

Çimento Öğütme Devrelerinin Simulasyonla Tasarımı ve Optimizasyonu

H.Ergin
İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İstanbul

O.Gür
Nuh Çimento A.Ş.

ÖZET: Çimento üretiminde boyut küçültme işlemleri enerji tüketiminin yoğun olduğu bir aşama olup, gerek proses ekonomisi gerekse nihai ürün kalitesi açısından optimum öğütme devresi tasarım ve işletilmesine ulaşılması için araştırmalar sürekli olarak devam etmektedir. Bu çalışmanın ilk aşamasında; Yüksek Basıncılı Merdaneli Press, Hava Süpürmeli Bilyalı Değirmen ve rotor tipi Havalı Separatörlere ait simulasyon modelleri geliştirilerek Türkiye'deki iki değişik çimento fabrikasında yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen verilerle geçerlilikleri ispatlanmıştır. Daha sonra, deneysel çalışmaların yapıldığı her iki fabrika için simulasyon modelleri kullanılarak alternatif akım şemalarının performansları değerlendirilmiştir. Elde edilen optimum akım şemalarının fabrikalarda uygulanması sonucu kapasite artışı, ürün kalitesinde iyileştirme ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır.

ABSTRACT: In the cement manufacturing, the size reduction process is an energy intensive unit and it affects the process economics and the product quality. Therefore, the researches are continually being carried out to achieve optimised grinding circuit design and operations. In this research; firstly, the simulation models of the High Pressure Roller Press, Air-Swept Ball Mill and rotor type Air Separators are developed and the simulation models are validated with the data derived on the basis of surveys undertaken in two Turkish Cement Plants. Then, the performance of different flowsheets is evaluated and discussed for both plants. The implementation of the optimum flowsheet obtained from simulation study has provided the capacity increase, better product quality and some energy saving in the plants.

1. GİRİŞ

Çimento üretimi ana hatları ile "hammadde üretim ve hazırlama prosesi", "pişirme prosesi" ve "çimento öğütme ve paketleme prosesi" olarak incelenebilir. Çimento üretimi, enerji kullanımının yoğun olduğu bir proses olup, bir ton çimentoyu üretmek için gerekli olan enerjinin yaklaşık üçte biri klinker ve katkı maddelerinin öğütülmesinde kullanılır. Bu da; kullanılan öğütme devresi tasarımı ve işletilme şartlarına ve öğütülen klinker ve katkı maddelerinin özelliklerine bağlı olarak ton başına 26- 40 kWh'lık enerji tüketimini ifade eder. Hammadde hazırlama amacıyla yapılan boyut küçültme işlemlerinde harcanan enerji de hesaba katıldığında, boyut küçültme işlemlerinde harcanan enerji, üretimde harcanan toplam enerjinin yarısından daha fazla seviyelerinde, diğer bir

ifadeyle, ortalama 55-65 kWh mertebelerindedir. Enerji tüketiminin yanında, çimentonun kullanımında etken olan işlenebilirlik özelliği ve basınç dayanımı çimento kimyasal Kompozisyonunun etkisi ile birlikte ürün boyut dağılımına bağlıdır. Ayrıca çimento üretiminde ürünün homojenliği ve uniform yapıda olması bir zorunluluktur. Bu nedenlerden dolayı; optimum çimento öğütme devresi tasarımı ve işletiminin sağlanması ekonomik açıdan ve yüksek ürün kalitesine ulaşmada üzerinde önemle durulması gereken üretim aşamalarından biridir (Kuhlmann and Ellerbrock, 1985).

Öğütme devrelerinin tasarımı; enerji ihtiyacı, kullanılacak makinelerin seçimi ve akım şemalarının konfigürasyonu kavramları çerçevesinde yapılır. Genel olarak öğütme devresi

tasarımında; öncelikli olarak öğütülecek malzemenin öğütme testine tabii tutularak; malzemenin istenilen inceliğe, verilen bir kapasitede öğütülmesi için gerekli olan enerji hakkında bilgi elde edilir. İkinci adımda; kullanılması düşünülen boyut küçültme makinalarının boyutlarının ve ihtiyaç duyulacak motor güçlerinin belirlenmesi için basit bir devre tasarımı yapılır. Bunu izleyen son adımda ise; maliyet açısından çeşitli akım şeması tasarım alternatiflerinin karşılaştırılması yapılır. Bu yöntemin uygulanması çok miktarda endüstriyel verinin mevcut olması ile mümkündür. Ancak, bu yaklaşımda yeni tasarlanan veya mevcut işletimde olan öğütme devrelerinde, akım şeması konfigürasyonunun kendisinin; kapasite, ürün kalitesi ve enerjinin verimli kullanımı açısından etkisi dikkate alınmamaktadır.

