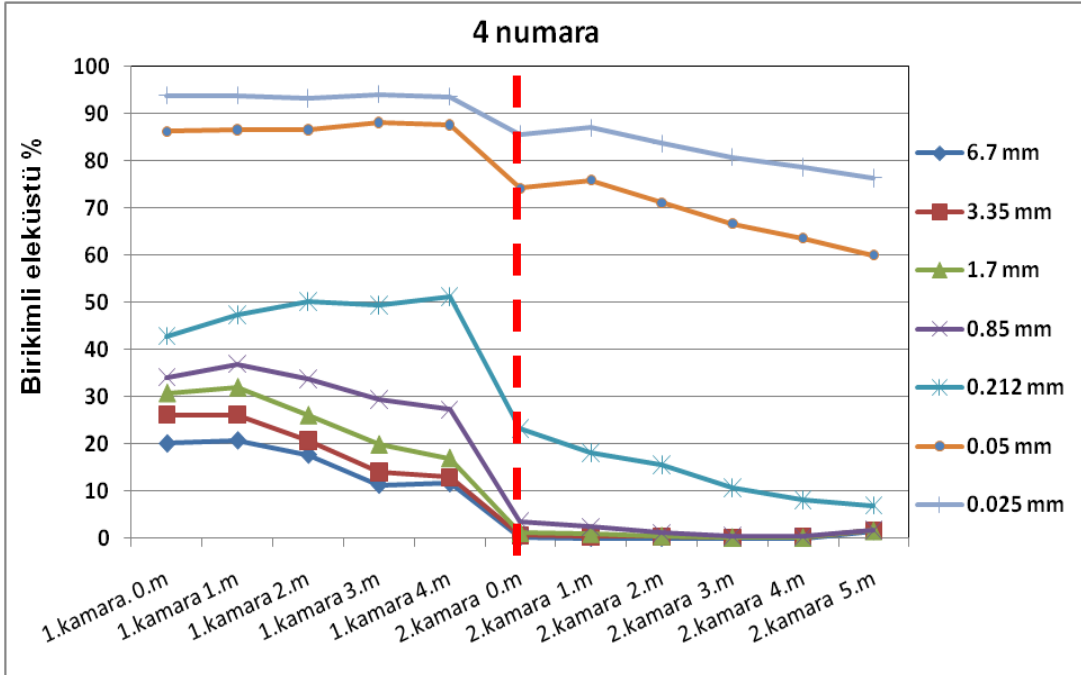


Şekil 7.4. İndirgeme oranı – değirmen özgül enerji tüketimi grafiği

3. örnekleme döneminde ani duruş ile değirmen içerisinde alınan veriler incelendiğinde farklı boydaki malzemelerin değirmen eksenli boyunca kaybolma hızları Şekil 7.5. ve 7.6'da sunulmaktadır. Grafiklerden de izlenebileceği gibi 4 No'lu devreye ait kaybolma hızlarının 2 No 'lu devreye göre daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 7.5. 2 No'lu değirmene ait tanelerin kaybolma hızı grafiği



Şekil 7.6. 4 No'lu değirmene ait tanelerin kaybolma hızı grafiği

İki kamaralı bilyalı değirmenlerde birinci kamaranın ikinci kamaraya besleme hazırlayacak şekilde tasarlanması gerekmektedir. Aktif kullanılan gücün belirli bir oranı bu amaç için kullanılmaktadır. Değirmen performansının güç kullanımına bağlı olarak ayrı ayrı değerlendirilebilmesi amacıyla birinci ve ikinci kamarada

harcanan güç değerleri ayrı olarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar yapılırken FLS formülü kullanılarak yapılmıştır. Eşitlik kullanılarak yapılan hesaplamalara ait veriler ve sonuçları Çizelge 7.9 'de verilmektedir.

$$\text{Net kW} = 0.515 * F * n * u * D * a \dots\dots\dots(3)$$

F : bilya ağırlığı (ton)

N : değirmen hızı (dev/dk)

u : tork faktörü (bilya için 0.75)

D : değirmen efektif çapı (m)

a : tork mesafesi (m) (ampirik formül)

Çizelge 7.9. 2 ve 4 No'lu Çimento Değirmeni 1. ve 2. kamara güç değerleri

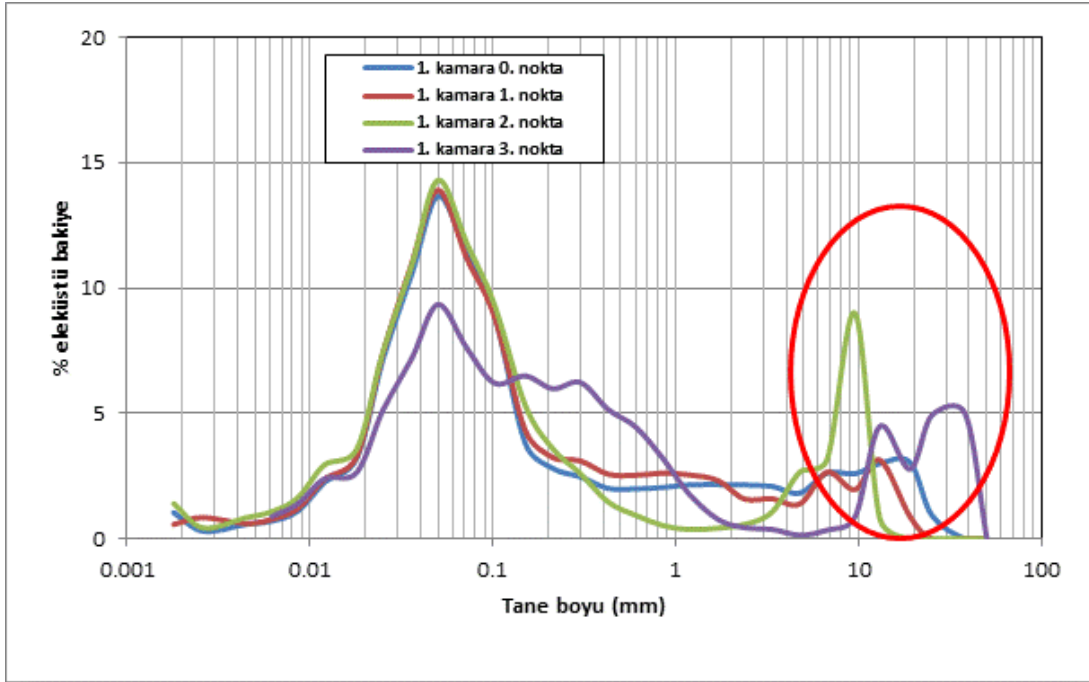
	2 Numara		4 Numara	
	1. Kamara	2. Kamara	1. Kamara	2. Kamara
Bilya Doluluğu (%)	28.20	32.86	27.16	30.20
Değirmen Effektiv Çapı (m)	3.26	3.30	3.84	3.95
Bilya Tonajı (t)	52	77.70	70.5	95.2
Güç (kW)	678	953	1131	1299
Toplam Güç %si	42	58	47	53

