

BOYUT KÜÇÜLTME VE ELEK ANALİZİ

1. DENEYİN AMACI

Boyut küçültme, katı maddelerin kesilerek, kırılarak veya öğütülerek küçük parçacıklara bölünmesi olup, çok önemli bir temel işlemdir. Deneyimizdeki amacımız, boyut küçültmeyi laboratuardaki çeneli kırıcı ile gerçekleştirmek ve bu kırılan taneciklerin elek analizini yapmaktır.

2. TEORİK BİLGİLER

Endüstride katı maddeler çeşitli amaçlar için çeşitli yöntemlerle ufaltılırlar. Parçacık boyutlarının küçültülmesi, katıların tepkimeye girme yeteneğini artırır, istenmeyen kısımlardan mekanik yollarla ayrılmayı sağlar ve katılara daha kolay işlenme olanağı verir.

Katılarda boyut küçültme baskı, vurma, aşındırma ve kesme şeklindedir. Genellikle baskı kaba kırmada kullanılırken vurma ile orta yada ince ürünler elde edilir. Aşındırma ile yumuşak ve aşındırıcı olmayan malzemeden çok ince ürünler elde edilir. Kesme işlemi ile belirli parçacık büyüklüğü ve şekli elde edilir

Boyut küçültme aygıtları, kırıcılar, öğütücüler, aşırı ince öğütücüler ve kesme makineleri olarak gruplara ayrılırlar. Kırıcılar; büyük katı parçalarını daha küçük parçalara kırarlar. Birincil bir kırıcı maden ocağından gelen tüm parçaları alır ve 15-25 cm lik parçalar halinde kırar. İkincil bir kırıcı ise bu parçaları yaklaşık 0,5 cm boyutuna küçüktür. Öğütücüler, kırılmış malzemeyi töz haline getirirler. Orta derece bir öğütücüden alınan ürün 16 mesh elekten geçmelidir. Kesiciler, belirli büyüklük ve şekilde 0,1-1 cm aralığında ürün verirler. Bu makineler işlerini tamamen farklı yollarla yaparlar. Yavaş baskı kırıcılara özgü bir harekettir. Öğütücüler vurma ve aşındırmayı bazen baskı ile birlikte uygularlar. Aşırı ince öğütücüler aşındırma ile çalışırlar. Kesme hareketi kesicilere özgüdür.

2.1 Boyut Küçültmenin Nitelikleri

İdeal bir kırıcı yada öğütücü;

1. Büyük kapasiteli olmalı
2. Birim nicelikte ürün elde etmek için küçük bir güç gerektirmeli
3. Belirli bir büyüklükte veya istenilen boyut dağılımında ürün vermelidir.

2.2.Parçalanmış Ürünlerin Özellikleri

Parçalanma, boyut küçültmeye karşılık bir terimdir. Küçük tanecikler büyük yüzey alanına sahip olmaları veya şekil ve boyutları sebebiyle istenirler. Parçalanmış tanecikler, kırılmadan sonra aşınma ile düzleşmedikçe hemen hemen düzlem yüzeyleri ve keskin kenar ve köşeleri olan çok yüzlüler şeklindedir. Ana yüzeylerin sayısı değişebilir fakat çoğu zaman dörtle sekiz arasındadır. Taneciklerin uzunluğu genişliği ya da kalınlığı hemen hemen eşit olabileceği gibi

levha ya da iğne şeklinde de olabilir. Hemen hemen eşit birkaç yüzey içeren bir tanecik küresel varsayılabilir ve genel olarak parçacık boyutu için ‘çap’ terimi kullanılır.

2.3 Benzer Şekilli Tanecikleri Geometrisi

Bir tanecik düşünelim ve dikkatimizi büyüklük, hacim ve yüzey üzerinde toplayalım. Büyüklüğü nicel olarak ölçmek için, özgün uzunluk olarak önemli bir boyut seçmek gereklidir. Bir küp ya da küre için bir kenar uzunluğu ya da çap en kolay seçimdir. Düzensiz şekli bir tanecik için özgün boyutun seçimi istekseldir.

Özgün boyutun uzunluğu D_p olsun; buna tanecik çapı diyelim. Taneciğin hacmi D_p^3 ile, yüzeyi D_p^2 ile orantılıdır. Örneğin bir küpün hacmi D_p^3 ve yüzeyi ise $6D_p^2$ dir, kürenin ise $(\pi/6) D_p^3$ ve πD_p^2 dir. Her iki şekil için de Yüzeyin hacme oranı $6/D_p$ dir.

Herhangi bir şekildeki bir taneciğin hacmi;

$$V_p = aD_p^3 \quad (1)$$

ve yüzeyi

$$A_p = 6bD_p^2 \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada a ve b parçacığın şekline bağlı olan geometrik sabitlerdir. 1 ve 2 eşitliklerinden yüzeyin hacme oranı,

$$\frac{A_p}{V_p} = \frac{6(b/a)}{D_p} = \frac{6\lambda}{D_p} \quad (3)$$

$$\lambda = b/a \quad (4)$$

Burada şekil etmeni (λ) parçacığın büyüklüğüne bağlı değildir ve yalnızca şeklin bir fonksiyonudur. Küp ve küre için şekil etmeninin değeri bire eşittir. Değişik şekilli parçacıklar için birden büyük değer alır. Parçalanma ile elde edilen ürünler için bu değer yaklaşık 1,75 dir.

