

ÇUBUKLU DEĞİRMEN MODELLERİNİN TESİS SİMÜLASYONUNDA KULLANIMI

APPLICATION OF ROD MILL MODELS TO THE SIMULATION OF A PLANT SCALE GRINDING

H. BENZER, S. ERSAYIN

Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

ÖZET Bu çalışmada, matris ve kinetik model gibi iki farklı çubuklu değirmen modelinin, farklı besleme boyut dağılımı ve akış hızlarında çalışan bir tesisdeki çubuklu değirmenden elde edilen ürün boyut dağılımlarını tahmin edebilme güçleri sınanmıştır. Farklı akış hızı ve işletme koşullarında on sei besleme ve ürün dağılım verisi alınmıştır. Matris model parametreleri tesis verilerinden geri hesaplanırken, kinetik model parametreleri tesis değirmen besleme malzemesi ile laboratuvarında yapılan kinetik testlerle belirlenmiştir. Her bir koşul için benzetimin yapılabilmesi için gerekli bilgisayar programları geliştirilmiştir. Sonuçlar, matris modelin, ürün dağılımı üzerindeki değişimleri tanımlayabildiğini göstermiştir. Kinetik model ise ölçek büyütme ilişkilerindeki büyük eksiklerden ötürü tesis verilerine kabul edilebilir bir uyum göstermemiştir

ABSTRACT In this study, the ability of two rod mill models, i.e matrix and kinetic models, to predict the size distribution of a plant mill operating under a range of feed size distributions and flow rates was tested. Ten sets of feed and product data were collected under a range of flow rates and operating conditions. While the parameters of matrix model were back calculated from the plant data, those of kinetic model were determined by carrying out laboratory kinetic tests on a sample taken from the feed to the mill. Computer programs were developed for simulating each set of conditions. The results show that matrix model reasonably simulates the effects of the changes on product size. Kinetic model failed to provide any acceptable fit to the plant data due to the lack of scale up relationships.

1 GİRİŞ

Boyut küçültme çok enerji harcayan bir birim işlemdir. Cevher hazırlamada kullanılan enerjinin önemli bir bölümü boyut küçültme için harcanmaktadır. Enerjinin etkin bir şekilde kullanılması doğru ekipman seçimi ve işletme koşullarının geliştirilmesine bağlı olmaktadır.

Değirmen tasarımı için 1950'lerde geliştirilen Bond yöntemi yıllar boyunca kullanılan tek geçerli yaklaşım olmuştur. Bond yönteminin ampirik doğası ve tane boyutu dağılımları hakkında fikir verememesi, olayın fiziksel yönünü de ele alan daha etkin modellerin geliştirilmesinin için yeni yaklaşımların ortaya çıkmasını zorunlu kılmıştır.

Matematiksel modelleme ve benzetim tekniklerinin gelişimiyle birlikte, daha güçlü ve ucuz bilgisayarların geliştirilmesi, öğütme devrelerinin tasarımında ve işletilmesinde önemli gelişmeler sağlamıştır. Ayrıca bu tekniklerin kullanımı ile varolan öğütme devrelerinin optimizasyonu başarılı bir şekilde gerçekleştirilmeye başlanmıştır.

Bilyah, otojen ve yarı otojen değirmenlerin matematiksel modellemesi ile ilgili pek çok çalışma bulunmasına rağmen, çubuklu değirmenler üzerine yapılan çalışmalar çok sınırlıdır. Bunun en önemli nedeni, gelişmiş ülkelerde cevher hazırlama tesislerinde artan kapasite artışına cevap veremeyen çubuklu değirmenlerin yenne eğer koşullar uygun olursa otojen ve yarı-otojen değirmen kullanımının on plana çıkmış olmasıdır. Buna paralel olarak, çubuklu değirmen modellemesi üzerine yapılan çalışmalar giderek azalmıştır. Bununla birlikte, özellikle ülkemizde bir çok küçük ve orta ölçekli tesiste çubuklu değirmen kullanılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında, ülkemizde varolan öğütme devrelerinin daha etkin çalıştırılması ve yeni devre tasarımları için güvenilir çubuklu değirmen modellerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Ampirik olanlarının dışında, literatürde yer alan modeller matris model ve kinetik model prensibine dayanmaktadır. Kinetik modelin çubuklu değirmenler için endüstriyel verilerle sınırlı bir çalışma bulunmamaktadır. Matris model ise sınırlı da olsa Avustralya'da bir kaç tesiste endüstriyel uygulama bulmuştur (Lynch, 1977).