Matematiksel modelleme ve simulasyon, çimento öğütme devrelerinin optimum tasarımı ve işletilmesinde son yıllarda kullanılan alternatif bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, modern çimento fabrikalarında yaygın olarak kullanılan Yüksek Basıncılı Merdaneli Press (YBMP), Hava Süpürmeli Bilyalı Değirmen (HSBD) ve yüksek verimliliğe sahip Havalı Separatörler (HS) 'in kullanıldığı iki değişik çimento fabrikasında yapılan deneysel çalışmalar temel alınarak kurulan matematiksel modellerin kullanılmasıyla oluşturulan muhtemel öğütme devre konfigürasyonlarının mukayesesi yapılmaktadır. Geliştirilen simulasyon modelleri kullanılarak, oluşturulan akım şemalarının değişik besleme miktarlarında ve belirli işletme koşullarında devrenin akım kollarındaki malzeme miktarını, boyut dağılımlarını ve özgül yüzey alanlarını tahmin etmek mümkün olmaktadır. Değişik akım şemalarının kendisinden kaynaklanan etki ile bu devrelerde farklı çalışma şartlarından kaynaklanan etkinin derecesini ayırmak her bir devrenin kendine özgü optimum işletme şartlarının mevcut olması nedeniyle mümkün olmamaktadır. Matematiksel modeller öğütme devrelerinde kullanılan makinaların tasarım ve işletme parametrelerini kabul edilebilir yüksek bir doğrulukta dikkate almaktadır. Akım şeması konfigürasyonunun etkisinin incelenmesinde ve değişik devre tasarımlarının test edilmesinde işletme parametrelerinin etkisinin minimize edilmesi amaçlanmıştır (Ergin, 1993).

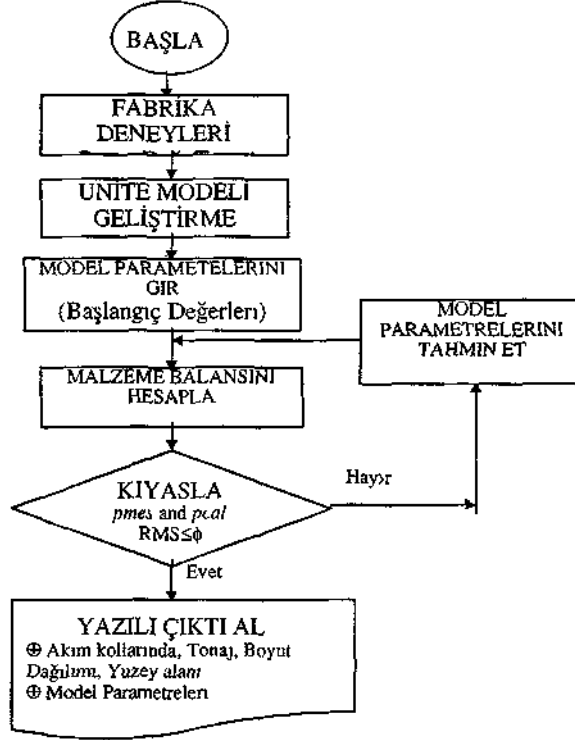
2. MATEMATİKSEL MODELLEME VE SİMULASYON METODOLOJİSİ

Kimya mühendisliği, Metalürji mühendisliği ve Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme mühendislikleri alanlarında genel amaçlı ve oldukça başarıyla kullanılan proses simülasyonları mevcuttur. Ancak bu simülasyonlar çimento öğütme proseslerinde kullanılan makinaları kapsayan modelleri ihtiva etmemektedirler. Bu çalışmada; YBMP, HSBD ve HS'lerin geliştirilen matematiksel modelleri için yazılan bilgisayar programları endüstriyel verilerle testleri yapılarak geçerlilikleri ispatlanan bu modellerin alternatif akım şemalarının tasarımlarında kullanılmasına yer verilmektedir.

