

KÖMÜR YIKAMA LÂVVARLARINDA PROSES DEĞERLENDİRME YÖNTEMLERİ

Turgut YALÇIN (*)

Ö z e t :

Ürün kalitesi ve verimlilik, bir zenginleştirme tesisinin en önemli kontrol unsurlarını teşkil eder. Tesisten azami istifadenin sağlanabilmesi için, işletme süresince bu unsurlar devamlı incelenerek, zenginleştirme prosesinin değerlendirilmesi gerekir.

Bu tebliğde, özellikle kömür yıkama lâvvarlarındaki gravita ayırmalarının değerlendirilmesinde kullanılmak amacı ile geliştirilen ve temiz kömür kalitesi ile yıkama verimini incelemeye yarayan yöntemler ele alınmış, bunların uygulanış şekilleri ayrıntılı olarak örneklerle açıklanmıştır.

GİRİŞ:

Diğer cevherlere ait zenginleştirme tesislerinde olduğu gibi, kömür yıkama lâvvarlarında da başlıca hedef, istenilen kalitede konsantreyi azami miktarda üretebilmektir. Tuvenanda bulunan belli kalitede malzemenin kazanılabilen miktarı ise, ayırma verimliliğine bağlıdır. Bir tesiste, ürün kalitesi ve verimliliğin incenmesi için yapılan işlemler proses değerlendirme olarak tanımlanmaktadır.

Bir kömür yıkama lâvvarı için proses değerlendirmenin amaçları şu şekilde sıralanabilir :

- 1) Bir yıkama cihazından gereğince yararlanıp yararlanılmadığının tesbiti

(*) Asis. Dr., İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Cevher Hazırlama Kürsüsü.

- 2) Bir yıkama cihazından en iyi sonuçların alınmasını sağlayacak çalışma koşullarının saptanması.
- 3) Kullanılan yıkama cihazının, gelen tuvenan kömüre uygunluğunun tesbiti.
- 4) Yıkanacak tuvenan kömür için en uygun yıkama cihazının seçimi.
- 5) Tuvenan kömür özelliklerinin yıkama verimine etkisinin belirlenmesi.
- 6) Lâvvara beslenecek değişik özellikteki bir tuvenan kömürün yıkanmasından elde edilecek sonuçların tahmini.
- 7) Farklı yıkama cihazlarının verimlilik yönünden mukayesesi.
- 8) Yeni kurulan bir tesis veya yıkama ünitesinden, garanti edilen ayırma sonuçlarının alınıp alınmadığının tesbiti.

Bu amaçlarla yapılan incelemelerde, temiz kömür külüne ve ayırma verimine etki eden faktörler de üç grupta toplanabilir :

1) Tuvenan kömüre bağlı olan faktörler

- Yoğunluk dağılımı
- Tane boyutu dağılımı
- Tane şekli
- Tane serbestleşmesi

2) Yıkama cihazına bağlı olan faktörler

- Cihazın tipi
- Cihazın ayarları

3) Çalışma koşullarına bağlı olan faktörler

- Besleme oranı
- Katı/sıvı oranları
- Ayırma yoğunluğu

LAVVAR YIKAMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE KULLANILAN KRİTERLER

Lavvarlarda yıkama işlemlerinin ürün kalitesi ve verimlilik yönünden değerlendirilmesi ile, sonuçların sunulmuş şekilleri konusunda, son yarım yüzyıl içinde çeşitli çalışmalar yapılmış ve birçok yöntemler ge-

liştirilmiştir. Bunlardan, batı ülkelerinde standart hale gelerek en çok uygulanmakta olan yöntemlerde aşağıdaki kriterler kullanılmaktadır :

- 1) Temiz kömür verimi
- 2) Hatalı ve doğru ayrılmış malzemeler
- 3) Kül hatası
- 4) Randıman hatası
- 5) Hata faktörü (Ep değeri)
- 6) Hata alanı
- 7) Hassasiyet faktörü

Bu kriterlerden hiçbiri tek başına yıkama işlemini tanımlamaya yeterli olmayıp birbirini tamamlayıcı niteliktedirler. Daha ziyade, ilk dört kriter tuvenan kömür özelliklerinden, diğerleri de yıkama cihazından ve çalışma koşullarından ileri gelen etkilerin incelenmesine yararlar.