Her iki devreyi de karşılaştırdığımızda 4 No'lu devrede birinci kamarada kullanılan gücün 2 No'lu devreye göre % 5 daha fazla olduğu görülmektedir. Tasarıma bağlı olarak bu değirmendeki güç kullanımının 1. kamarada daha etkin bir kırma ortamı yarattığı düşünülmektedir.

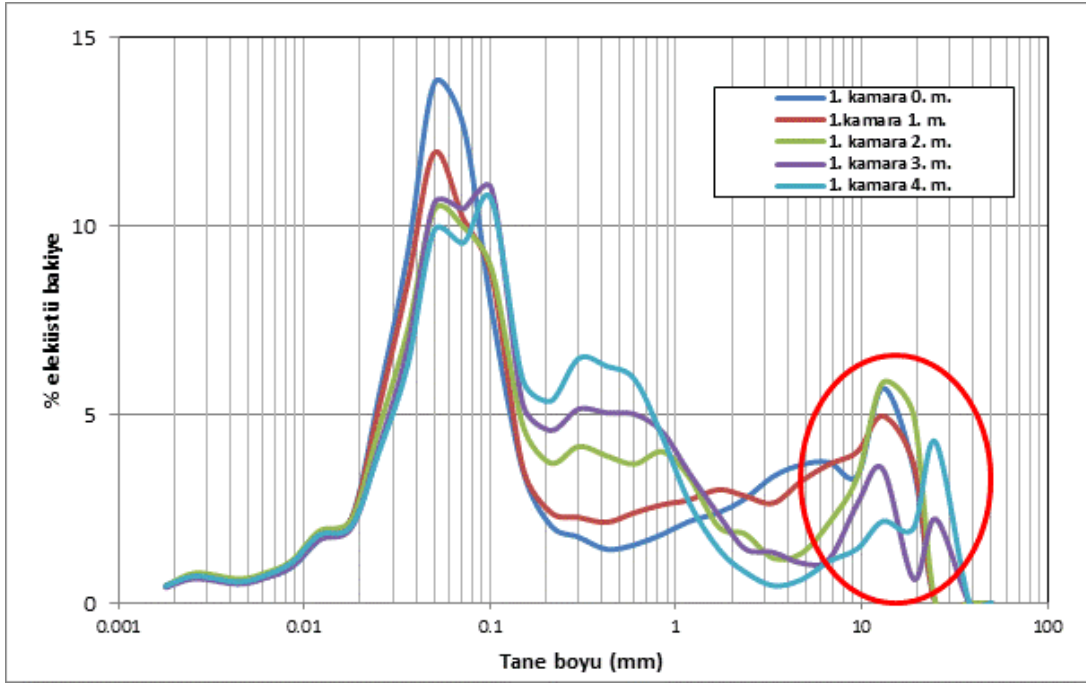
Değirmenlerin bilya boyu dağılımları incelendiğinde 2 No'lu değirmenin hem 1. Kamara hem de 2. Kamara için 4 No'lu değirmene göre daha iri bir bilya dağılımına sahip olduğu gözlenmektedir. Ancak her iki devre koşulunda da birinci kamara çıkış noktasında iri tanelerin düşük kırılma hızına bağlı olarak biriktikleri gözlemlenmektedir. Bilya Boyu dağılımları çizelge 7.10' da verilmektedir.

Çizelge 7.10. 2 ve 4 No'lu değirmenlere ait mevcut bilya şarjı

Bilya Boyu (mm)	2 No'lu Değirmen		Bilya Boyu (mm)	4 No'lu Değirmen	
	% Ağırlık			% Ağırlık	
	1.Kamara	2.Kamara		1.Kamara	2.Kamara
90	35	-	90	24	-
80	31	-	80	29	-
70	24	-	70	27	-
60	10	-	60	20	-
50	-	-	50	-	-
40	-	10	25x25(silpebs)	-	9
30	-	17	22x22(silpebs)	-	18
25	-	28	19x19(silpebs)	-	35
20	-	45	16x16(silpebs)	-	38
Toplam	100.0	100.0	Toplam	100.0	100.0