Her bir model, o -üniteye ait tasarım ve işletim özelliklerini ifade eden parametreleri içeren matematiksel bir tanımdan oluşur. Model parametreleri; malzeme özelliklerini yanında, makinanın fiziksel büyüklüğünü ve işletme şartlarını gösteren parametreleri içerir. Bu parametrelerin bir kısmının direk olarak ölçülmesi mümkün olmadığından dolayı bazı durumlarda laboratuvarla tesbit edilmesi bazen de ampirik olarak uygun bir parametre tahmin tekniği kullanılarak modelin ürettiği sonuçlar (pcal(i)) ile gerçek sistemden elde edilen sonuçları kıyaslayan bir hedef fonksiyonun' minimizasyonu ile tesbit edilmesi yoluna gidilir. Bu çalışmada, direk ölçülemeyen model parametre değerleri Simplex parametre tahmin tekniği kullanılarak ampirik olarak tahmin edilmiştir (Neider and Mead, 1970). Hedef fonksiyon olarak ise, üç değişik besleme miktarında model geçerliliği üzerinde çalışılan ünitelerden ürün olarak alınan numunelerin boyut dağılımı ile model tarafından hesaplanan ürünün boyut dağılımı arasındaki ortalamanın kareköklerinin sapmasını (RMS) minimize eden (1) No'lu eşitlik kullanılmıştır.

$$RMS = \frac{1}{nsf} \sqrt{\sum_{i=1}^{nsf} [pmes(i) - pcal(i)]^2} \quad (1)$$

Burada; nsf, ölçülen boyut fraksiyon sayısını; n, test sayısını; pmes(i) gerçek sistemde ölçülen boyut dağılımı ve pcal(i)' de model tarafından hesaplanan değerleri ifade eder. Model kurma, model geçerliliği ve parametre tahmin prosedürünü gösteren akım şeması Şekil 1 'de gösterilmektedir.



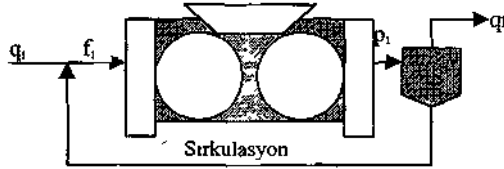
Şekil 1. Model geliştirme, parametre tahmini ve geçerlilik proseduru

2.1 Yüksek Basınçlı Merdaneli Press Modeli

YBMP modelinde f_i beslenen ve p_i ürün olarak çıkan malzemenin i boyut fraksiyonundaki malzeme miktarlarını vermektedir. f_i ve p_i arasındaki ilişki aşağıdaki gibi yazılabilir (Rogens and Shoji, 1583).

$$p_i = \sum_{j=1}^n f_j d_{ij} \quad (2)$$

Bu eşitlikte d_{ij} merdanelere j ölçüsünde beslenen



Şekil 2. YBMP modeli

malzemenin merdanelerin arasından geçtikten sonra i ölçüsüne düşen malzeme oranını tanımlayan "boyut değişim fonksiyonu" dur. d_{ij} fonksiyonu (3) No'lu eşitlikte ifade edilmektedir;

$$d_{ij} = (1 - a_i) b_i a_i^{j-1} \frac{b_i a_i d_{ij}}{\sum_{j=1}^n 1 - a_i}, \quad i > j \quad (3)$$

Burada a_i makina ile ilgili parametreleri, b_i 'de malzeme özelliklerim içeren parametrelerden oluşan "seleksiyon" ve "kırılma dağılım (= öğütülebilirlik)" fonksiyonlarıdır.

$$a_i = 1 - \frac{1}{1 + \frac{X_j / X_g}{\mu}} \quad (4)$$

Burada Φ ve μ makinanın değiştirilebilen işletim parametrelerini ve x_s merdaneler arasındaki mesafeyi mm olarak ifade eder (Rogers, 1982). Malzeme özelliklerini ifade eden kırılma dağılım fonksiyonu, iri ve ince boyutta malzeme davranışını tanımlayan iki kısımdan oluşan bir matematiksel ifaden oluşmaktadır. Bu fonksiyon kümülatif ve fraksiyonel formda (5) No'lu eşitlikte verilmiş olup normalize edilebilir bir fonksiyondur.