D_p çaplı, aynı şekilli taneciklerden oluşan bir örnekte, taneciklerin toplam hacmi m/ρ_p dir. Burada m, örneğin toplam kütlesi; ρ_p ise taneciklerin yoğunluğudur. Bir taneciğin hacmi aD_p^3 olduğuna göre, örnekteki taneciklerin sayısı N,

$$N = \frac{m/\rho_p}{aD_p^3} \quad (5)$$

Parçacıkların toplam yüzey alanı 2,4 ve 5 eşitlerinden

$$A = N \cdot A_p = \frac{m/\rho_p}{aD_p^3} \cdot 6bD_p^2 = \frac{6\lambda m}{D_p \rho_p} \quad (6)$$

2.4 Karışık Taneciklerin Büyüklükleri Ve Elek Analizi

Çeşitli büyüklüklerde ve yoğunluklarda tanecikler içeren karışımlara 1 den 6 ya kadar olan eşitlikleri uygulayabilmek için, karışım her biri sabit yoğunlukta ve yaklaşık olarak sabit

büyükte tanecikler içeren kesimlere ayrılır. Sonra her bir kesim tartılır, içindeki tanecikler sayılır yada mikroskopik yöntemlerle ölçülür. Her bir kesime yukarıdaki eşitlikler uygulanabilir ve sonuçlar toplanarak ilk karışımın özellikleri bulunur.

Karışımları yalnızca boyutlarına göre ayırtmak için en kolay ve çok yaygın yöntem, deney elekleri ile elemektir. Yöntem aynı yoğunluk ve şekilde olan 7,6 cm-0,0038 cm arasındaki büyüklüklerdeki taneciklere uygulanabilir. En çok kullanılan eleklerin delik boyut aralığı 2,5-0,0125 cm dir.

Tyler elekler dizisinde delik açıklığı 0,0074 cm olan 200 mesh elek temel alınır. Serideki herhangi bir eleğin delik açıklığının alanı, bir sonraki daha küçük eleğinkinin tam iki katıdır. O halde herhangi bir eleğin gerçek delik boyutunun, kendinden hemen sonraki daha küçük eleğinkine oranı $\sqrt{2}=1,41$ dir. Daha sık boyutlandırma için ara elekler vardır. Bunlardan her biri, bir sonraki daha küçük standart eleğinkinin $\sqrt[4]{2}=1,189$ katı delik boyutuna sahiptir. Genellikle ara elekler kullanılmaz.

Burada çizelge 5 ile birlikte verilen Tyler elek serisi kullanılmaktadır. Ancak bir de DIN elek serisi vardır. Bu seride 1 cm deki delik sayısı mesh sayısı olarak tanımlanmıştır.

Uygulamalarda standart eleklerin bir dizisi, en küçük delikli en altta, en büyük delikli en üstte olmak üzere seri olarak üst üste yerleştirilir. Analiz, örneği en üstteki eleğe koyarak ve diziyi belirli bir süre mekanik olarak titreştirerek yapılır. Her bir elekte kalan parçalar alınır, toplam örneğin kütle yüzdelere çevrilir. En ince elekten geçen parçacıklar dizinin dibindeki bir tablada toplanırlar. Buna “elek altı” denir.

Elek analiz sonuçları, her bir elekte kalan madenin kütle kesrini delik boyutunun bir fonksiyonu olarak göstermek için çizelge haline getirilir. Herhangi bir eleğin üstündeki parçacıklar bir üstteki elekten geçtiğinden dolayı, bir elek artığının boyut aralığını tanımlamak için iki sayı gerekir. Bunlardan biri elenen kesimin içerisinden geçtiği elek, değeri üstünde kaldığı elek içindir. Böylece 14/20 gösterimi “14 mesh lik elekten geçer ve 20 mesh lik eleğin üstünde kalır” anlamındadır. Bu aynı zamanda -14+20 şeklinde de gösterilebilir. Bu şekilde çizelge haline getirilen bir analize AYRIMSAL (DİFERANSİYEL) ANALİZ denir. Tipik bir diferansiyel analiz tablo 1 de verilmiştir.

$\Delta\Phi_n$ simgesi n eleği tarafından tutulan, toplam örneğe göre kütle kesri için kullanılır. Dizinin üstünden başlanarak elekler sırayla numaralanır; bu nedenle n-1 eleği n eleğinin hemen üstündedir. Üst üste iki eleğin delik açıklıklarının ortalaması D_n ile verilir. Diferansiyel elek analizinde ortalama parçacık boyutu olarak bu değer kullanılır. D_{pn} simgesi ise n eleğinin delik açıklığını gösterir.

Elek analizinin ikinci türü TOPLAMLI (KÜMÜLATİF) ANALİZ dir. Toplamlı analiz ayrimsal analizden toplama ile elde edilir. Bu işlem en büyük delik açıklıklı elekte kalandan başlanarak gittikçe artacak şekilde ayrı ayrı eleklerde kalanları toplamak ve bu toplamları en son eklenen eleğin delik boyutuna karşı çizelge yada grafiğe geçirmekle yapılır. Eğer aşağıdaki bağıntı ile tanımlanırsa,

$$\phi = \Delta\phi_1 + \Delta\phi_2 + \dots + \Delta\phi_n = \sum \Delta\phi_n \quad (7)$$

Toplam analiz ϕ ile D_p arasında bir bağıntıdır. Burada D_p , n eleğin delik boyutudur. ϕ niceliği ise örnekte D_p den daha büyük taneciklerin kütle kesridir. Tüm örnek için ϕ 'nin

değeri bire eşittir. Tablo 1 deki ayrımsal analize karşı gelen toplamli analiz, tablo 2 de gösterilmiş ve şekil 1 de grafiğe alınmıştır. Ayrıca konunu daha iyi anlaşılabilmesi için tablo 3'te bir örnek daha bulacaksınız.