Tebliğde, bu kriterler ayrı ayrı ele alınarak uygulanış şekilleri örneklerle açıklanmıştır. Örnekler için, gravite ayırması ile elde edilen temiz kömür ve artık şistin Tablo : 1 ve 2'de verilen yüzdürme deneyi sonuçları ile, bunlardan hesaben bulunan ve Tablo : 3'de verilen tuvenana ait yüzdürme sonuçları kullanılmıştır. Bu tablolardaki muhtelif kolonların hesaplanış şekilleri Tablo : 4'de verilmiştir.

TEMİZ KÖMÜR VERİMİ

Temiz kömür verimi, üretilen temiz kömür miktarı ile tuvenanda bulunan aynı küldeki malzeme miktarının mukayesesini sağlar ve aşağıdaki formül ile tanımlanır :

$$\text{Temiz kömür verimi} \% = \frac{\text{Temiz kömür randımanı}}{\text{Tuvenanda bulunan aynı küldeki malzeme yüzdesi}} \times 100$$

Tuvenanda bulunan aynı küldeki malzeme yüzdesi, tuvenanın yıkanabilme eğrilerinden elde edilir. **Temiz kömür randımanı** da temiz kömür miktarının tuvenan miktarına oranıdır.

Hesaplanışının basit olması nedeni ile, lavvar yıkama sonuçlarını değerlendirmede çok kullanılan bu ifadenin bazı sakıncalarını da belirtmek gerekir. Herşeyden önce, hiçbir yıkama işlemi yapmadan, tuvenanın olduğu gibi lāvvara girip çıkması halinde bu ifadeye göre, verimin % 100 olacağı görülmektedir. Halbuki % 100 verimden beklenen anlam tamamen değişiktir.

Ayrıca, tuvenan kömürün yüzdürme - batırma deneyi sonuçlarına göre hesaplanan verim değerlerinin bazı hallerde % 100'ü aştığı görülür.

Bunun nedeni de, kendiliğinden kırılma ve ufalanmalar yoluyla, yıka-
ma esnasında, tuvenan kömüre nazaran daha fazla serbestleşme mey-
dana gelmesidir. Bu şekilde, verim hesabında meydana gelebilecek ha-
taları önlemek için, temiz kömür ve artık şistin yüzdürme sonuçları
hesaben birleştirilerek, tuvenana ait yüzdürme değerlerinin elde edil-
mesi ve yıkanabilme eğrilerinin bu değerlere göre çizilmesi gerekir.

(Tablo : 1) — Temiz Kömür Yüzdürme Sonuçları

Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk	Miktar %	Kül %	Tuvenana Göre Miktar %	Tuvenana Göre Miktar Σ % ↑	Dağılım Faktörü %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
-1.30	/	73.2	6.4	35.0	47.8	100.0
+ 1.30—1.40	1.35	11.1	16.8	5.3	12.8	98.1
+ 1.40—1.50	1.45	7.6	22.8	3.6	7.5	88.6
+ 1.50—1.60	1.55	5.2	26.2	2.5	3.9	63.7
+ 1.60—1.70	1.65	1.9	32.6	0.9	1.4	35.6
+ 1.70—1.80	1.75	0.6	44.1	0.3	0.5	12.5
+ 1.80—1.90	1.85	0.4	53.3	0.2	0.2	6.2
+ 1.90	/	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOPLAM		100.0	10.7	47.8		

(Tablo : 2) — Artık Şist Yüzdürme Sonuçları

Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk	Miktar %	Kül %	Tuvenana Göre Miktar %	Tuvenana Göre Miktar S % 4-	Dağılım Faktörü %
(D)	(2)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
-1.30	/	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
+ 1.30—1.40	1.35	0.2	18.3	0.1	0.1	19
+ 1.40—1.50	1.45	0.9	24.5	0.5	0.6	11.4
+ 1.50—1.60	1.55	2.7	27.0	1.4	2.0	36.3
+ 1.60—1.70	1.65	3.3	38.1	1.7	3.7	64.4
+ 1.70—1.80	1.75	4.6	45.9	2.4	6.1	87ü
+ 1.80—1.90	1.85	5.0	56.1	2.6	8.7	93.8
+ 1.90	/	83.4	85.4	43.5	52.2	100.0
TOPLAM		100.0	78.3	52.2		