$$B_{x_j} = A \frac{x_j^{-\alpha}}{x_j} - (1-A) \frac{x_j^{-\beta}}{x_j} \quad A < 1$$

$$b_{(n)} = B_{(n)} - B_{(n+1)} \quad (5)$$

2.2 Hava Süpürmeli Büyalı Değirmen Modeli

HSBD modeli hava süpürme etkisini de içerecek şekilde Austin tarafından önerilen model geliştirilerek elde edilmiştir (Austin et al, 1980). Bu model, değirmen içerisinde malzemenin kalma süresini tanımlayacak şekilde değirmenin her noktasında tam karışmış reaktörler olarak tanımlama esasına dayandırılmıştır. Ayrıca, hava akımının öğütmeye yapacağı etkide tanımlanmaktadır. Hava akışının etkisi boyuta bağlı olarak bir iç ayırma fonksiyonu olarak modelde yer alır. Buna göre değirmen içerisinde bilyalar arasında akan iri taneciklerden oluşan bir toz akımın ve değirmenin her devrinde hava içerisine geçen ve hava içerisine askıda kalarak değirmen çıkışına doğru hareket eden ikinci bir hava içerisinde malzeme akışı tanımlanmaktadır. Modelde, değirmenin her devri V için değirmen ayrılmış olarak düşünülen ve reaktör diye adlandırılan bölmesindeki mazlemeden w; hava akımı içerisine geçen malzeme oranı r₁ olarak kabul edilmektedir (Ergin, 1993).

Hava akımı içerisindeki malzeme miktarı $w_1 r_1 v \Omega$ olacaktır. Ancak bu malzemenin bir kısmı, $\Omega \Omega_i$ toz akış yatağına geri döner. Buna göre hava akışı içerisindeki malzeme akış miktarı (6) No'lu eşitlikle hesaplanır;

$$R_i = w_1 r_1 v W (1 - \Omega_i) \quad (6)$$

Değirmen içerisindeki toplam malzeme miktarı W ile tanımlanmaktadır. Bir bölmeyi (reaktör) hava içerisine terk eden malzemenin bir kısmının bitişik bölmede toz akış yatağına geri döneceği ve aynı zamanda o bölmedeki malzemenin de bir kısmının değirmenin her devrinde hava akımı içerisine

gececeği modelde kabul edilmektedir. Birinci bölme için malzeme kütle dengesi aşağıdaki gibi olacaktır;

$$(P+R)(1+C) p_i = F f + p_i r_1 v W \Omega_i - s_i w_1 W + \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j W w_j \quad (7)$$

Burada P+R (=F), birinci bölmeye yapılan sırasıyla toz ve hava akımı içerisinde bulunan besleme miktarım; 1+C sirkülasyon oranını; p_i toz akışında bulunan (i) boyutundaki malzeme miktarını göstermektedir. Bölmelerde tam karışma olduğu kabul edildiği için, p_i=w_i olur. Değirmen çıkışındaki toz akımın malzeme boyut dağılımı (8) No'lu formülle hesaplanır.

$$p_i (1+C) = p_i^* = \frac{f + \tau \cdot \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} s_j p_j^*}{1 - \eta v \tau \cdot \Omega_i} \quad (8)$$