Tablo 1. Ayrımsal elek analiz verileri

Tane Boyutu (mesh)	Dpn (cm)	$\Delta\Phi_n$
4/6	0,3327	0,0251
6/8	0,2362	0,1250
8/10	0,1651	0,3207
10/14	0,1168	0,2570
14/20	0,0833	0,1590
20/28	0,0589	0,0538
28/35	0,0417	0,0,210
35/48	0,0295	0,0102
48/65	0,0208	0,0077
65/100	0,0147	0,0058
100/150	0,0104	0,0041
150/200	0,0074	0,0031
Elek Altı	-	0,0075

Tablo 2. Toplamli elek analiz verileri

Tane Boyutu (mesh)	Dpn (cm)	$\Delta\Phi_n$
4	0,4699	0,0000
6	0,3327	0,0251
8	0,2362	0,1501
10	0,1651	0,4708
14	0,1168	0,7278
20	0,0833	0,8868
28	0,0589	0,9406
35	0,0417	0,9616
48	0,0295	0,9718
65	0,0208	0,9795
100	0,0147	0,9853
150	0,0104	0,9894
200	0,0074	0,9925
Elek Altı	-	1,0000

Tablo 3. Elek analizi ile ilgili bir örnek

Tyler elek numarası(mesh)	Elekteki delik açıklığı (mikron)	Ortalama tanecik büyüklüğü (mikron)	Tutulan taneciklerin ağırlık yüzdesi	Büyük taneciklerin (elek üstü) toplamı yüzdesi	Küçük taneciklerin (elek altı) toplamı yüzdesi
6	3327		0,0	0,0	100,0
8	2362	2845	1,7	1,7	98,3
10	1651	2006	23,5	25,2	74,8
14	1168	1410	29,8	55,0	45,3
20	833	1000	21,7	76,7	23,3
28	589	711	10,5	87,2	12,8
35	417	503	6,2	93,4	6,6
48	295	356	2,8	96,2	3,8
65	208	252	1,7	97,9	2,1
100	147	178	1,0	98,9	1,1
150	104	126	0,5	99,4	0,6
200	74	89	0,2	99,6	0,4
200 geçen	-	-	0,4		

2.5. Elek Analizine Dayalı Hesaplamalar

Ayrımsal yada toplamı analiz her ikisi de, bir karışımın yüzey alanı ve tanecik sayısını hesaplamada kullanılır. Ayrımsal analiz kullanılırsa bir kesimdeki tüm taneciklerin büyüklüğünün eşit olduğu varsayımı yapılır ve bu büyüklüğü tanımlayan iki eleğin delik boyutlarının aritmetik ortalamasıdır. Buna göre, standart 10 ve 14 mesh eleklerin delik boyutu sırası ile 0,1651 ve 0,1168 cm dir ve 10/14 kesiminin $(0,1651+0,1168)/2=0,141$ cm çaplı eş boyutlu taneciklerden oluştuğu varsayılır. \overline{D}_n simgesi bu şekilde aritmetik ortalama çaplar için kullanılır.

Toplamı analiz kullanılırsa D_p ye karşı Φ grafiğine sürekli bir fonksiyon gibi bakılır ve grafiksel integral alınır. Toplamı analize dayalı yöntem, ayrımsal analize dayalı olandan daha duyarlıdır. Çünkü toplamı analiz kullanıldığında bir kesimdeki tüm taneciklerin büyüklükçe eşit olduğu varsayımı yapılmayabilir. Bununla birlikte elek analizinin doğruluğu fazla değildir.

2.6. Karışımın Özgül Yüzeyi

Tanecik yoğunluğu ρ_p ve şekil etmenleri a ve b nin bilindiği ve bu niceliklerin parçacığın çapına bağlı olmadığı varsayılır. Ayrımsal analiz kullanılırsa, her kesimdeki parçacıkların yüzeyi 6 eşitliği ile hesaplanır ve tüm kesimlerin sonuçları toplanarak, örneğin birim kütlelerinin toplam yüzeyi yani özgül yüzeyi (A_w) bulunur.

$$A_w = \frac{6\lambda\Delta\phi_1}{\rho_p D_1} + \frac{6\lambda\Delta\phi_2}{\rho_p D_2} + \dots + \frac{6\lambda\Delta\phi_n}{\rho_p D_n} = \frac{6\lambda}{\rho_p} \sum_{n=1}^{nT} \frac{\Delta\phi_n}{D_n} \quad (8)$$

Burada alt indisler ayrı ayrı her elekte kalanı gösterir. nT elek sayısı D_n; D_{p_n} ve D_{p_(n-1)}' in aritmetik ortalamasıdır. Toplam işareti ayrı ayrı kesimlerin $\Delta\phi_n / \overline{D_n}$ niceliklerinin hepsinin toplamı anlamına gelir.