Bu çalışmanın amacı bu iki yaklaşımın tesis ölçekli benzetişim gücünün araştırılmasıdır. Matris modelde bir set veriden hesaplanan model parametreleriyle tesis koşullarındaki değişimlerin ürün boyut dağılımı üzerindeki etkilerini tahmin edebilme yeteneği araştırılırken, kinetik modelde ise laboratuvar da belirlenen parametrelerden tesis ölçekli öğütme sonuçlarının tahmin edilip edilemeyeceği araştırılmıştır.

1.1 Matris Model

Broadbent ve Callcott (1956), Epstein tarafından önerilen kırma kavramlarından yola çıkarak matris modeli tanımlamışlardır. Matris modelde her bir boyut küçültme işlemi çok sayıda birbirini takın eden boyut küçültme aşamalarından oluşmaktadır. Jane boyutu dağılımındaki değişiklikler, ardarda kırma aşamalarının sonucudur (Lynch, 1977).

Çubuklu değirmenlerde sınıflandırma veya eleme etkisi, her bir kırılma aşaması için o aşamaya giren en üst boyut aralığındaki malzemenin tamamının ufalanması ile tanımlanmaktadır. Maksimum kırma aşaması besleme vektöründeki elemanların tane sayısına eşit olmaktadır. Çubuklu değirmenler için sınıflandırmayı da içeren genel model aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir (Mular, 1971).

$$P = \prod_{j=0}^{j=v} X_j \cdot f \quad (1)$$

Eşitlikte f ve P besleme ve ürün matrisim temsil ederken X_j,

$$X_j = (I - C) (B S + I - S) [I - C (B S + I - S)]^{-1} I \text{ dir}$$

X_j, beslemeden j'inci aralığın j-H'inci aşamaya geçişi için bir geçiş matrisi olarak tanımlanmaktadır. Eşitlikte sınıflandırma matrisi C, kırılma dağılım matrisi B, kırılma hızı matrisi ise S ile ifade edilmektedir, I ise birim matrisdir. Her bir aşamadaki öğütme sonucunda besleme malzemesinin deki en üst boyut tamamen kaybolacağından X' nin diagonaldeki ilk değeri sıfır olmaktadır. Modelde her bir aşama sonucunda elde edilen ürün bir sonraki aşamanın beslemesini oluşturmaktadır. Matris modeldeki kırılma hızı parametreleri tesis verilerinden gen hesaplama yöntemiyle belirlenmektedir.

Kırılma aşama sayısı ile kapasite arasında aşağıdaki ilişki mevcuttur

$$\text{Değirmen Sabiti} = F \cdot v^{1.5}$$

F	Kapasite
v	Kırılma aşaması

Benzetişim çalışmaları bu ilişkiye dayandırılarak gerçekleştirilmiştir. Kapasitedeki değişimler doğrudan kırılma aşaması sayısını değiştirmektedir.