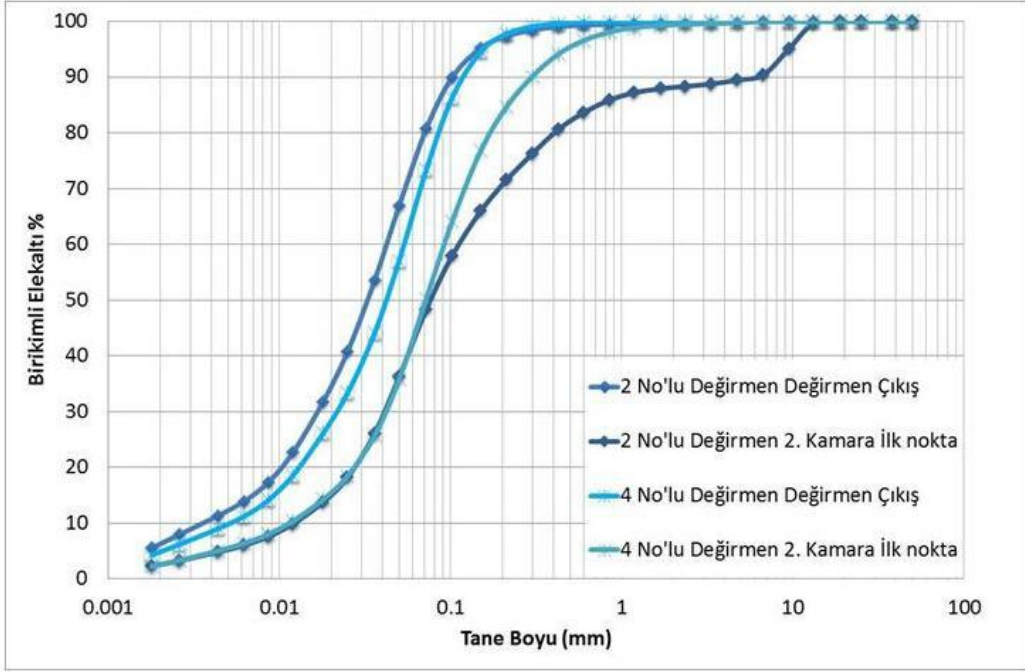


Şekil 7.7. 2 No'lu Öğütme Devresi değirmen içi 1. Kamara %bakiye değerleri

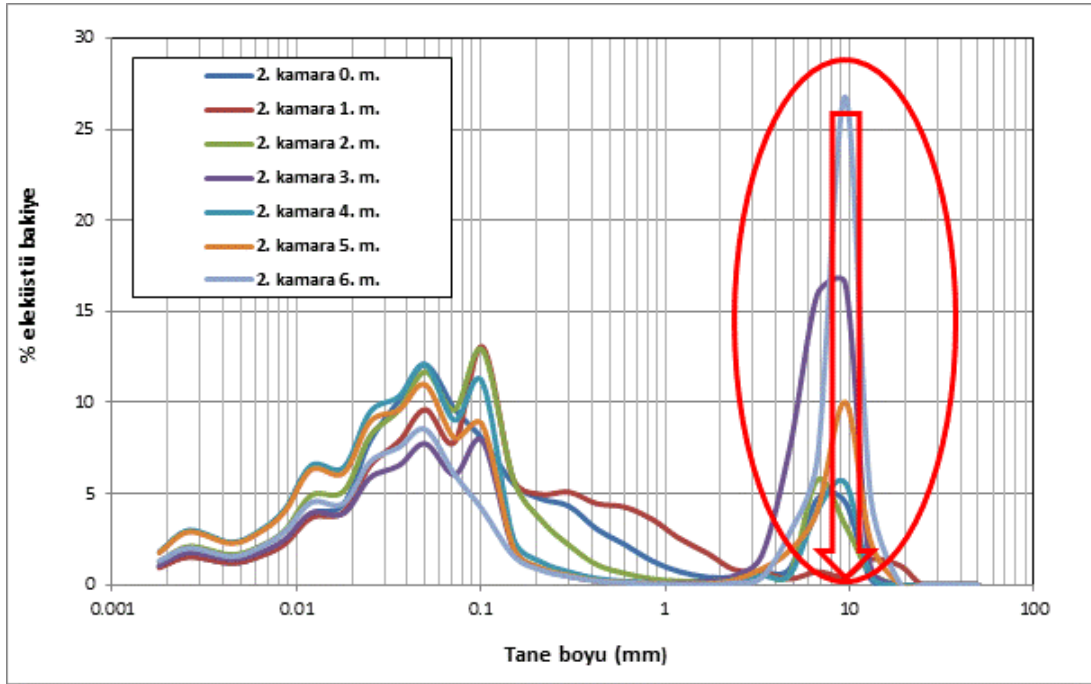


Şekil 7.8. 4 No'lu Öğütme Devresi değirmen içi 1. Kamara %bakiye değerleri

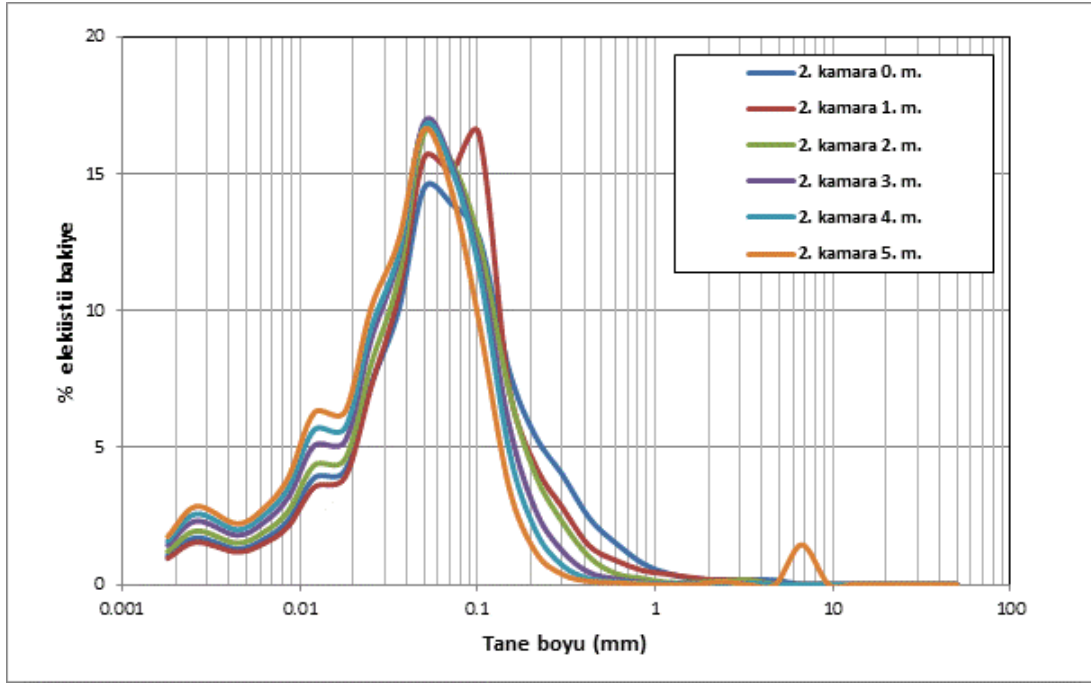
İkinci kamara performanslarında ise 2 No'lu devrede iri malzeme birikimi gözlemlenmektedir. 4 No'lu devrede ise öğütme performansı beklendiği şekilde gerçekleşmektedir (Şekil 7.7 ve 7.8). 4 No'lu devredeki silpebs dağılımı 2 No'lu değirmendeki bilya dağılıma göre daha incedir ve daha fazla yüzey sağlamaktadır. Buna bağlı olarak da kırılma hızının daha yüksek olduğu düşünölmektedir. Ayrıca ikinci kamara performansında ara bölme ızgarasının davranımı da önem arz etmektedir. 2' No'lu devrede ara bölme ızgarası iri tanelerin ikinci kamaraya geçişine olanak tanıdığı için buradaki bilyaların bu taneleri kırma olasılıkları oldukça düşük olarak gerçekleşmektedir.



Şekil 7.9. 2 ve 4 No'lu değirmenler 2. Kamara performansı



Şekil 7.10. 2 No'lu Öğütme Devresi değirmen içi 2. Kamara %bakiye değerleri