Toplamlı analiz kullanıldığında 6 eşitliği diferansiyel olarak yazılır ve toplam yüzey, $\phi=0$ ve $\phi=1$ sınırları arasında grafiksel integrasyonla bulunur.

$$Aw = \frac{6\lambda}{\rho_p} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p} \quad (9)$$

Grafiksel integrasyon, apsiste Φ ye karşı ordinatta 1/D_p grafiğe alınarak $\phi=0$ ve $\phi=1$ arasında eğrinin altında kalan alanın ölçülmesiyle yapılır.

Özgül yüzey Aw, tüm karışım için ortalama bir tanecik boyutu ile ilgilidir. Bu ortalama boyuta HACİM YÜZEY ORTALAMA ÇAPI denir ve D_{vs} simgesiyle gösterilir.

$$D_{vs} = \frac{6\lambda}{Aw\rho_p} \quad (10)$$

2.7. Karışımın Taneciklerin Sayısı

Bir karışımındaki taneciklerin sayısını, ayrımsal analizden hesaplamak için;5 eşitliği her bir kesimdeki taneciklerin sayısını hesaplama da kullanılır ve bunların tümünün toplanması ile örneğin birim kütledeki tanecik sayısı, yani özgül tanecik sayısı (Nw) elde edilir.

$$Nw = \frac{\Delta\phi_1}{a\rho_p D_1^3} + \frac{\Delta\phi_2}{a\rho_p D_2^3} + \dots + \frac{\Delta\phi_n}{a\rho_p D_n^3} = \frac{1}{a\rho_p} \sum_{n=1}^{nT} \frac{\Delta\phi_n}{D_n^3} \quad (11)$$

Toplamlı analiz kullanılması durumunda 11 eşitliği aşağıdaki şekle çevrilebilir:

$$Nw = \frac{1}{a\rho_p} \int_0^1 \frac{d\phi}{D_p^3} \quad (12)$$

2.8.İnce Taneciklerin Boyut Dağılımı

Genel olarak öğütülmüş bir ürünün ince boyutlar için D_p ye karşı ϕ grafiğinin eğiminin, tanecik çapı (D_p)'nin üslü bir fonksiyonu olduğu bulunmuştur. Bu matematiksel olarak aşağıdaki gibi yazılır.

$$-\frac{d\phi}{dD_p} = BDp^k \quad (13)$$

Burada B ve km sabitlerdir. Eksi işareti ϕ artarken D_p nin azalması sebebiyle konmuştur. Bu eşitlik, doğru eleme yapıldığında, elde edilen analiz verileri ne kadar küçük boyutlar gösterirse gösterebilir kullanılır.

13 eşitliği $\phi = \phi_1$ ve $\phi = \phi_2$ sınırları ve bunlara karşı gelen $Dp = Dp_1$ ve $Dp = Dp_2$ sınırları arasında integre edilirse aşağıdaki eşitlik bulunur.

$$\phi_2 - \phi_1 = \frac{B}{k+1} (Dp_1^{k+1} - Dp_2^{k+1}) \quad (14)$$

k sabiti örnekteki çok ince boyutların bağıl önemine bağlıdır. Değeri öğütülmüş ürün için yaklaşık -0,5 ile 0,1 arasında değişir. Daha büyük k değerleri Dp_1 ve Dp_2 çapları arasındaki kesimde çok küçük tanelerin daha az önemli olduğunu gösterir. Eğer ürün aşırı öğütülmüş ise ince parçacıklar ön plana geçer ve k küçülür. B sabiti, tüm ürünün Dp_1 ve Dp_2 çapları arasına düşen kesrinin bir ölçüsüdür.

B ve k sabitleri ayrımsal elek analizinden aşağıdaki yöntemle bulunur. Serideki herhangi bir eleğin delik açıklığının hemen onun altındaki eleğine oranının sabit bir değer olduğu varsayılır. Tyler elek serisi bu varsayımı karşılar. Dp_n ve $Dp_{(n-1)}$ sırası ile n ve (n-1) eleklerinin delik boyutları ise, n. Elekteki kütle kesri $\phi_n - \phi_{n-1}$ dir ve 14 eşitliği n eleği için aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\phi_n - \phi_{n-1} = \Delta \phi_n = -\frac{B}{k+1} (Dp_n^{k+1} + Dp_{(n-1)}^{k+1}) \quad (15)$$

$Dp_{(n-1)}$ ile Dp_n arasındaki oran "r" ise,

$$Dp_{(n-1)} = r Dp_n \quad (16)$$

Burada $r > 1$ dir. 16 eşitliği yardımı ile 15 eşitliğinden $Dp_{(n-1)}$ yok edilirse

$$\Delta \phi_n = \frac{B(r^{k+1} - 1)}{k+1} Dp_n^{k+1} = B' Dp_n^{k+1} \quad (17)$$

$$\text{Burada } B' = \frac{B(r^{k+1} - 1)}{k+1} \quad (18)$$

Ayrımsal elek analizi, $\Delta \phi_n$ ile Dp_n arasındaki gerekli ilişkiyi verir. 17 eşitliği logaritmik olarak şöyle yazılabilir.

$$\log \Delta \phi_n = (k+1) \log Dp_n + \log B' \quad (19)$$

B' ve k sabitleri Dp_n ye karşı $\Delta \phi_n$ nin logaritmik koordinatlarda grafiğe geçirilmesiyle bulunur.