1.2 Lynch-Auslin Yaklaşımı

Bu yaklaşım temel olarak Lynch tarafından geliştirilen matris modelle benzer prensiplere dayanmaktadır. Yaklaşımında çubuklu değirmenlerin bir dizi mükemmel karışmış kısımlardan oluştuğu, her kısmın bir sınırlandırıcıyla kapalı devre gibi çalıştığı varsayılarak, in malzemenin her kısmın besleme ucuna geri donduğu düşünülmektedir. Bu da çubuklu değirmendeki eleme ve karışma etkilerinin benzetişimini yapmaktadır. Yaklaşımına göre n boyutundan büyük veya n boyutuna eşit tane boyutlu malzeme n'inci kısımda öğütülmektedir. Herhangi bir kısım için yapılan madde denkliği, aşağıda verilmektedir.

$$q_i = \frac{1 + \tau \sum_{j=1}^{i-1} b_{ij} S_j q_j}{(1 - C_i + \tau S_i)} \quad (2)$$

$$P_i = (1 - C_i) q_i$$

Eşitliklerde fi ve pi, i'nci fraksiyondaki besleme ve ürün malzemesinin miktarı, bij, kırılma dağılım fonksiyonu. S) kırılma hızı. Ci de sınıflandırma fonksiyonudur. t durma zamanı ve q indisinde beslemeden ürün dağılımına geçiş parametresidir. Her kısım için geçerli olan kırılma hız parametrelerinin aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır.

$$S_j = \frac{x_j^{\lambda_j} \mu^{\alpha_j}}{(1 + (x_j)^{\lambda_j})^{\alpha_j}}$$

Eşitlikte kırılma hızı fonksiyonu S(x_j) ile gösterilken, X j'ane boyudur. j, a, A indisleri ise malzeme ve değirmen özelliklerine bağlı parametrelerdir. 1 lci kısım için kırılma dağılım fonksiyonunun sahil kaldığı kabul edilmektedir (Slanp.c et al. 1991). Kümülatif kırılma patameli esinin belirlenebilmesi için Austin ve

Khmpel' in geliştirdikleri çeşitli yonlemler bulunmaktadır Çok kısa oğutme surelerinde hesaplamann geręekleřtirildięi Bil yonteminden kumulatif kırılma parametreleri hesaplanabilmektedir (Austin, 1984) Kumulatif kırılma parametreleri aşağıdaki eşitlikle tanımlanmaktadır

$$B_{i,j} = \phi_j [X_{i,j}/X_j]^r + (1 - \phi_j) [X_{i,j}/X_j]^r \quad (4)$$

Burada,

B ı tane boyutunda malzemenin kırılması ile j iane boyutunda oluşan malzemenin birikimli kırılma dağılım fonksiyonu

ϕ_j, γ ve β malzeme ozelliklerine bağlı parametreler ve

$$b_{i,j} = B_{i,j} - B_{i,j+1} \quad \text{dır} \quad (5)$$

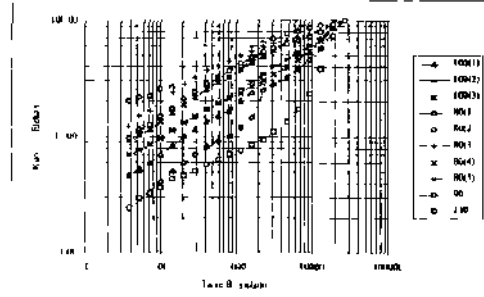
Modelde yer alan B ve S fonksiyonları laboratuvar ęalıřmalarıyla belirlenebilmektedir Sınıflandırma fonksiyonu ise o aşamada oğutuleceği gozonune alınan boyuta bağlı olarak seğilmektedir Laboratuvarda belirlenen kırılma dağılım fonksiyonu, B , doğrudan tesis olęekli simulyasyonda kullanılmaktadır Kırılma hızı fonksiyonuna, S ise bir dizi olęek büyütme işlemi uygulanabilmektedir Model parametrelerinin laboratuvarda belirlenebiliyor olması, bu yaklaşımın tasarım aşamasında kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır

2 Deneysel ęalıřmalar

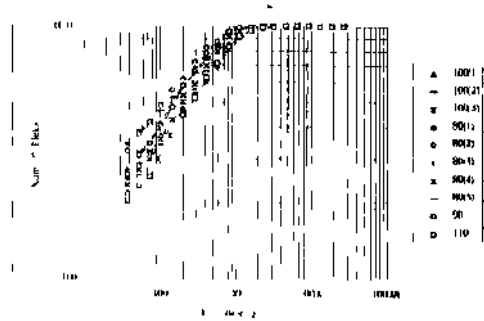
Tesis verilen Etbank Küre Bakirli Pint işletmesi'nde bulunan ęubuklu değirmenden elde edilmiştir Bu tesis yeterli olęme ve kontrol donanımına sahip olması nedeniyle seğilmiştir Laboratuvar ęalıřmalarında aynı tesisin, ęubuklu değirmen beslemesinden alınan numuneler kullanılmıştır Tesis verilerinin alındığı numune alma koşulları ęizelge 1 'de besleme ve urun boyut dağılımları ise şekil 1 ve 2'de verilmektedir

ęizelge Tesis Verilerinin Alındığı Numune Alma Koşulları

Dünya	Kapasite	Nem	% Kats	Çözülen Güç (kW/h)
1	80 t/h(4)	Besleme Urun	% 2.10	64.6
	80 t/h(4)	Besleme Urun	% 2.17	62.9
	90 t/h	Besleme Urun	% 3.27	65.8
2	100 t/h(3)	Besleme Urun	% 2.94	63.4
	110 t/h	Besleme Urun	% 3.52	64.9
3	80 t/h(1)	Besleme Urun	% 3.18	70.4
	80 t/h(2)	Besleme Urun	% 2.62	70.1
	80 t/h(3)	Besleme Urun	% 2.23	68.7
	100 t/h(1)	Besleme Urun	% 1.93	70.0
	100 t/h(2)	Besleme Urun	% 3.47	68.5



şekil 1 Tesisten alınan besleme numunelerinin boyut dağılımları



şekil 2 Tesisten alınan urun numunelerinin boyut dağılımları

Tesis verileri matris model parametrelerinin geniesiplenimismdi ve bu modelin besleme boyut dağılımı kapasite vb işlem parametrelerinin derişmesi dm umunda tesiste elde edilecek sonuçları lalının edebilme yeteneğinin aşaşılmasında kullınılmıştır 1 ynüvAıslırı modeli parametreleri ise

laboratuvar ölçekli kesikli öğütme deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak belirlenmiştir

Alınan tüm numunelerin boyut dağılımları belirlenmiştir. Elek analizi için 27 mm- 38 um arasında 2^o sensı kullanılmıştır. Eleme 589 jüm'ye kadar kuru, daha ince boyutlarda yaş olarak yapılmıştır

2^o tane boyutu aralığında 6 73-4 76, 3 32-2 76, 1 18-0 85, 0 85-0 6, 0 6-0 425 mm boyut aralıklarında tek tane fraksiyonları hazırlanmıştır. Kırılma parametrenin güvenilir ve doğru bir şekilde belirlenebilmesi için öğütülecek malzemenin minimum % 95'inin belirlenen tane boyutu aralığında olması konusuna dikkat edilmiştir (Austin 1984)

2 1 Kesikli Öğütme Deneylem

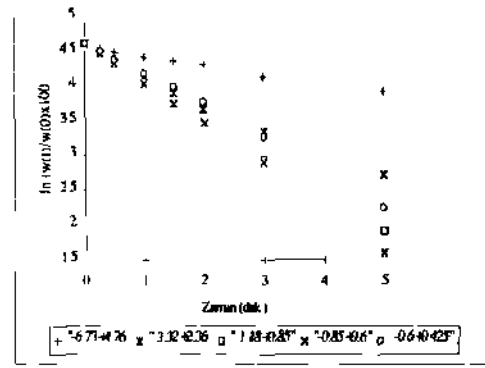
Deneylem gerçekteştirildiği laboratuvar değirmenin çapı 21 boyuda 35 5 cm'dır. Kritik hızın % 75'inde çalışan değirmen dakikada 70 devir hızla çalışmaktadır

