

DENEY NO: 5

DENEYİN ADI: **Boyut Küçültme ve Elek Analizi**

AMAÇ: Bilyalı değirmenin deneysel ve teorik gücünün bulunması. Elde edilen ürünün boyut dağılımının belirlenmesi

ÖN ÇALIŞMA: Boyut küçültme ve elek analizi konusunda temel prensiplerin tekrar edilmesi. Kısa bir teorik bilgi ek olarak verilmiştir.

DENEYİN YAPILIŞI:

- 25-30 adet farklı büyüklükteki bilya değirmene konur
- Değirmene yükleme yapılmadan watt-metre yardımıyla 1 saniyedeki devir sayısı okunur
- 300g kadar kömür tartılarak değirmene yüklenir, ve kırma işlemi devam ederken watt-metre'den devir sayısı okunur
- Kırma işlemi tamamlandıktan sonra elek analizi yapılır
- Eleme işlemi sonunda her bir elekteki miktar tartılarak belirlenir,

HESAPLAMALAR:

- ✓1. Değirmenin deneysel ve teorik gücü hesaplanır.
- ✓2. Ürünün boyut dağılımı diferansiyel ve kümülatif elek analizi çizelge halinde gösterilir.
- ✓3. Diferansiyel ve kümülatif elek analizlerinden yararlanılarak ürünün tanecik sayısı, özgül yüzey alanı ve hacim-yüzey ortalama çapı belirlenir.

KAYNAKLAR

1.W. L. McCabe, J.C. Smith, Harriot, " Unit Operations of Chemical Engineering" Mc Graw-Hill, New York, 1985

2.C. J. Geankoplis, " Transport Processes and Unit Operations " Allyn& Bacon 1987

Teori

Kırma ve öğütme katı taneciklerin daha küçük parçalara ayrılmasını sağlayan işlemlerdir. Katı tanecikler esas olarak dört yolla daha küçük parçalara ayrılabilirler :

(a) Sıkıştırma, (b) Darbe, (c) Sürtme, (d) Kesme. Herbirinin kullanıldığı yerler ayrı olup donatılar da amaca uygun olarak yapılmıştır.

Kırıcı ve öğütücü olarak kullanılacak donatılar da aranılan temel özellikler şöyle sıralanabilir :

1. Kapasite büyük olmalı,
2. Birim miktar ürün için gerekli güç miktarı az olmalı,
3. İstenilen büyüklük dağılımında ürün verilmeli.

Kırıcı ve öğütücülerin temel amacı büyük taneli katılardan, küçük taneli katıları elde etmektir. Küçük taneli parçacıklar yüzey alanları büyük olacağı için veya, şekil, büyüklük ve sayılarından dolayı isteniyor olabilirler. Burada ufaltma işleminin enerji açısından verimliliği boyuttaki ufaltmaya karşılık elde edilen yeni yüzey miktarıyla ölçülür.

Gerçek kırıcı ve öğütücüler tek düze büyüklükte ürün veremezler. Belli boyut aralığında ürün elde etmek ancak mümkün olabilmektedir.

Boyut Ufaltmada Gerekli Güç Hesabı

Katılarda boyut ufaltma işlemlerinde gerekli gücün hesabı için çeşitli teoriler ortaya atılmıştır. Ancak bunların hiçbiri pratik sonuçlara yeterince uymamaktadır. Geliştirilen teoriler "X" boyutundaki bir tanecikte dx' lik bir değişim yapabilmek için gerekli "E" enerjisinin X boyutunun üssüyle orantılı olduğunu varsaymaktadır.

$$\frac{dE}{dX} = -\frac{C}{X^n} \quad (1)$$

X : Tanecik boyutu, mm

C, n : Sabitler (maddenin boyutuna , cinsine ve makinanın tipine bağlı)

Rittinger gerekli gücün yaratılan yeni düzeyle orantılı olduğunu önermektedir. Alan uzunluğunun karesiyle orantılı olduğu için bu varsayıma göre n=2 olmaktadır.