Özgül yüzey ve parçacık sayısının hesaplanması için 13 eşitliği 9 ve 12 denklemleri ile birlikte kullanılır. 9 ve 13 denklemleri arasında $\Delta \phi_n$ nin yok edilmesi ve integrasyon A_w özgül yüzey alanını verir.

$$A_w = -\frac{6\lambda B}{\rho_p} \int_{Dp_1}^{Dp_2} Dp^{k+1} dDp \quad (20)$$

$$A_w = \frac{6\lambda B}{\rho_p k} (D_{p_1}^k - D_{p_2}^k)$$

Bu eşitlik k=0 için belirsizdir. Bu durumda,

$$A_w = \frac{6 \times 2,303 B \lambda}{\rho_p} \log \frac{D_{p_1}}{D_{p_2}} \quad (21)$$

Eşitliği kullanılır. 12 ve 13 denklemleri arasında $\Delta \phi$ nin yok edilmesi ve sınırlar arasında integral alma N_w ; karışımın birim kütledeki parçacık sayısını verir.

$$N_w = - \frac{B}{a \rho_p} \int_{D_{p_1}}^{D_{p_2}} \frac{dD_p}{D_p^{3-k}} \quad (22)$$

$$N_w = - \frac{B}{(2-k)a \rho_p} \left(\frac{1}{D_{p_2}^{2-k}} - \frac{1}{D_{p_1}^{2-k}} \right)$$

ÖRNEK 1. Tablo 1 ve 2 de verilen elek analizleri, kırılmış bir kuvars örneğine aittir. Parçacıkların özgül ağırlığı 2,65 ve şekil etmenleri a=2 ve b=3,5 dir. Özgül yüzey (cm^2/g) olarak ve özgül tanecik sayısı (tanecik/g) olarak nedir?

ÇÖZÜM 1. İnce boyutlar için $\overline{D_n}$ ye karşı $\Delta \phi_n$ nin bir logaritmik grafiği şekil 2 de gösterilmiştir. açıkça görüldüğü gibi, 0,0417 cm den daha küçük çaplar için, veriler 19 eşitliğine uyar. O halde bu sınır değerden daha küçük tanecikleri ilgilendiren hesaplamalarda 14 den 22 ye kadar olan eşitlikler kullanılabilir. 0,0417 cm den daha büyük tanecikler için 8 den 12 ye kadar olan eşitlikler kullanılmalıdır.

λ sabiti $3,5/2=1,75$ dir. 0,4699-0,0417 cm boyut aralığındaki hesaplamalar için ayrımsal analiz doğrudan doğruya kullanılırsa, 8 eşitliği aşağıdaki gibi yazılır.

$$A_w = -$$

$$A_w = \frac{6 \times 1,75}{2,65} \sum \frac{\Delta \phi_n}{D_n} = 3,96 \sum \frac{\Delta \phi_n}{D_n}$$

11 denklemleri ise,

$$N_w = \frac{1}{2 \times 2,65} \sum \frac{\Delta \phi_n}{D_n^3} = 0,189 \sum \frac{\Delta \phi_n}{D_n^3}$$

Bir elekte kalanlar için o kesimi tanımlayan eleklerin delik boyutlarının aritmetik ortalaması ($\overline{D_n}$) ekte verilen delik boyutlarından hesaplanır. Sonra $1/\overline{D_n}$ ve $1/\overline{D_n}^3$ büyüklükleri her kesim için hesaplanarak $\Delta \phi_n$ değerleri ile çarpılır ve sonra da $\Delta \phi_n / \overline{D_n}$ ve $\Delta \phi_n / \overline{D_n}^3$ toplamları bulunur. Bu hesaplar tablo 4 te gösterilmiştir.

Tablo 4. Örnek 1 için Aw ve Nw nin bulunması

Mesh	$\overline{D_n}$ (cm)	$\Delta\phi_n$	$1/\overline{D_n}$	$1/\overline{D_n}^3$	$\Delta\phi_n/\overline{D_n}$	$\Delta\phi_n/\overline{D_n}^3$
4/6	0,4013	0,0251	2,49	15,5	0,063	0,4
6/8	0,2844	0,1250	3,52	43,5	0,439	5,4
8/10	0,2006	0,3207	4,98	124	1,599	39,7
10/14	0,1409	0,2570	7,10	358	1,824	92,0
14/20	0,1000	0,1590	10,0	1000	1,590	159
20/28	0,0711	0,0538	14,1	2800	0,757	150
28/35	0,0503	0,0210	19,9	7860	0,417	165
					6,690	611,0

$$Aw=3,96 \times 6,69=26,5 \text{ cm}^2$$

$$Nw=0,189 \times 611=115 \text{ tanecik}$$

Aw ve Nw nin hesaplanması için toplamlı analiz kullanılırsa 9 ve 12 eşitlikleri aşağıdaki şekli alır.

$$Aw=3,96 \int_0^{0,9616} \frac{d\phi}{D_p}$$

$$Nw=0,189 \int_0^{0,9616} \frac{d\phi}{D_p^3}$$

Eşitlikleri grafiksel olarak integre etmek için $1/D_p$ ve $1/D_p^3$ değerleri ϕ 'ye karşı grafiğe geçirilir ve $\phi=0$ ve $\phi=0,9616$ sınırları arasında eğrilerin altında kalan alanlar ölçülür. Bu grafikler Şekil 3 ve 4'de gösteriliyor. Şekil 4'de grafiğin bütün bölümlerinde en yüksek duyarlılığı elde edebilmek için $\phi=0,7$ ve $\phi=0,925$ 'de ordinatın skalasında değişiklik yapılmıştır. İntegrallerin sayısal değerleri sırasıyla 6,71 ve 626 bulunur. Buna göre,
 $Aw=(3,96)(6,71)=26,6 \text{ cm}^2$

$$Nw=(0,189)(626)=118 \text{ tanecik}$$

bulunur. Sonuçlar ayrımsal analize dayalı hesaplamalardan bulunanlara oldukça yakındır.