Değirmene çubuk şarjı, değirmen hacminin %20'si olacak şekilde gerçekteştirilmiştir. Çubuklar arası boşluğun ise % 21 5 olduğu belirlenmiştir. Çubuklar arası boşluğun % 100'ü mateemeyle doldurulmuştur. Böylece beslenen malzeme değirmen hacminin % 4 29'una karşılık gelmiştir. Her deneyde 527 5 cm³ malzeme kullanılmıştır. Değirmene 69 adet çeşitli çap ve -ayıda çubuk sarti yapılmıştır

Hazırlanan tek tane fraksiyonları 0 25, 0 5 1,1 5, 2, 3 ve 5 dak sureyle kuru olarak öğülümüştür. Her bti öğütme suresi sonunda öğülme ırınunde oluşan değışimi g07İemlevebilnek için değirmen boşaltılmış ve malzmeden numune alınarak kuru elek analizi yapılmıştır. Elek analizini takiben elek analizi numunesi de eklenerek öğütme deneylemine ara verilen /amandan itibaren devam edilmiştir

3 Deneysel Sonınjai

Hazırlanan tek tane fraksiyonlarında kalan malzeme miktarının /amanla deyişimi <gt;kal 1 de verilmektedir. Butun fraksiyonlarda doğrusal bir ilişki go7İenmü.kteiii



Şekil 3 Elek üstünde kalan malzeme oranının öğütme süresiyle değişimi

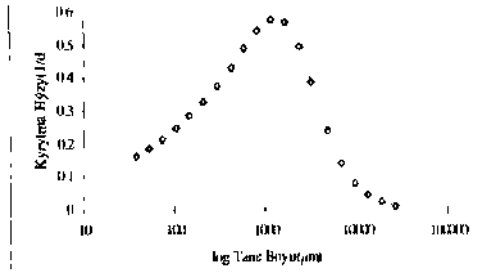
3 1 Kırılma Hızlarının ve Kırılma Dağılım Fonksiyon Parametrelerinin Belirlenmesi

Kırılma hızları doğrusal regresyon ile hesaplanmıştır. Her bir fraksiyon için hesaplanan kırılma hızı ve R değeri Çizelge 2'de verilmektedir

Çizelge 2 Hesaplanan Kırılma Hızı ve R² Değerleri

Fraksiyon	Kırılma Hızı	R ²
-6 73+4 76	0 1349	0 987
-3 32+2 36	0 3807	0 988
-1 18+0 85	0 5448	0 998
-0 85+0 6	0 5909	0 995
-0 6+0 0425	0 46879	0 997

Doğrusal olmayan regresyon ile yapılan hesaplamalar sonucunda Eşitlik 3 ile tanımlanan kırılma hız fonksiyonunun parametreleri belirlenmiştir. Hesaplama sonucunda elde edilen R² değeri 0 97 olmuştur. Belirlenen parametre değeri ile tesis tane boyutu için kırılma hızları hesaplanmıştır. Şekil 4'de parametre değeri ile hesaplanan kırılma hızları verilmektedir



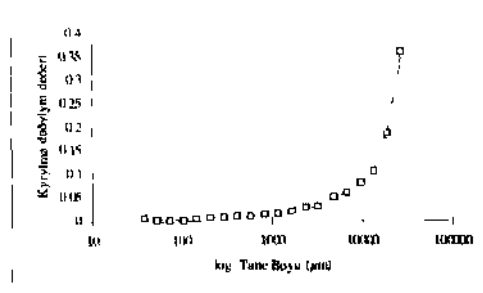
Şekil 4 LabortaUıvar çalışmalarıyla belirlenen parametre değerlerinden hesaplanan kırılma hızı değerleri

Bil yöntemiyle belirlenen kumulatif kırılma değerlerinin tane boyutuyla değişiminden doğrusal olmayan regresyon tekniği kullanılarak kırılma dağılım fonksiyonunun parametreleri belirlenmiştir. \hat{O} değerinin O_0 yakın olması kırılma dağılımının normalize olduğunu göstermektedir. Hesaplanan parametre değerleri Çizelge 3'de verilmektedir.