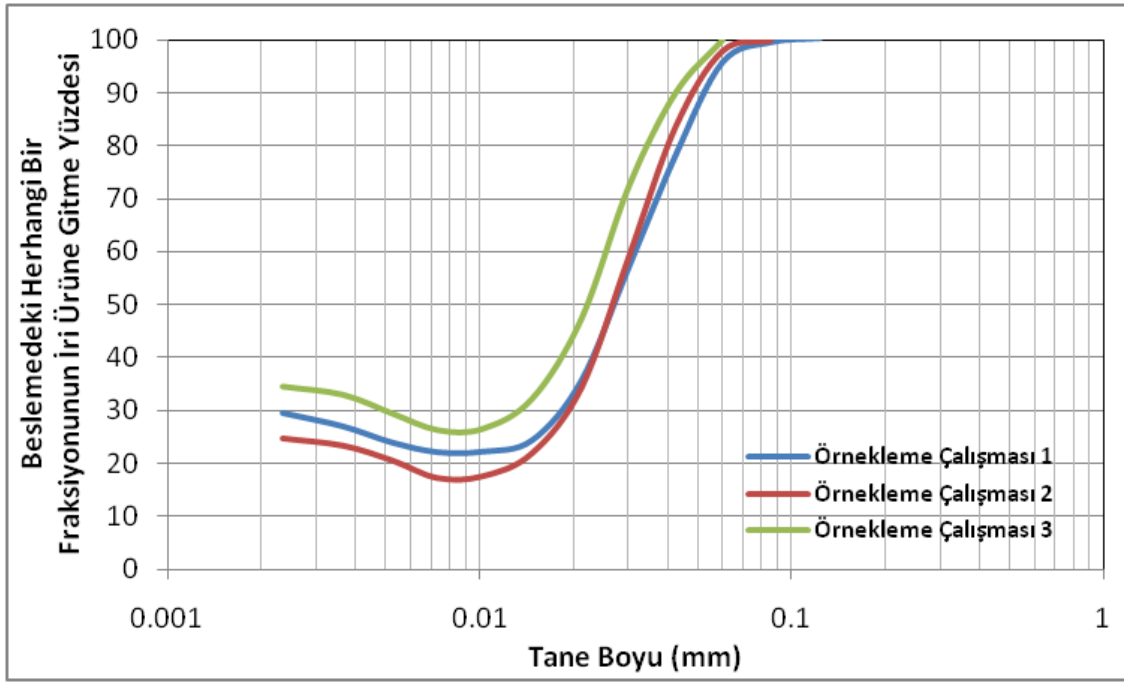


Şekil 7.11. 4 No'lu Öğütme Devresi değirmen için 2. Kamara %bakiye değerleri

7.2. Sınıflandırıcı Performansı

7.2.1. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi

Her üç örnekleme dönemi için madde denkliği sonucunda elde edilen separatör etrafı düzeltilmiş tane boyu dağılımları ve akış değerleri kullanılarak çizilen 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrisi şekil 7.12'de verilmektedir.



Şekil 7.12. 2 No'lu Çimento Öğütme Devresi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrisi

2 No'lu Çimento Öğütme Devresi'nde yer alan dinamik separatörün kesme boyu 1.örnekleme döneminde 22.70 mikron, bypass miktarı ise % 22.14 olarak hesaplanmıştır. 2. örnekleme döneminde ise separatörün kesme boyu 24.36 mikron, bypass miktarı ise %15.11 olarak hesaplanmıştır. 3. örnekleme döneminde ise separatörün kesme boyu 22 mikron, bypass miktarı ise %26.3 olarak hesaplanmıştır. 1.örnekleme döneminde separatör besleme tonajı 129.18 t/h iken bu değer 2.örnekleme döneminde 117.23 t/h, 3. örnekleme döneminde ise 114.37 t/h'dir.