Yukarıdaki ifade buna göre integre edilirse aşağıdaki ilişki elde edilir :

$$E = K_R \left(\frac{1}{X_2} - \frac{1}{X_1} \right) \quad (2)$$

K_R : Sabit , X_2 : Ürünün ortalama çapı , X_1 : Beslemenin ortalama çapı

E : Birim miktar beslemenin boyutunu X_1 den X_2 ' ya indirmek için gerekli iş.

Bu ifadenin genelde küçük tanecikleri öğütme işlemleri için daha doğru sonuç verdiği gözlenmiştir.

Kick ise öğütmede gerekli enerjinin doğrudan boyut ufaltma oranı ile orantılı olduğunu öne sürmüştür. Bu durumda ise $n=1$ olacak ve integre edilmiş ifade aşağıdaki şekilde olacaktır :

$$E = C \ln \left(\frac{X_1}{X_2} \right) = K_K \log \left(\frac{X_1}{X_2} \right) \quad (3)$$

K_K : Sabit.

Son olarak Bond tarafından önerilen modelde gerekli işin ürünün yüzey alanı/hacim oranının karekökü ile orantılı olduğu varsayılmaktadır ($n=1,5$).

$$E = K_B \frac{1}{\sqrt{X_2}} \quad (4)$$

Bu eşitliği kullanmak için Bond, E_i çalışma indeksini önermiştir. E_i olarak birim ağırlıktaki iri taneleri 100 μm elekte % 80'i geçecek şekilde ufaltmak için gerekli kW-h/ton cinsinden enerjiyi tanımlamıştır. Buna göre E , % 80'i X_F μm 'den geçen birim miktar beslemeden % 80'i X_P μm 'den geçen ürün elde etmek için gerekli enerji miktarı olmaktadır. İngiliz birim sisteminde Bond eşitliği en son aşağıdaki şekle dönüşmektedir :

$$\frac{P}{T} = 1,46 E_i \left(\frac{1}{\sqrt{D_P}} - \frac{1}{\sqrt{D_F}} \right) \quad (5)$$

P : Güç , hp

T : Besleme hızı, ton/dak , D_F : Beslemenin çapı, ft, D_P : Ürünün çapı, ft

E_i için tipik değerler aşağıdaki tablo 1 de verilmiştir :

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 482 KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI III

Tablo 1. E_i değerleri.

Madde	E_i^*
Boksit	9,45
Kömür	11,37
Granit	14,39

• : Bu değerler maddenin kuru olması durumunda 1,34 ile çarpılmalıdır.

Elek Analizi

Çeşitli boyuttaki taneciklerden oluşan bir karışımdaki boyut dağılımını belirlemek için kullanılan yöntemlerden bir tanesi elek analizidir. Bu yöntemde eldeki karışım seri haldeki eleklerden geçirilerek kısımlara ayrılır. Her bir elekte kalan madde miktarları, tartılarak bulunur. Bu değerler kullanılarak kütle kesri halinde tek bir elekte kalan miktarı ifade edilir. Elek analiziyle tanecik büyüklüğünü tanımlarken taneciğin en son geçtiği elek büyüklükleri verilmelidir. Örneğin 14/20 ifadesi taneciğin 14 No.lu elekten geçip 20 No.lu eleğin üzerinde kaldığını göstermektedir. bu tür analiz “türevsel analiz” olarak bilinir. Tablo 2 de örnek bir türevsel elek analizi verilmiştir. Burada $\Delta\Phi_n$ “n” numaralı elekte kalan katı madde kütle kesrini göstermektedir. Elekler yukarıdan başlayarak numaralandırılır. D_{pn} ise “n” numaralı elek açıklığına eşit olan çap olarak alınmaktadır.

Tablo 2. Türevsel elek analizi.