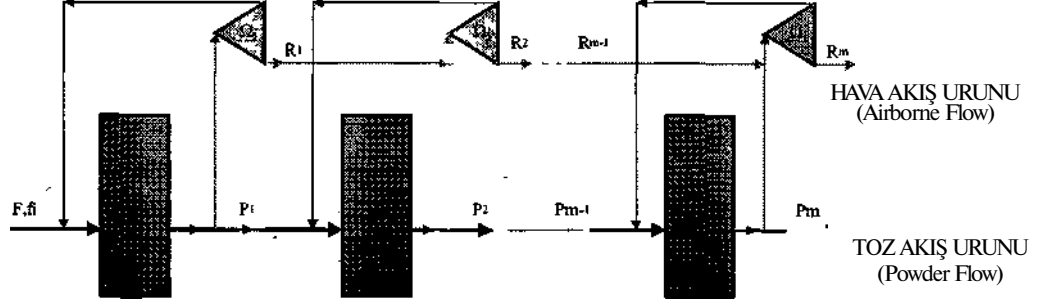
Bir x° değeri seçilerek toz akış boyut dağılımı p_i, i=1 den başlayarak sırayla bütün boyut fraksiyonları için hesaplanır. Modelde; her bölüme (reaktör) beslenen malzeme miktarı, toplam beslenen malzeme miktarı F ile hava akımındaki malzeme miktarı R arasındaki fark bulunarak hesaplanır. Bu eşitlikte yeralan β₁, hava akımının etkisini modelde tanımlayan fonksiyondur ve (9) No'lu eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$\Omega_i = \frac{1}{1 + \frac{d_{50}}{x_j}} \quad (9)$$

Burada d₅₀ hava akımında taşınan malzemelerin yarısının toz akımı yatağına geri döndüğü, diğer yarısının hava akımı içerisinde bitişik bölmeye taşındığı boyutu, kayırmanın keskinliğini ifade eder. Hesaplanan β₁, değerleri her boyut aralığı için toz akış yatağına dönen yüzdeleri ifade eder. HSBD'e ait diğer işletim parametreleri ile modelde, Seleksiyon fonksiyonu ile tanımlanmaktadır,

$$S_i = K \frac{x_j^{-\gamma}}{x_j} \quad (10)$$

YBMP modelinde kullanılan iki parçalı kırılma dağılım fonksiyonu HSBD modelinde de malzeme boyut küçültme davranışının tanımında kullanılmaktadır.



Şekil 3. Hava Süpürmeli Bilyalı Değirmen Modeli akım şeması

2.3 Separator Modeli

Son yıllarda, çimento öğütme devrelerinde rotor tipi havali separatörler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu separatörlerde hava akımı, içerisinde taşınan malzeme rotor içerisinde geçerken bir ayırım gerçekleşir. Ayırmanın etkinliği; separatöre beslenen malzeme miktarı, hava hızı, sabit kanatların ayarları, rotor kanatlarının şekli ve rotor devri yanında beslenen malzemenin boyut dağılımına bağlıdır (Herrmann, 1986). Separator modeli, araştırma konusu olan gerçek öğütme devresindeki separatörün değişik çalışma koşullarındaki ayırma performansının matematiksel olarak tanımlanarak elde edilen ayırma eğrisidir. Burada separatöre beslenen malzeme miktarı ve boyut dağılımı, separatörden ürün olarak alınan akımda ve değirmene geri dönen akımdaki malzeme miktarları ve boyut dağılımları kullanılarak separator performans modeli elde edilerek kullanılmıştır. Elde edilen performans eğrisindeki ayırma diğer oluşturulan devrelerde de sağlayacağı varsayımı yapılarak akım şeması tasarımlarında kullanılmıştır.

3. MODEL GEÇERLİLİKLERİ VE ÇİMENTO ÖĞÜTME AKIM ŞEMALARININ TASARIMINA AİT UYGULAMALAR

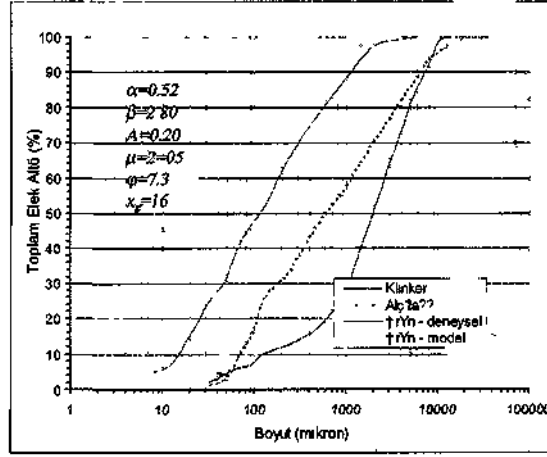
3.1 YBMP ve HSBD Modellerinin Geçerlilik Çalışması

Türkiye'de iki değişik çimento fabrikasında yapılan çalışmalarda bir seri sistematik denemeler yapılarak devredeki akım kollarından alınan numunelerin boyut dağılımları tesbit edilmiş ve spesifik yüzey alanları hesaplanmıştır. Fabrikalarda yapılan kapsamlı çalışmalarda; en az üç değişik besleme miktarında ve bütün işletim parametrelerinin de etkisini gözlemleyecek bir deney tasarımı ile çalışmalar yürütülerek numuneler alınmış ve gerekli boyut analizleri gerçekleştirilmiştir.