Separatör performansı değerlendirilirken dikkat edilmesi gereken bir diğer kavram ise toz yükü miktarıdır. Toz yükü birim hacimdeki havanın taşıdığı malzeme miktarı olarak ifade edilmektedir. Literatürde genel olarak bu değer, separatör girişinde 2.5 kg/m^3 'ten, separatör çıkışında (ince ürün kısmı) ise 0.8 kg/m^3 'ten fazla olmaması gerektiği belirtilmektedir. Bu oranların aşılması durumunda separatör performansının olumsuz etkileneceği bildirilmektedir. Bu oran PSP separatörlerde besleme için 1.8 kg/m^3 ve ince ürün için 0.8 kg/m^3 olarak belirtilmiştir. Çizelge 7.11'de PSP separatöre ait tonaj ve toz yükü değerleri verilmektedir.

Çimento öğütme devresinden istenilen ürün alındığı takdirde separatör kaçak miktarının önemi olmamaktadır. Bu nedenle separatörler maksimum kapasitede dolayısıyla toz yüklerinde çalıştırılmalıdır. Ayrıca havalı separatörlerde maksimum hava kullanılması ekipmandaki kaçak miktarını da azaltmaktadır. Bu nedenle separatörler maksimum hava hızlarında işletilmeli ve incelik rotor hızı ile ayarlanmalıdır.

Çizelge 7.11. 2 No 'lu separatörün maksimum hava miktarındaki limit değerleri

	Separatör Besleme	Separatör Ürün
Toz Yükü (kg/m ³)	1.8	0.8
Tonaj (t/s)	200	88

2 numaralı değirmene ait örnekleme dönemlerinin madde denkliği sonucunda hesaplanan separatör etrafı akış değerleri ve kontrol odası verileri ile separatör filtre fanı tasarım değerlerinden faydalanılarak hesaplanan toz yükü miktarları Çizelge 7.12'de verilmektedir

Çizelge 7.12. Separatöre ait üretici firma tarafından verilen ve hesaplanan toz yükü değerlerinin karşılaştırılması

1.örnekleme	Üretici Firma Tarafından Verilen Toz Yükü Değeri(kg/m³)	Hesaplanan Toz Yükü Değeri(kg/m³)
Separatör Girişi	1.8	1.39
Separatör İncesi	0.8	0.38

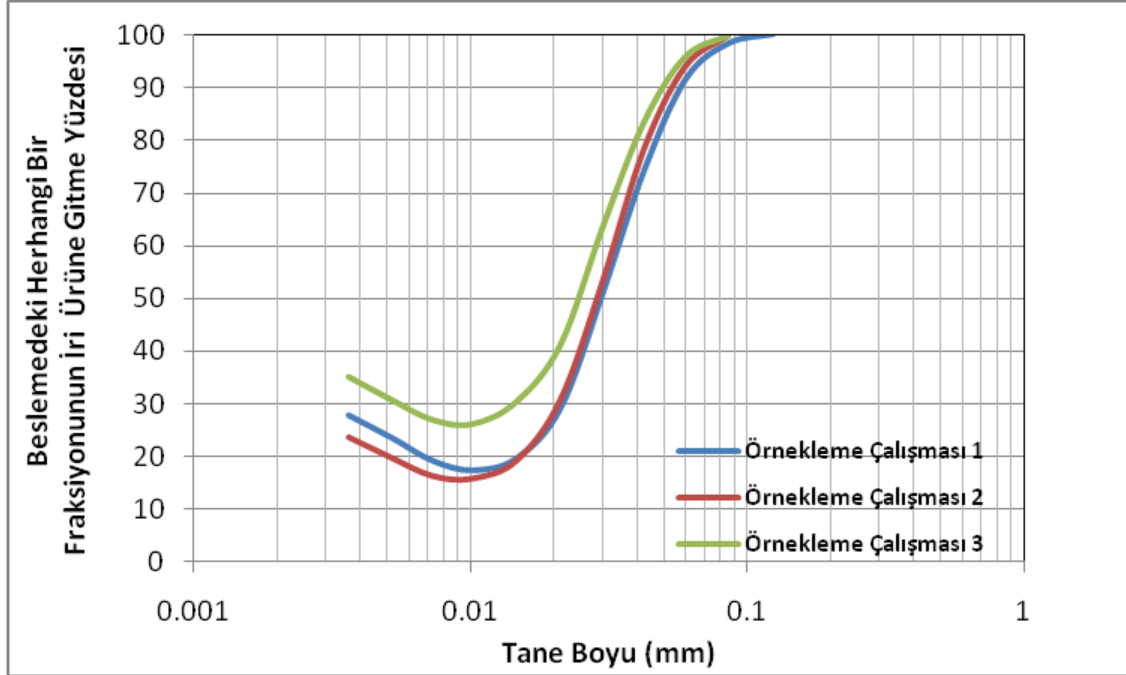
2.örnekleme	Üretici Firma Tarafından Verilen Toz Yükü Değeri(kg/m³)	Hesaplanan Toz Yükü Değeri(kg/m³)
Separatör Girişi	1.8	1.25
Separatör İncesi	0.8	0.46

3.örnekleme	Üretici Firma Tarafından Verilen Toz Yükü Değeri(kg/m³)	Hesaplanan Toz Yükü Değeri(kg/m³)
Separatör Girişi	1.8	1.27
Separatör İncesi	0.8	0.47

Çizelge 7.12' de görüldüğü üzere toz yükü miktarları verilen sınır değerlerin altındadır, bu durum düşük sayılabilecek bypass miktarlarını açıklamaktadır. Separatörler belirtilen toz yükü değerlerinin altında işletilebilir ancak bu durum kapasite kaybına yol açmaktadır. Yukarıda da belirtildiği gibi separatörlerin maksimum toz yükü ve maksimum kapasitede çalıştırılmaları gerekmektedir.