“Mesh”	$\Delta\Phi_n$	D_{pn} , cm	“Mesh”	$\Delta\Phi_n$	D_{pn} , cm
4/6	0.0251	0.3327	35/48	0.0102	0.0295
6/8	0.125	0.2362	48/65	0.0077	0.0208
8/10	0.3207	0.1651	65/100	0.0058	0.0147
10/14	0.257	0.1168	100/150	0.0041	0.0104
14/20	0.159	0.0833	150/200	0.0031	0.0074
20/28	0.0538	0.0589	Kapta	0.0075	
28/35	0.0210	0.0417			

Elek analizinde ikinci yöntem kümülatif elek analizi dir. Kümülatif elek analizi türevsel elek analizinden yararlanılarak bulunur. Her bir elekte kalan madde miktarları en büyük elekten başlayarak birbiri üzerine ilave edilir. Bu toplam değerler toplamın alındığı son “mesh” değerine karşılık tablo halinde verilir. Φ aşağıdaki eşitlikle tanımlanır :

$$\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 + \dots = \sum_{n=1}^{n_r} \Delta\phi_n \quad (7)$$

Toplama elek analizi Φ ile D_p (elek “n” nin delik büyüklüğü) arasındaki ilişkiyi verir. Φ miktarı D_p ' den daha büyük çapta olan katı taneciklerin miktarını tanımlamaktadır. Tüm örnek için Φ ' nin değeri bire eşit olacaktır. Ablo 2. De türevsel elek analizi verilen sistem için hesaplanan toplama elek analizi Tablo 3. De verilmiştir.

Tablo 3. Kümülatif elek analizi.

“Mesh”	D_{pn} , cm	Φ	“Mesh”	D_{pn} , cm	Φ
4	0.4699	0.00	35	0.0417	0.9616
6	0.3327	0.0251	48	0.0295	0.9718
8	0.2362	0.1501	65	0.0208	0.9795
10	0.1651	0.4708	100	0.0147	0.9853
14	0.1168	0.7278	150	0.0104	0.9894
20	0.0833	0.8868	200	0.0074	0.9925
28	0.0589	0.9406	Kapta	-	1.0000

Katı Taneciklerin Özellikleri

Tek başına bir katı madde büyüklüğü, şekli ve yoğunluğu ile tanımlanabilir. Büyük katı parçaların kırılmasıyla elde edilen daha küçük boyutlu ancak homojen olmayan katı tanecik karışımı için ise bu özelliklerin tanımı mümkün olmayacaktır. Bu durumda uygun şekilde tanımlanmış şekil faktörleri ve boyutlar kullanılmaktadır. Ancak bu terimler bir ölçüde rastgele tanımlardır. Bu nedenle literatürde şekil ve boyut için farklı tanımlara rastlamak mümkündür.

Tanecik Şekli

Tek bir katı taneciğin şekli şekil faktörü Φ_s ile tanımlanır :

$$\phi_s = \frac{6v_p}{D_p S_p} \quad (8)$$

S_p : Tek taneciğin yüzey alanı, D_p : Eşdeğer çap veya nominal çap

v_p : Tek taneciğin hacmi

Eşdeğer çap bazen aynı hacimdeki küpün çapı olarak tanımlanır. Ancak çok ufak tanecikli karışımlar için hacmi tam doğru olarak bilmek mümkün değildir. Bu durumda D_p elek analizine dayalı olarak belirlenen nominal çap olmaktadır. Yüzey alanı adsorpsiyon deneylerinden veya dolgu kolondaki basınç düşüşünden yararlanılarak bulunur. Kırılmış katı tanecikler için Φ_s 0,6 ile 0,8 aralığındadır. Ancak taneciklerin aşınmaya uğraması durumunda Φ_s 0,95 değerine kadar çıkar. Tablo 4. De çeşitli maddeler için şekil faktörleri verilmiştir.

Tablo 4. Şekil faktörleri.