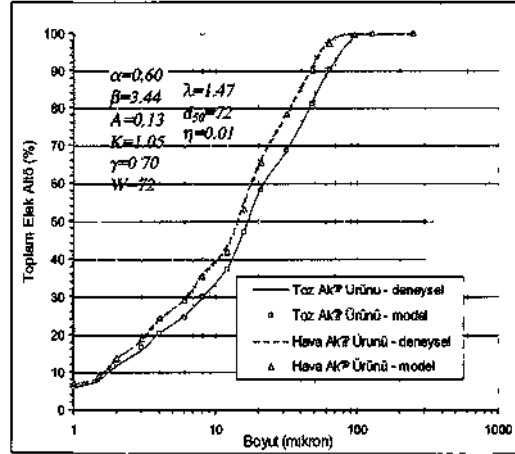
Çalışma yapılan birinci fabrikada; iç çapı: 4.2 m, ve uzunluğu 15.6 m olan iki bölmeli HSBD açık devre olarak işletilmektedir. Bu değirmenin birinci bölme uzunluğu 5.9 m ve ikinci bölme uzunluğu 7.7 m'dir. İkinci fabrikada ise; kendi içinde kapalı devre çalışan primer ve son öğütmenin yapıldığı sekonder öğütme devresi mevcuttur. Primer öğütme devresinde; merdane çapı 1.45 m ve genişliği 1 m olan bir YBMP ile HS bulunmaktadır. Nihai öğütmenin yapıldığı sekonder devrede; iç çapı: 3-22 m, ve uzunluğu 14.1 m olan iki bölmeli HSBD bir HS bulunmaktadır. Değirmenin birinci bölme uzunluğu 4.9 m ve ikinci bölme uzunluğu 9.2 m'dir (Ergin, 1999).

Model geçerliliği ve parametrelerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalarda hedef fonksiyonu minimize eden YBMP ve HSBD modellerine ait elde edilen tipik hassasiyetler ve sonuçlar Şekil 4 ve

Şekil 5'de sırasıyla görülmektedir (Ergin, 1999; Apling and Ergin, 1994).



Şekil 4. YBMP Model parametreleri ve geçerlilik analizi (D: 1.45 m, G: 1.0 m)



Şekil 5. HSB Model parametreleri ve geçerlilik analizi (İD: 4.2 m, L:15.6 m)

3.2 Çimento Öğütme Devreleri Tasarım Uygulamaları

Arzu edilen akım şeması konfigürasyonunu oluşturmak için, bir ana program mevcuttur. Bu program, istenilen akım şemasını oluşturmak yada