Çizelge 3 Kırılma Hızı ve Kumulatif Kırılma Dağılım Fonksiyonunun Hesaplanan Parametre Değerleri

Kırılma Hızı		Kumulatif Kırılma Dağılım	
Parametre	Değeri	Parametre	Değeri
a	0.6324	Δ	0.722
a	0.4146	γ	0.7093
M	2.565X	I'	3.5555
A	2.2^90	δ	0.0004

Çubuk ortalama çapından daha ince tane fraksiyonları için kırılma değerlerinin normalize olduğu belirlenmiştir. Çubuk ortalama çapından daha inane fraksiyonlarında ise normal için bozulduğu saptanmıştır. Bu nedenle çubuk çapından daha ince tane fraksiyonlarının kırılma değerlerinin ilk kolonları birleştirilerek elde edilen kırılma dağılımı için parametre değerleri hesaplanmıştır. LabortaUıvar çalışmalarıyla belirlenen kırılma dağılımı ile elde edilen tane boyutu değişimi Şekil 5'de verilmektedir.



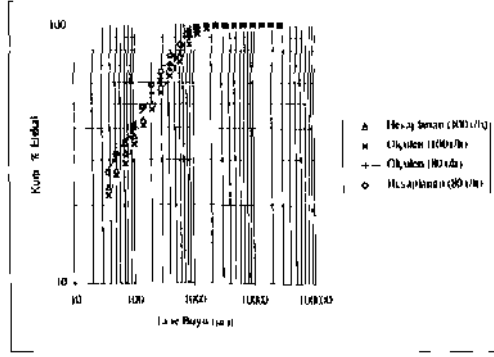
Şekil 5 Laboratuvar çalışmalarıyla belirlenen kırılma dağılımı değerleri

4. Benzetişim Çalışmaları

Gen hesaplama yöntemiyle model parametrelerinin belirlenerek benzetişim çalışmalarının yapılabilmesi için doğrusal olmayan programlama tekniğiyle hazırlanan bilgisayar programından yararlanılmıştır.

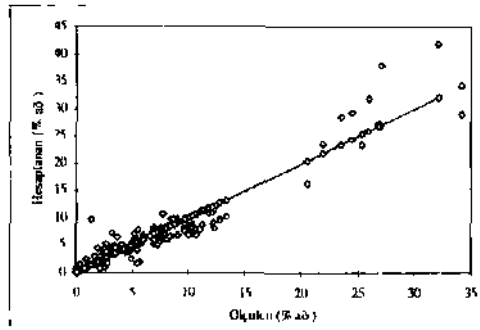
Programa besleme ve ürün tane boyutu dağılımları, kapasite, cevherin fiziksel özellikleri ve programda tanımlanan kırılma hızı fonksiyonu için başlangıç değerleri girilmektedir. Program kırılma hızı fonksiyonundaki parametreleri optimizasyon mantığına uygun olarak değiştirilerek ölçülen ile hesaplanan değerler arasındaki farkı minimuma getirerek çözüme ulaşmaktadır. Ancak matematiksel çözüm arayan program her farklı numune seti için farklı parametre setleri bulmaktadır. Bu nedenle, benzetişim çalışmalarına başlangıç olarak teşkil etmek üzere değerlerin işletme ve cevher koşullarını temsil edebilecek bir dağılım için işlemin tekrar edilmesine karar verilmiştir. Bu amaçla 100 t/h kapasitede alınan uç set besleme ve ürün numunelerinin ortalama tane boyutu dağılımlarıyla program çalıştırılarak bazı parametre setleri belirlenmiştir. İşlem sırasında cevherin fiziksel özelliklerinin ve değerlerin işletme koşullarının değişmediği kabul edilerek kırılma hızı parametreleri kabul edilmiştir. Belirlenen bu parametre setleri kullanılarak her bir besleme numunesi için numunenin bulunduğu andaki kapasiteye bağlı olarak kırılma aşama sayısı ve bulun bu değerlerden yola çıkılarak tane boyutu dağılımları belirlenmiştir.