35 mesh elekten geçen kesimde taneciklerin alanı ve sayısının bulunması için 13 eşitliğindeki k ve b sabitlerinin bulunması gerekir. Bu sabitler Şekil 2'deki eğriden bulunur. Eğrinin doğrusal kısmının eğimi, $k+1=0,886$ 'dır. Böylece $k=-0,114$ olarak bulunur. B' nün değerini bulmak için eğri üstündeki herhangi bir noktanın koordinatları kullanılabilir. Örneğin; $\Delta\phi_n=0,004$ olduğu zaman $D_{pn}=0,01$ 'dir. Bu değerler 19 eşitliğinde yerine konulursa,

$$\log(0,04)=0,886 \log(0,01)+\log B'$$

buradan $B' = 0,237$ olarak bulunur. Tyler elek serisi için $\sqrt{2}=1,414$ olduğuna göre 18 eşitliğinden

$$B = \frac{(0,237)(0,886)}{(1,414)^{0,886} - 1} = 0584$$

bulunur.

Elek altı kesiminin en büyük boyutlu taneciği 0,0074 cm delik açıklığından geçer. Bu kesim için ϕ ile D_p nin ilişkisinin 13 ve 14 eşitliğine uyduğu varsayılırsa, elek altındaki en küçük taneciklerin çapı aşağıdaki gibi bulunur.

$$0,0075 = \frac{0,584}{0,886} (0,0074^{0,886} - D_{p2}^{0,886})$$

$$D_{p2} = 0,00072 \text{ cm}$$

0,0417-0,00072 cm boyut aralığına sahip kesimin alanı 20 eşitliğinden hesaplanırsa,

$$A_w = \frac{6 \times 0,584}{2,65(-0,114)} (0,0417^{-0,114} - 0,00072^{-0,114})$$

$$A_w = 9,7 \text{ cm}^2$$

Tüm örneğin toplam alanı = 26,6 + 9,7 = 36,3 cm²/g olarak bulunur. 22 eşitliğinden,

$$N_w = \frac{0,584}{2,114 \times 2 \times 2,65} (0,00072^{-2,114} - 0,0417^{-2,114})$$

$$N_w = 229400 \text{ tanecik}$$

Buna göre tüm örnekteki toplam tanecik sayısı = 118 + 229400 = 229518 tanecik/g olarak bulunur.

3.DENEY DÜZENEGİ

Deneyde bir çeneli kırıcı ile maddemizi kırdıktan sonra kırılan ürünün elek analizi yapılacaktır. Kırma işlemine geçilmeden önce kırıcının iyice temizlenmesi gerekir. Çünkü daha önceden aynı makinede başka bir madde kırılmış olabilir ve bu da bizim maddemize karışarak hatalara sebep olabilir. Makinemizin temizlendiğinden emin olduktan sonra elde etmek istediğimiz ürün boyutu için kırıcımızın ayarlarının yaparız. Kırıcıyı çalıştırdıktan sonra, çeneli kırıcı içerisine kırmak istediğimiz maddeden bir miktar boşaltılır. O miktar kırıldıktan sonra dikkatli bir şekilde biraz daha boşaltırız. Bu işlem elemek istediğimiz miktar bitene kadar devam eder.

Kırma işlemi tamamlandıktan sonra çeşitli mesh sayılarına sahip elekler daha önce anlatıldığı gibi en üste en büyük delikli (en küçük mesh sayılı) elek gelecek şekilde yerleştirilir. Sonra elekler titreşim makinesine yerleştirilerek sıkıca üzeri kapatılır. Bu makinede elekler titreşim vasıtasıyla elenerek çeşitli boyutlara ayrılır. Bu boyutlar hesaplamalarda kullanılmak üzere kaydedilir.

4. SONUÇLAR

Burada deneyden elde edilen sonuçlar tablo halinde sunulur. Ayrıca örnek birde verildiği gibi daha sonraki hesaplamalarda kullanılmak üzere bir tablo daha hazırlanır. Bu tablodaki

verilerle şekil 2,3 ve 4 dekine benzer grafikler çizilir. Burada tablolar numaralandırılarak tablo üst yazıları belirlenir.

5. HESAPLAMALAR

Burada ayrımsal analiz ve toplamlı analiz yöntemleriyle kaba taneciklerin özgül yüzey ve özgül tanecik sayıları hesaplanacak ayrıca hacim yüzey ortalama çapı bulunacaktır. Ayrıca,

- Tutulan toplamlı kesim –delik açıklığı
- log delik açıklığı-log elek üstünde kalan kesim
- Tutulan toplamlı kesim-1/Dp
- Tutulan toplamlı kesim-1/Dp³

Grafikleri çizilecektir.