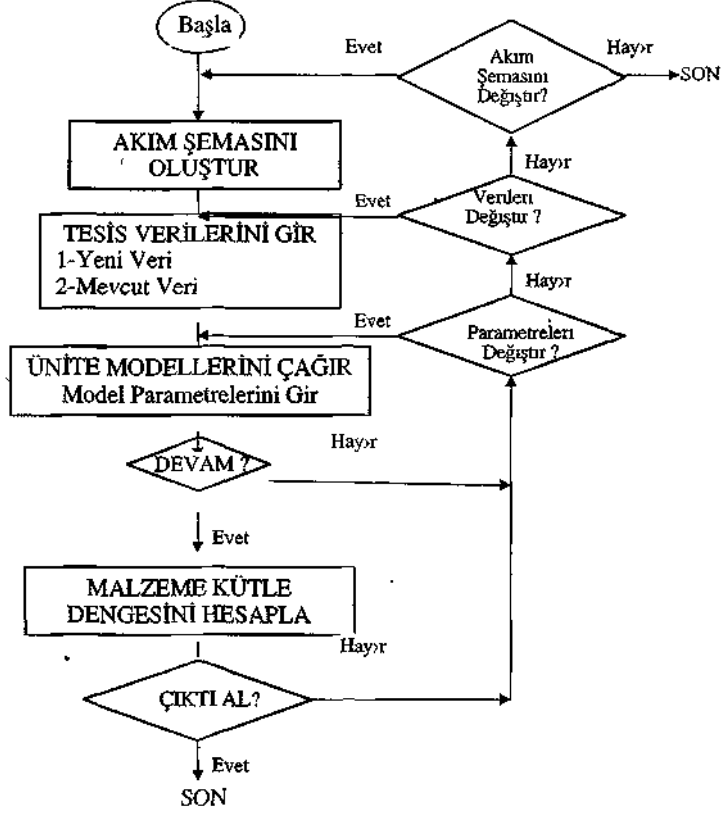
var olan akım şemasını değiştirmek için modelleri bulunan üniteleri değişik kombinasyonlarda birbirlerine akım kolları ile birleştirebilmektedir. Ana program, aynı zamanda tesis verilerinin ve model parametre değerlerinin girilmesine ve değişiklik yapılmasına olanak tanımaktadır.

Alt programlar, daha önce açıklanan ünitelere ait matematiksel modellere karşılık gelen modülleri içerirler. Ana program-kullanılarak istenilen akım şeması oluşturulduktan sonra malzeme kütle dengesi sağlanana kadar hesaplama devam eder. Değişik akım şeması konfigürasyonlarının organizasyonu Şekil 6'da gösterilmektedir.

Çalışma yapılan iki fabrikada mevcut olan makineler kullanılarak oluşturulan değişik akım şemaları; üretim miktarı, ürün içerisinde 9M'den ince ve 30(µm'dan kalın tane oranları ve ürünün spesifik yüzey alan dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmıştır. Bilindiği gibi, 9 µm'a kadar olan boyuttaki malzeme erken dayanımları, 9 ile 30 µm arasındaki malzeme uzun süreli dayanımlarda etkili rol oynamaktadır (Kuhknan and Ellerbrock, 1985).

Araştırma yapılan birinci fabrika için alternatif akım şeması konfigürasyonları Çizelge 1'de yer almaktadır. Mevcut öğütme devresinin kapalı devreye dönüştürülmesi durumu test edilmiş ve olası iki alternatif kapalı devre akım şemasına ait sonuçlar sunulmuştur. Her iki akım şemasında da; mevcut açık devre öğütme sistemine göre % 15-20 kapasite artışı sağlanırken ürün kalitesinin de kontrol altında tutulması mümkün olmaktadır. Kapalı devreye dönüştürmede hava içerisindeki akımın separatöre beslenmesi ve direkt ürün olarak alınması durumları simule edilmiştir. Hava içerisindeki akımın* separatöre beslenmeden ürün olarak alınmasında daha yüksek İcapasite artışı sağlanırken 30 µm'den iri malzeme oranında da artış görülmektedir.

Dört değişik alternatif akım şemasının simülasyonla test edildiği ikinci fabrikada; mevcut bulunan devreye göre avantajlı sonuçlar verecek devre tasarımları olduğu tesbit edilmiştir. Alternatif akım şeması tasarımlarında Çizelge 2'de görüldüğü gibi; gerek üretim kapasitesinin artırılması gerekse ürün kalitesinin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 6. Çeşitli Akım şeması konfigürasyonlarının organizasyonu

4. SONUÇLAR

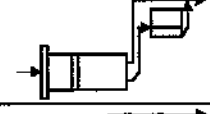
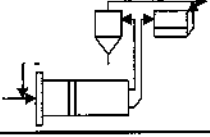
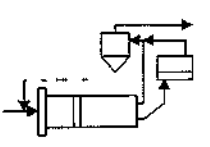
Çimento endüstrisinde yaygın olarak kullanılan YBMP, HSBD ve HS'lerin bilgisayar "da simüle edecek matematiksel modelleri geliştirilmiş ve endüstriyel verilerle test edilerek model parametreleri elde edilmiştir. Modeller kullanılarak oluşturulan akım şemalarında devrenin herhangi bir akım kolundaki; malzeme miktarı, boyut dağılımı ve spesifik yüzey alanları istenilen besleme miktarı ve devredeki makinelerin belirlenen işletme koşulları için tesbit edilebilmektedir.