7.2.2. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi

Her üç örnekleme dönemi için madde denkliği sonucunda elde edilen separatör etrafı düzeltilmiş tane boyu dağılımları ve akış değerleri kullanılarak çizilen 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrisi şekil 7.13' de verilmektedir.



Şekil 7.13. 4 No'lu Çimento Öğütme Devresi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrisi

4 No'lu Çimento Öğütme Devresi'nde yer alan dinamik separatörün kesme boyu 1. örnekleme döneminde 24.68 mikron, bypass miktarı ise % 17.43 olarak hesaplanmıştır. 2. örnekleme döneminde ise separatörün kesme boyu 24.36 mikron, bypass miktarı ise % 15.11 olarak hesaplanmıştır. 3.örnekleme döneminde ise separatörün kesme boyu 24.7 mikron, bypass miktarı ise % 26.18 olarak hesaplanmıştır. 1. örnekleme döneminde separatör besleme tonajı 276.97 t/h iken bu değer 2. örnekleme döneminde 266 t/h, 3. örnekleme çalışmasında ise 250.39 t/h'dir.

Madde denkliği sonucunda hesaplanan separatör etrafı akış değerleri ve kontrol odası verileri ile separatör filtre fanı tasarım değerlerinden faydalanılarak hesaplanan toz yükü miktarları Çizelge 7.13'de verilmektedir. Ancak bu değerlerin

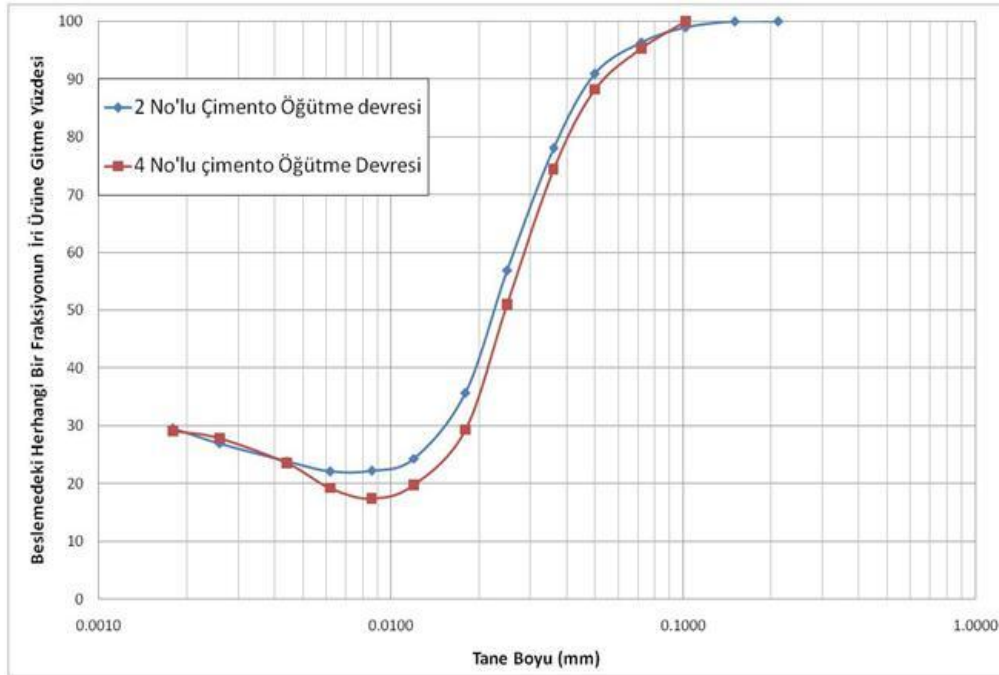
yüksek olmasının separatör performansı üzerinde olumsuz etkiye neden olabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 7.13. Separatöre ait üretici firma tarafından verilen ve hesaplanan toz yükü değerlerinin karşılaştırılması

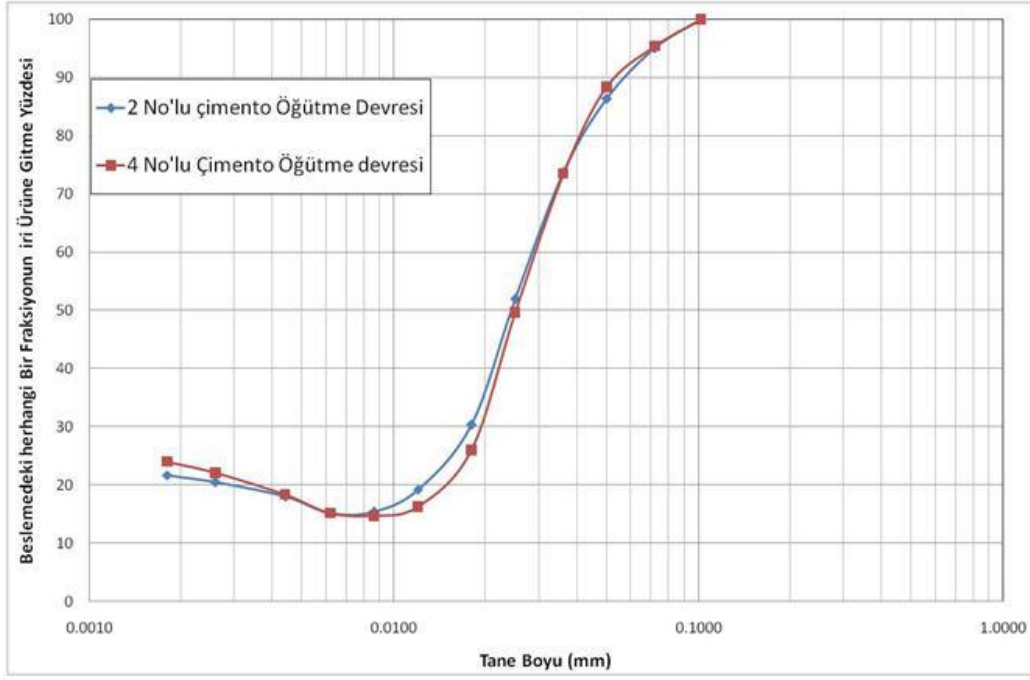
1.örnekleme	Üretici Firma Tarafından Verilen Toz Yükü Değeri(kg/m ³)	Hesaplanan Toz Yükü Değeri(kg/m ³)
Separatör Girişi	1.8	2.85
Separatör İncesi	0.8	0.84