6. TARTIŞMA VE YORUM

Elde edilen sonuçlar tartışılacak ve yoruma gidilecek varsa deney eksikleri ve hataları belirtilecektir. Elek analizi sonuçlarına göre ince taneciklerin oluşup oluşmadığı saptanıp sonucu yorumlanacaktır.

SEMBOLLER

$\Delta \phi_n$: n eleği tarafından tutulan toplam örneğe göre kütle kesri

$\overline{D_n}$: iki eleğin delik açıklıklarının ortalaması

D_{pn} : n eleğinin delik açıklığı

D_p : tanecik çapı

ϕ : Örnekte D_p den daha büyük taneciklerin kütle kesri

ρ_p : tanecik yoğunluğu

λ : şekil etmeni

A_w :özgül yüzey

N_w :örneğin birim kütlesindeki tanecik sayısı

B, k : sabit

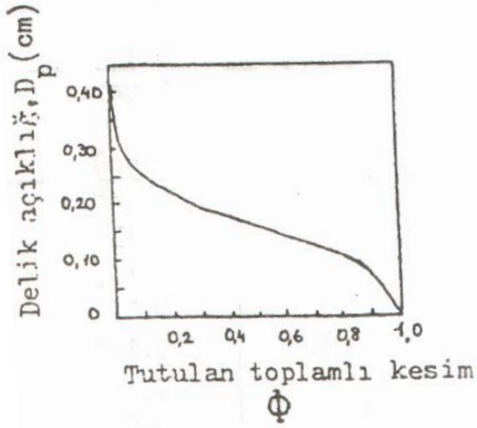
R : $D_{p(n-1)}$ ile D_{pn} arasındaki sabit oran

KAYNAKLAR

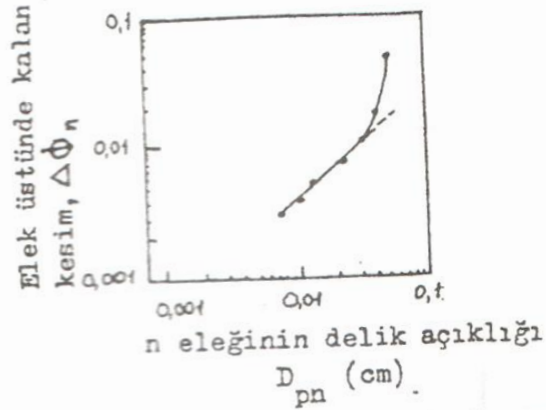
-Çataltaş, İ., Kimya Mühendisliğine Giriş, İnkılap ve Aka Yayınevi, İstanbul, 1987

-Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Temel İşlemler Laboratuvarı Ders Notları, Ankara, 1978

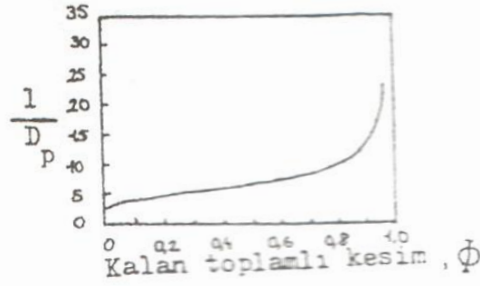
-İstanbul Teknik Üniversitesi Temel İşlemler Laboratuvarı Ders Notları, İstanbul, 1986