Bu şekilde; geliştirilen simulasyon modelleri kullanılarak gerçek Sistemde yapılması çok pahalı bazende imkansız olacak akım şeması tasarımı ve

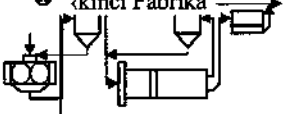
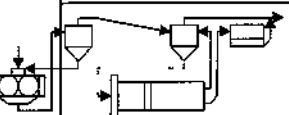
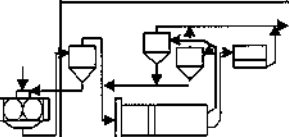
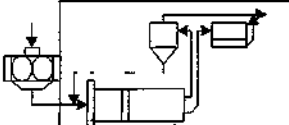
işletme koşulları test edilerek optimum şartların elde edilmesi mümkün olmaktadır.

Türkiye'de iki değişik çimento fabrikasında yapılan çalışmalarda; kapasite artışı, ürün kalitesinde iyileştirme ve enerji tasarrufu sağlayacak akım şeması tasarımları ve işletme koşulları tesbit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre gerçek sistemde uygulamalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Çizelge 1. Açık devre ve iki kapalı öğütme devresi - HSBD (İD: 4.2 m, L: 15.6 m)

AKIM ŞEMASI	Üretim (t/s)	-9 μ m (%)	+30 μ m (%)	Ozgul Yüzey Alanı (cm ² /g)
① Birinci Fabrika 	90.0	37.1	26.0	3360
② 	111.0	36.4	21.4	3355
③ 	104.7	36.4	22.1	3340

Çizelge 2. Çeşitli alternatif akım şemalarının karşılaştırılması - YBMP (D: 1.45 m, G: 1.0 m), HSBD (İD: 3.22 m, L: 14.1 m)

AKIM ŞEMASI	Üretim (t/h)	-9 μ m (%)	+30 μ m (%)	Ozgul Yüzey Alanı (cm ² /g)
① İkinci Fabrika 	155.0	35.0	22.5	3280
	159.8	36.2	21.3	3345
	175.1	35.1	16.5	3430
	137.6	37.0	28.1	3400

TEŞEKKÜR

Araştırmanın gerçekleştirilmesinde desteklerinden dolayı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) ve deneysel çalışmaların yapıldığı TÇMB üyesi çimento fabrikaları yetkililerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Apling, A.C, Ergin, H. 1994. *Validation of a Grinding Model for a Full-scale Air- Swept Cement Mill*. 5* International Mineral Proc. Symp., Turkey, pp.527-533.
- Austin, L.G., Wemont, N.P. and Knobloch, O.. 1980. *The Simulation of Air-swept Cement Mills, Part /*, Proc. Euro. Symp. Particle Tech., pp. 640-655.
- Ergin, H., 1993. *The Simulation of an Air-Swept Cement Grinding Mill*. Ph.D. Thesis, University of Leeds.
- Ergin, H., 1999. *Comminution Technology - Optimisation of the Cement Grinding Circuits by Simulation*, Technical Report (ARGE p. 96/9], Turkish Cement Manufactures' Assoc.
- Herrmann, C; 1986, *Increased Cement Grinding Efficiency by Using High Efficiency Separators*, IEEE Transactions on Industry Applications, 22.pp.330-337.
- Kuhlmann, K., Eilerbrock, H.G., 1985. *Particle Size Distribution and Properties of Cement*, Zem.-Kalk-Gips. V.5.pp.136-145.
- Neider, J.A, Mead, R. 1970. *A Simplex Method for Function Minimisation*. CIM Bull., pp.308-312.
- Rogers, R., Shoji, K., 1983, *A Double-Roll Crusher Model Applied to a Full Scale Crusher*, Powder Technology, V.35.pp.123-129.
- Rogers, R., 1982, *Closed Form Analytical Solutions for Models of Closed Circuit Roll Crushers*, Powder Technology, V.32.pp. 125-127.