	Φ_s
Küre, küp veya kısa silindir	1.
Kum tanesi	0,83
Kömür tozu	0,73
Kırılmış cam	0,65
Mika kırıkları	0,28

Tanecik Boyutu

Eşit boyutlu tanecikler için çap tanımını kullanmak uygun olabilir. Eşit boyutlu olmayan sistemlerde ise en büyük iki boyut sistemi tanımlamada kullanılır.

Karışık Tanecik Boyutu ve Boyut analizi

D_p çaplı taneciklerden oluşan bir numunede taneciklerin toplam hacmi m/ρ_p (m : numunelerin toplam ağırlığı, ρ_p : taneciklerin yoğunluğu) olur. Tek bir taneciğin hacmi v_p olduğuna göre, numunedeki toplam tanecik sayısı

$$N = \frac{m}{v_p S_p} \quad (9)$$

Toplam yüzey alanı ise

$$A = NS_p = \frac{m S_p}{v_p \rho_p} = \frac{6m}{\phi_s \rho_p D_p} \quad (10)$$

Eşitlik (9) ve (10) dan çeşitli boyut ve yoğunluktaki karışımlara uygulamak için karışım önce yaklaşık olarak sabit yoğunluk ve boyutta kısımlara ayrılır. Her bir kısım için eşitlik (9) ve (10) dan hesaplanan N_i ve A_i değerleri toplanarak numune için A ve N değerleri bulunabilir.

Karışımın Özgül Yüzey Alanı

Tanecik yoğunluğu ρ_p ve küreselliği (şekil faktörü), ϕ_s , bilinen bir numune için, her bir kesrin yüzey alanları Eşitlik (10) dan bulunur ve bunların toplamı özgül yüzey alanı, A_w , olarak tanımlanır.

$$A_w = \frac{6x_1}{\phi_s \rho_p D_{p1}} + \frac{6x_2}{\phi_s \rho_p D_{p2}} + \dots = \frac{6}{\rho_s \phi_p} \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{D_{pi}} \quad (11)$$

x_i : Verilen aralıktaki kütle kesri, n : Aralık sayısı

D_{pi} : Ortalama tanecik çapı (En küçük ve en büyük çapların aritmetik ortalaması).

Ortalama Tanecik Boyutu

Bir karışımın ortalama tanecik boyutu farklı şekillerde tanımlanır.

(a) En yaygın kullanılan hacim yüzey ortalama çapı, D_s ' dir

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
KM 482 KİMYA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI III

$$\bar{D}_s = \frac{6}{\Phi_s A_w \rho_p} \quad (12)$$

$$\bar{D}_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i / \bar{D}_{pi})} \quad (13)$$

Her bir kesirde tanecik sayısının bilinmesi durumunda aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$\bar{D}_s = \frac{\sum_{i=1}^n N_i D_{pi}^3}{\sum_{i=1}^n N_i D_{pi}^2} \quad (14)$$

(b) Aritmetik ortalama çap, \bar{D}_N

$$\bar{D}_N = \frac{\sum_{i=1}^n (N_i \bar{D}_{pi})}{\sum_{i=1}^n N_i} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \bar{D}_{pi}}{N_T} \quad (15)$$

(c) Kütle ortalama çap, \bar{D}_w

$$\bar{D}_w = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \bar{D}_{pi}}{\sum_{i=1}^n x_i} \quad (16)$$

(d) Hacim ortalama çap, \bar{D}_v

$$\bar{D}_v = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n (x_i / \bar{D}_{pi}^3)} \right]^{1/3} \quad (17)$$

Karışımdaki Toplam Tanecik Sayısı

Türevsel analizden giderek karışımdaki tanecik sayısını bulmak için her bir karışımdaki tanecik sayısı bulunur ve bunların toplamı N (toplam tanecik sayısı/birim kütle) değerini verir. Tanecik hacmi D_p ile orantılıdır.

$$V_p = \pi D_p^3 \quad (18)$$

Türevsel analizden yararlanılarak yapılacak hesaplamalar için verilen bu eşitliklere benzer eşitlikler kaynaklarda kümülatif analiz için de verilmiştir(1).