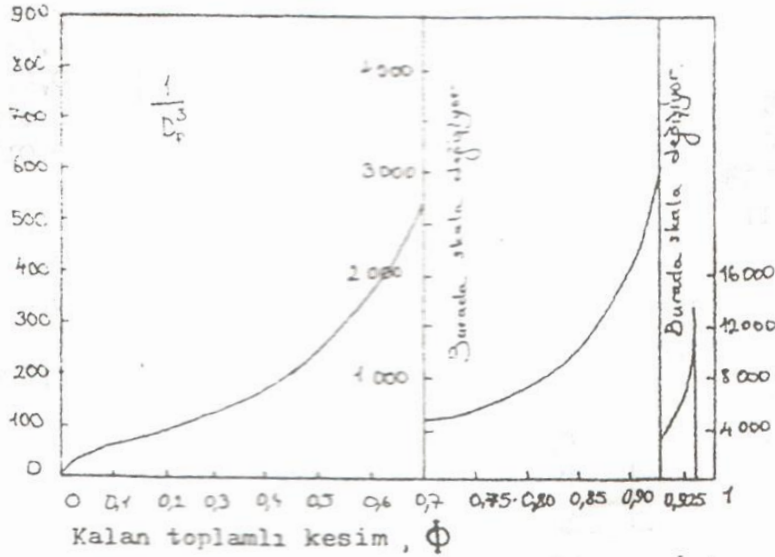
Şekil 1 : Toplamı elek analizi



Şekil 2 : Örnek 1 için $\log D_{pn}$ ye karşı $\log \Delta\Phi_n$ nin grafiği



Şekil 3 : Grafiksel integrasyon, örnek 1 için parçacıkların yüzeyi

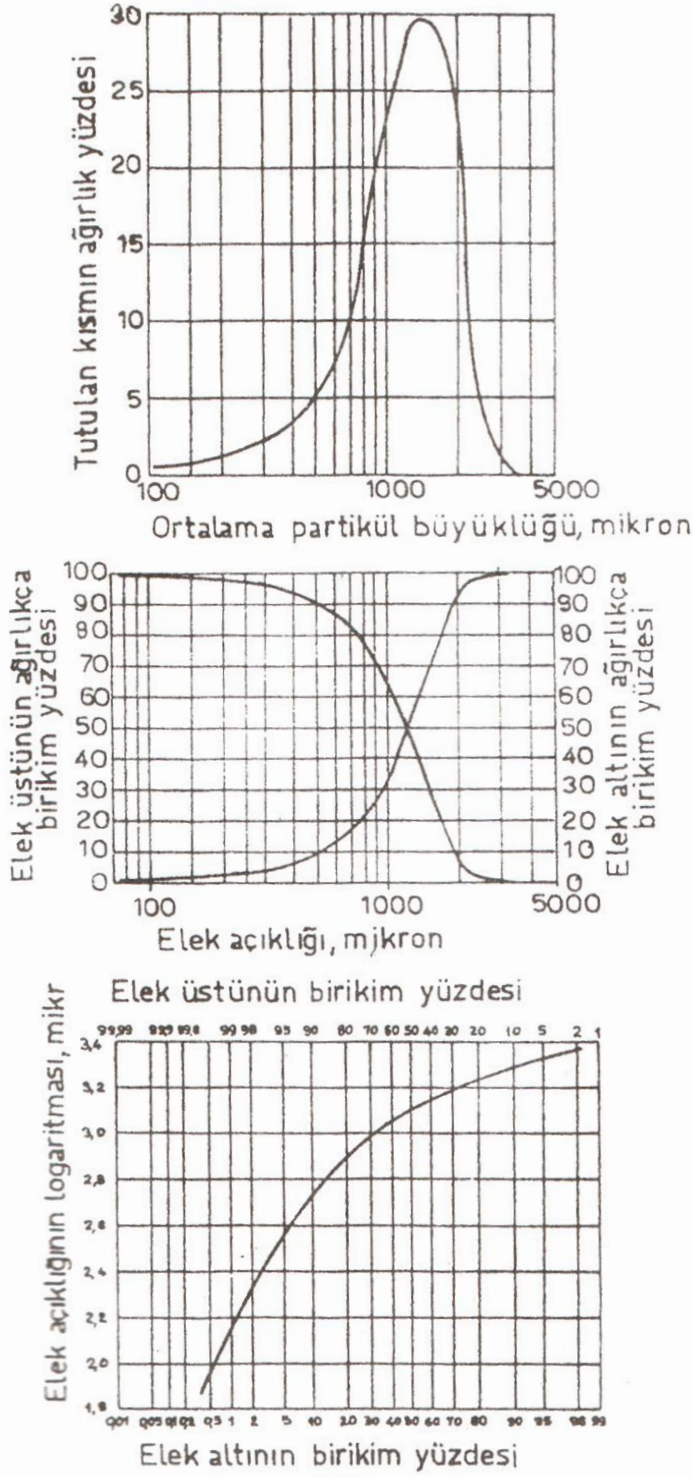


Şekil 4 : Grafiksel integrasyon, örnek 1 için parçacıkların sayısı

Tablo 5. Tyler standart elek serisi

Mesh sayısı	Net delik açıklığı (in)	Net delik açıklığı (mm)	Yaklaşık delik açıklığı (in)	Tel çapı (in)
	1,050	26,67	1	0,148
+	0,883	22,43	7/8	0,135
	0,742	18,85	¾	0,135
+	0,624	15,85	5/8	0,120
	0,525	13,33	½	0,105
+	0,441	11,20	7/16	0,105
	0,371	9,423	3/8	0,092
2 ½ +	0,312	7,925	5/16	0,088
3	0,263	6,680	¼	0,070
3 ½ +	0,221	5,613	7/32	0,065
4	0,185	4,699	3/16	0,065
5 +	0,156	3,962	5/32	0,044
6	0,131	3,327	1/8	0,036
7 +	0,110	2,794	7/64	0,0328
8	0,093	2,362	3/32	0,032
9 +	0,078	1,981	5/64	0,033
10	0,065	1,651	1/16	0,035
12 +	0,055	1,397		0,028
14	0,046	1,168	3/64	0,025
16	0,039	0,991		0,0325
20	0,0328	0,833	1/32	0,0172
24 +	0,0276	0,701		0,0141
28	0,0232	0,589		0,0125
32 +	0,0195	0,495		0,0118
35	0,0164	0,417	1/64	0,0122
42 +	0,0138	0,351		0,0100
48	0,0116	0,295		0,0092
60 +	0,0097	0,246		0,0070
65	0,0082	0,208		0,0072
80 +	0,0069	0,175		0,0056
100	0,0058	0,147		0,0042
115 +	0,0059	0,124		0,0038
150 +	0,0041	0,104		0,0026
170 +	0,0035	0,088		0,0024
200	0,0029	0,074		0,0021

+ işaretli elekler ara eleklerdir ve standart elek serisindeki eleklerin arasına konulmuştur. Bu eleklerin konulması ile ardı ardına gelen iki eleğin delik açıklıkları oranı $1/\sqrt{2}$ değil de $1/\sqrt[4]{2}$ olmaktadır.



Şekil 5. Elek analizini değişik gösterilme metodları