Tipik sonuçları temsil eden 100 ve 80 t/h kapasitede hesaplanan ve ölçülen ürün tane boyutu dağılımları Şekil 6'da sunulmuştur. Şekil 7'de de görülebileceği gibi burada sunulmayan diğer veri setlerinde de hesaplanan ve ölçülen değerlerin genellikle birbirini karşıladığı görülmüştür.



Şekil 6 Gen hesaplama yöntemiyle belirlenen model parametreleri ile hesaplanan-ölçülen urun boyut dağılımları

Gen hesaplama yöntemiyle belirlenen model parametreleri ile yapılan benzetişim sonucunda hesaplanan değerlerle ölçülen değerlerin uyumu Şekil 7'de verilmektedir



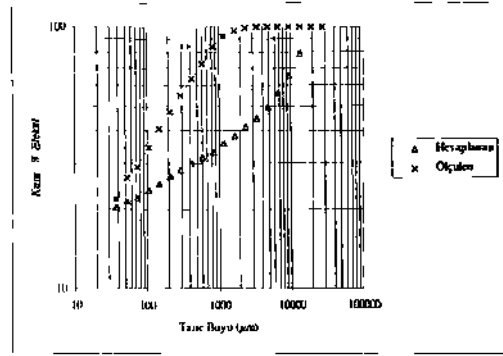
Şekil 7 Gen hesaplama yöntemiyle belirlenen model parametreleri ile hesaplanan değerlerin ölçülen değerlerle uyumu

Lynch Austin yaklaşımında Eşitlik 3 ile tanımlanan model kullanılarak benzetişimin yapılabilmesi için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir

Değirmende tapalı akış olduğu varsayılarak değirmende durma /amanı hesaplanmıştır Modelde durma /amanı parametresi, kapasite ve palp yoğunluğundaki değişimleri temsil etmektedir Bu koşullardaki değişiklik durma /amanı parametresindeki değişim ile ifade edilmektedir

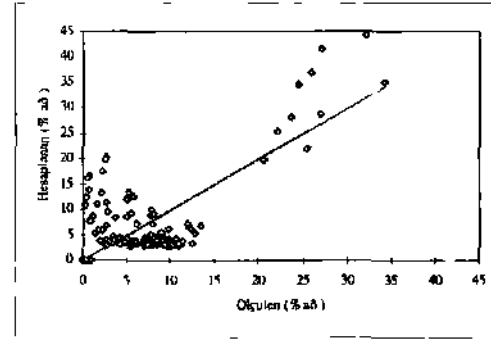
Bu yöntem ile yapılan benzetişim sonucunda kabul edilebilir sonuçlar elde edilmesi mümkün olmuştur Yöntemle elde edilen tipik bir sonuç, *>ckil 8'de

verilmiştir Genel olarak, hesaplanan değerler ölçülen değeri -m çok altında çıkmıştır



Şekil 8 Lynch-Austin Yaklaşımı ile hesaplanan-ölçülen urun boyut dağılımları

Bu yöntem ile bütün ven setleri için hesaplanan değerlerle ölçülen değerlerin uyumu Şekil 9'da verilmektedir



Şekil 9 Lynch-Austin yaklaşımı ile hesaplanan değerlerin ölçülen değerlerle uyumu

5 Sonuçların Değerlendirilmesi

Matris model, kinetik temel dayalı Lynch-Austin modeli ile karşılaştırıldığında daha detaylı çalışılmış ve daha güvenilir bir yapı sunmaktadır En büyük olumsuzluğu, kırılma hızı parametrelerinin laboratuvar çalışmaları ile belirlenemiyor olması ve bu nedenle de kullanımının çalışan devrelerle sınırlı olmasıdır Dolayısıyla tasarım aracı kullanılması zordur Ancak benzer mal/eme işleyen tesisden elde edilen model parametreleri bu amaca yönelik olarak yol gösterici olmaktadır Buna karşılık Lynch-Austin modelinde, model parametreleri tamamıyla laboratuvarda belirlenebildiği için tasarım amacıyla kullanılabilme potansiyeline sahiptir Fakat uygulamadaki başarısı ile ilgili olarak yapılmış çalışma bulunmamaktadır