(Tablo : 3) — Tuvenan'ın Hesaben Bulunan Yüzdürme Sonuçları

Yoğunluk	Ortalama Yoğunluk	Miktar %	Kül %	Σ	Miktar ↓	Σ	Kül % ↓	Hatalı Ayrılmış Malzeme %	Doğru Ayrılmış Malzeme %
(D)	(2)	(m)	(M)	(15)	(16)	(17)	(18)		
-1.30	/	35.0	6.4	35.0	6.4	47.8	52.2		
+1.3Q—1.40	1.35	5.4	16.9	40.4	7.8	12.9	87.1		
+1.40—1.50	1.45	4.1	23.0	44.5	9.2	8.1	91.9		
+1.50—1.60	1.55	3.9	26.5	48.4	10.6	5.9	94.1		
+1.60—1.70	1.65	2.6	36.2	51.0	11.9	5.1	94.9		
+1.70—1.80	1.75	2.7	45.7	53.7	13.6	6.6	93.4		
+1.80—1.90	1.85	2.8	55.9	56.5	15.7	8.9	91.1		
+1.90	/	43.5	85.4	100.0	46.0	52.2	47.8		
TOPLAM		100.0	46.0						

(Tablo : 4) — 1, 2 ve 3'deki Kolonların Hesaplanış Şekli

Kolon No.	Hesaplanış Şekli
3, 4, 8, 9	Yüzdürme Deneylerinden
5	Kolon (3)xTuvenan randımanı/100
10	Kolon (8) X Artık şist randımanı/100
13	Kolon (5)+Kolon (10)
7	Kolon (5)X100/Kolon(13)
12	Kolon (10)x100/Kolon (13)
14	Kolon (4) X Kolon (5)+Kolon (9) X Kolon (10)/Kolon (13)
17	Kolon (6) +Kolon (11)
18	100 — Kolon (17)

HATALI VE DOĞRU AYRILMIŞ MALZEMELER

ideal olarak, yoğunlukları ayırma yoğunluğundan az olan bütün parçaların temiz kömürde, fazla olan bütün parçaların da artık Őistte bulunması gerekir. Pratikteki ayırmalarda ise, artık Őistte bulunması gerekte temiz kömürde bulunan ve temiz kömürde bulunması gerekte artık Őistte bulunan bir miktar malzeme mevcuttur. Temiz kömür ve artık Őistte, bu Şekilde hatalı olarak yer almıŐ malzemeye hatalı ayrılmış malzeme denilmektedir. Gerektiği Şekilde ayrılmış malzeme de doğru ayrılmış malzemedir.

Hatalı ayrılmış malzeme miktarının tesbiti için temiz kömür ve artık Şistin yüzdürme deney sonuçlarından istifade edilir. Düzenlenen yzdrde tablolarında (Tablo : 1, 2,), temiz kömürün kümülatif batan kolonundaki (Kolon : 6) değerlerle artık Şistin kümülatif yüzen kolonundaki (Kolon: 11) değerlerin toplamı, hatalı ayrılmış toplam malzeme miktarı verir (Kolon : 17).

Ortalama yoğunluklara (Kolon : 2) karşı toplam hatalı ayrılmış malzeme değerlerinin (Kolon : 17) izilmesi ile elde edilen eğriden (Şekil : 1) ayırma yoğunluğuna tekabül eden (rnekte : 1.60) miktarı okumak suretiyle, tesiste yapılan ayrılmalar iŐleminde hatalı olarak ayrılmış toplam malzeme miktarı, tuvenana göre yüzde olarak, tesbit edilir (rnekte : % 5.2).