2.örnekleme	Üretici Firma Tarafından Verilen Toz Yükü Değeri(kg/m ³)	Hesaplanan Toz Yükü Değeri(kg/m ³)
Separatör Girişi	1.8	2.74
Separatör İncesi	0.8	0.97
3.örnekleme	Üretici Firma Tarafından Verilen Toz Yükü Değeri(kg/m ³)	Hesaplanan Toz Yükü Değeri(kg/m ³)
Separatör Girişi	1.8	2.81
Separatör İncesi	0.8	0.91

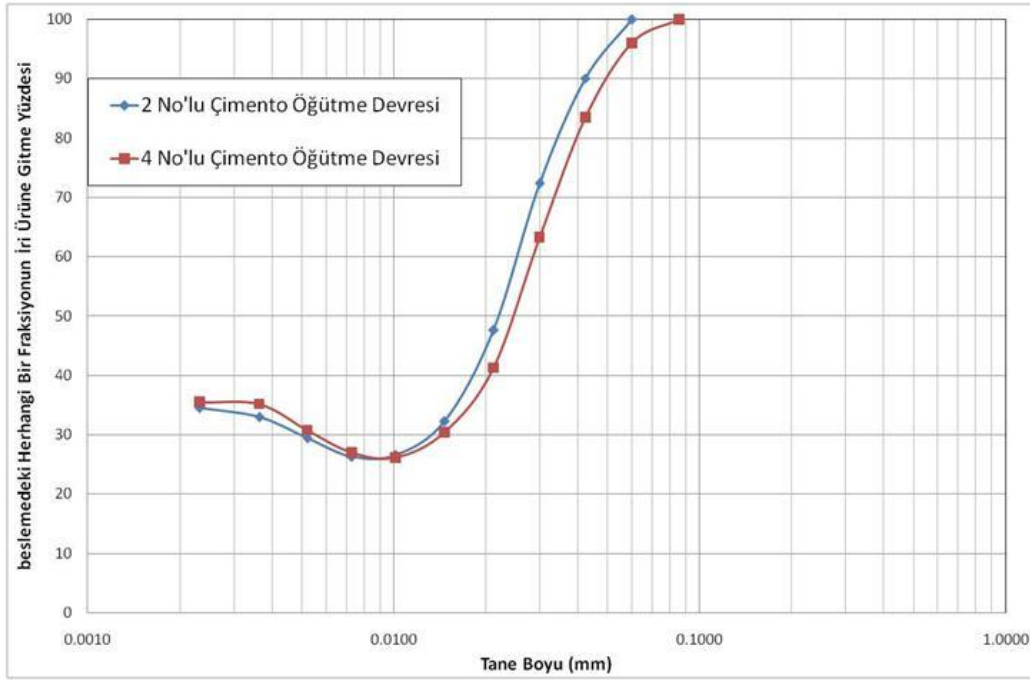
Her üç örnekleme dönemi için dinamik separatör verimleri karşılaştırılmıştır. 1, 2 ve 3. örnekleme dönemleri için 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri dinamik separatörlerine ait gerçek performans eğrileri sırasıyla şekil 7.14, şekil 7.15 ve şekil 7.16'de bu dönemlere ait veriler ise Çizelge 7.14'de verilmektedir.



Şekil 7.14. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri 1. örnekleme dönemi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.15. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri 2. Örnekleme dönemi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri



Şekil 7.16. 2 ve 4 No'lu Çimento Öğütme Devreleri 3. Örnekleme dönemi dinamik sınıflandırıcı gerçek performans eğrileri

Çizelge 7.14. Örnekleme dönemlerine ait separatör performanslarının karşılaştırılması

	1.örnekleme		2.örnekleme		3.örnekleme	
	2 No'lu Ç.Ö.D	4 No'lu Ç.Ö.D	2 No'lu Ç.Ö.D	4 No'lu Ç.Ö.D	2 No'lu Ç.Ö.D	4 No'lu Ç.Ö.D
Üretim Tonajı (t/h)	35.15	81.49	43.42	94.56	42.20	81.70
Separatör Besleme tonajı (t/h)	129.18	276.97	117.23	266.00	114.37	250.39
Kesme Boyu (mikron)	22.70	24.68	24.36	25.09	22.00	24.70
Bypass (%)	22.14	17.43	15.11	14.72	26.30	26.18