Austin (1984) tarafından tam karışma sağlanan bir değirmen için tanımlanan basit değirmen modeline, Lynch(1977) tarafından önerilen sınıflandırma tonksiyonunun monte edilmesiyle ortaya çıkan Lynch-Austin modeli ile yapılan benzetişim çalışmaları kabul edilebilir sonuç vermemiştir. Modelin sistemi tanımlamakta yetersiz kaldığı saptanmıştır. Bu durum Austin'in (1976) çubuklu değirmen içim laboratuvar ölçekli çalışmalardan yola çıkılarak tesis benzetişimi yapmak için modelin yetersiz olduğu şeklindeki görüşünü doğrulamaktadır. Ancak gerek zaman ve gerekse işlem kolaylığı açısından model parametrelerinin laboratuvar da belirlenmesi önemli bir avantajdır. Bu nedenle bu konunun üzerinde durularak gerekli ölçek büyütme ilişkilerinin bilyalı değirmende olduğu gibi çubuklu değirmenler için de tanımlanmasına gereksinim vardır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar laboratuvar da yapılan öğütmenin tesise oranla daha verimsiz olduğunu göstermektedir. Ölçek büyütme öncesi laboratuvar ölçekli öğütme üzerinde işlem değişkenlerinin etkilerinin araştırılması gerekmektedir. Bunlar çubuk çapı kritik hız yüzdesi ve malzeme doluluk oranının etkileri ve de bu değişkenlerin malzemenin öğütülebilirliği ile etkileşimidir. Bunlara ilaveten ya[^] ve kuru öğütmenin etkisi de incelenebilir. Butun bu çalışmalarda tesis model parametrelerini belirlemek amaçlanmalıdır. Aşağıda da belirtildiği gibi laboratuvar çalışmalarıyla belirlenen kırılma dağılım fonksiyonu değerleri kabul edilebilir görünmektedir. Bu nedenle yapılacak çalışmaların kırılma hızı parametrelerini belirlemesi hedeflenmelidir. Böyle bir çalışmada bir ara boyulu değirmen de kullanılarak ölçek büyütme ilişkisinin de ortaya çıkartılması nihai çözümler ulaşımda büyük katkı sağlayacaktır.

Matris model ile yapılan hesaplamalar oldukça iyi uyum vermesine rağmen yine de bazı veri setleri için sapmalar kaydedilmiştir. Sapmaların nedeninin işin deki besleme boyut dağılımlarındaki ve % katı içenlerindeki [tarkilikli](#) dan olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca modelde tanımlanmamış olan çeşitli dı/eltme faktörlerinin olduğu da belirlenmiştir. Bunlar indirgeme oranı % katı içeriği besleme inceliğidir.

KA\\k1 AR

Austin [Shoji K Bhalia V Jinda! V Savage K Mimpel R 1976 *Sonu.' Results on tin- Jhsapptou uf Sn Riditttoti as a Rate I'KKCSS m lanmiş*

Mills Ind üng Chem Process Des Dev 15(1) 187-196

Austin I G 1984, *Concepts m Process- Design of Mills* Mining Engineering June 628-635

Broadbent S R, Callcott T G , 1956, *A Matrix Analysis of Processes Involving Particle Assemblies* Phil Trans R S Soc London , Ser , A249, Apnl, 99-121

Lynch A J 1977, *Minet al Crushing and Orndng (ircuts Ihr Simulation Optimization Design and Control* Elsevier Scientific Publishing Co, Amsterdam 140 p

Mular AI 1971 *Mathematical Models for Optimuir Design of Grinding Circuits*, CIM Transactions, 74 98-105

Stange W King R P Cilliers, J , 1991, *Mitrosim lerston 3 Use/ Manual* University of the Witwatersrand, Johan