Çizelge 7.12., 7.13 ve 7.14'den izlenebileceği üzere, 4 No'lu devre separatörü yüksek toz oranlarında çalışmasına rağmen daha düşük bypass miktarına sahiptir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Devrede yer alan ekipman performansları ile ekipmanlara ait işlem değişkenlerinin etkileri tartışılmıştır.
- Değirmen içi bilya dağılımının öğütme verimini arttıracak şekilde değiştirilmesi gerektiği anlaşılmıştır. Bu konuda detaylı çalışma yapılması önerilmektedir.
- Devrede bulunan dinamik separatörün üreticiler tarafından verilen toz yükü limitlerinde çalıştırılmasının, separatör performansı anlamında herhangi bir olumsuzluk yaratmadığı dolayısıyla separatörlerin bu değerlere zorlanması önerilmekte böylelikle aynı ürün kalitesinde devrede harcanan özgül enerjiyi optimize ettiği anlaşılmıştır.
- Hammadde özellikleri sabit tutulduğunda, nihai ürün dağılımının, şeklinin ve içeriğinin dayanım üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Optimum dağılımın belirlenmesi için detaylı çalışma yapılması gerekmektedir.
- Statik sınıflandırıcıya sahip devrelerde, yürütülen deneysel çalışmaların olumlu etki vermesi neticesinde, statik ince akışının son ürüne verilmesinin dayanım üzerinde olumlu etkiye sahip olacağı anlaşılmaktadır. Statik separatörden ürüne ilave edilecek boyutun belirlenmesi veya diğer bir deyişle statik sınıflandırıcının kesme boyutunun optimizasyonuna yönelik araştırma yapılması ve bu çalışmanın bir üst maddedeki araştırma başlığıyla birleştirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Aksarı, B., 1990, Balıkesir Çimento Fabrikası için Hammadde Seçimi, Hacettepe Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi

Altun, A., 1999, Fırın sistemlerinin klinkerlerin mikro yapılarına etkileri. Çimento ve Beton Dünyası, V:3, s. 33-41.

Altun, O., 2007, Comparison of Different Efficiency Curve Approaches in Modelling of Air Classifiers, MSc.

Altun, O., 2010, Decreasing Specific Energy Consumption of a Cement Plant by Adjusting the Separator Parameters, IMPS 2010.

Anonim, 2004, Buell Division of Fisher-Klosterman Inc., Introduction to Air Classification

Austin, L.G., Rogers, R.S.C., 1985, Powder Technology in Industrial Size Reduction, Powder Technology, Vol. 42, No. 1, pp. 91-109

Bond, F.C., 1960, Three Principles of Comminution, Mining Congress Journal, August, 53-56.

Chatterjee, A. K., 1991, Cement and Concrete Science and Technology, 1 st Ed. New Delhi

Duda, W. H., 1985, Cement-Data-Book International Process Engineering in the Cement Industry, Volume 1

Gouda, G.,R., 1981, Technical Aspects of Comminution in the Cement Industry-Part-1, World Cement Technology, April 112-12

Italcementi Report, 2005

Kellerwessel H.A.M., 1996, High pressure particle bed comminution, Engineering and Mining Journal. - 1996. - s. 45-52

Knoflicek, M., 2004, Classifiers and Separators, Innovations in Portland Cement Manufacturing, Edited by, Bhatti, J.I., Miller, F.M., Kosmatka, pp. 519-539

Kuhlmann, K., Ellerbrock, H.G. and Sprung, S., 1985, Particle size distribution and properties of cement, Part I: Strength of portland cement, ZKG, No. 6, 136-145

Labahn, O., Kohlhaas, B., 1983, Cement Engineer's Handbook, Bauverlag - Wiesbaden

Locher, F. W.; Richartz, W.; and Sprung, S., "Setting of Cement–Part I: Reaction and Development of Structure;" ZKG INTERN. 29, No. 10, 1976, pages 435 to 442.

Manias C., Madsen I.C. and Retallack D. (2001) "Plant Optimisation and Control Using Continuous On-line XRD for Mineral Phase Analysis", ZKG International, 54(3),138-145.

Özer C.E., Ergün L., Benzer H., 2002, "Modelling of the Classification Behaviour of the Diaphragms Used in Multi-Compartment Mills" Proc. of 9th Int. Mineral Processing Symposium Extended Abstracts, 18-20 September Cappadocia Turkey pp148-150.

Refstrup, E., 1992, Recent Advances in Agglomeration During Spray Drying, Niro A/S, Copenhagen, Denmark

Richardson, J.F., Harker, J.H., Backhurst, J.R., 2002, Chemical Engineering Particle Technology and Separation Processes, Vol. 2

Stoiber, W., Trenkwalder, J., Pernkopf, H., Beigl, J., 1994, Modernization of the Cement Grinding Plant at the Kirchbichl Works of Pelmooser Zementwerke AG by Installing a MFL Pregrinding System, ZKG, No. 3, pp. 94-96

Sutoh, K., 1992, Cement Industry Technical Conference, Record of Conference Papers

Taggart A.F., 1945, Handbook of mineral Dressing, Wiley, New York

Troxell, G.E., Davis, H.E., Kelly, J.W., 1968, Composition and Properties of Concrete, McGraw-Hill, New York, 2nd edition.

TS EN 197-1, 2002, Türk Standartları Enstitüsü, Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.

Wiley- VCH, 2007, Ullmann's Handbook Modelling and Simulation

Yalçın, H., Gürü M., 2006, Çimento ve Beton

Yıldız,N., 2010, Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme 2. Baskı (188-191)

Zhang, Y.M. and Napier-Munn, T.J., 1995, Effects of particle size distribution, surface area and chemical composition on portland cement strength, Powder Technology, 83,

245-252

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ayşegül Haktanır

Doğum Yeri : Isparta

Doğum Yılı : 1984

Medeni Hali :Evlü

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1999-2002 : Keçiborlu Anadolu Lisesi

Lisans: 2003-2007 : Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü

Yabancı Dil: İngilizce