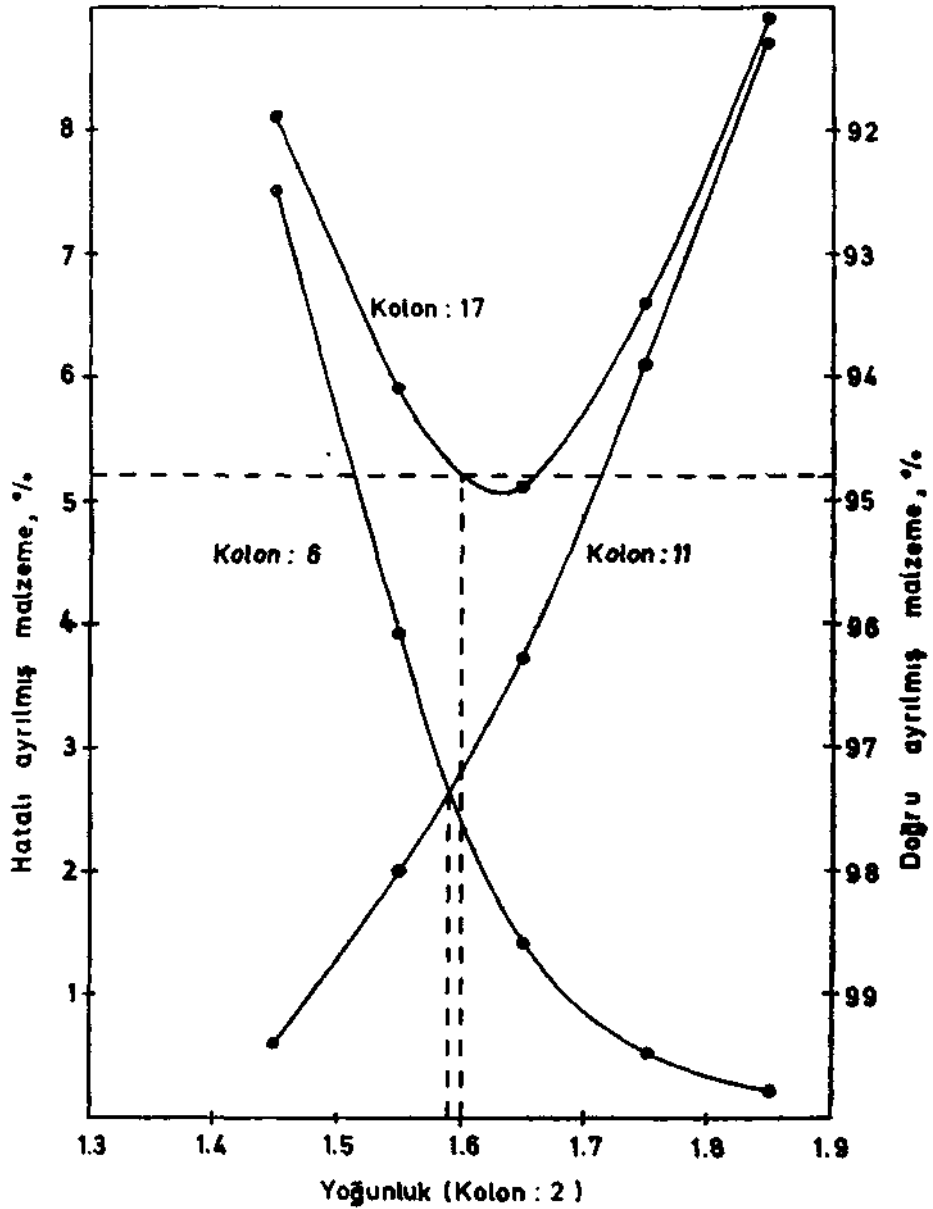
Temiz kömür ve artık Şistteki hatalı ayrılmış malzemeleri temsil eden eğriler de ayrı ayrı çizildiğinde, bu iki eğrinin kesim noktası eşit hatalar yoğunluğunu verir. rnekte bu yoğunluk 1.59'dur.

Kolon : 18'de ve Şekil : 1'de gösterilen doğru ayrılmış malzeme miktarı, (1000-hatalı ayrılmış malzeme miktarı) olup, verilen örnekteki ayrılma yoğunluğunda, bu miktar % 94.8'dir.

«Hatalı ayrılmış malzeme» ifadesi, ayırmadaki hatayı miktar olarak vermekte fakat hatanın kalite yönünden etkisini belirtmemektedir. Yalnızca bu ifadeyi kullanarak, temiz kömürde, hatalı ayrılmış malzemenin ileri gelen, kalite düŐüŐü hakkında bir bilgi edinme imknı yoktur. Çünkü yapacağı etki bakımından, hatalı ayrılmış malzemenin miktarı kadar kalitesi de önemlidir.

KL HATASI

Yıkama işlemi sonunda elde edilen temiz kömürün külü ile, aynı randımanla tuvenandan teorik olarak elde edilebilecek temiz kömürün külü arasındaki fark kl hatası olarak tanımlanmaktadır.



(Şekil : 1) — Hatalı Ayrılmış Malzeme Eğrisi

Kül hatasını tesbit etmek için, tuvenanın hesaben bulunan yüzdürme tablosundaki (Tablo : 3) kümülatif yüzen değerleri (Kolon : 15) ile kümülatif kül değerlerini (Kolon : 16) kullanarak çizilen ve örneği Şekil : 2'de sunulan eğriden istifade edilir. Gerçek temiz kömür randıma-

ni (örnekte : % 47.8) ve temiz kömür külü örnekte : % 10.7 önceden bilindiğinden, eğriden, aynı randımana tekabül eden teorik temiz kömür külü (örnekte : 10.2) okunur ve iki kül değerinin farkı alınarak kül hatası bulunur (örnekte : 0.5).

Kül hatası kriteri, ayırma işlemindeki hassasiyetin hem miktar, hem de kalite yönünden değerlendirilmesini sağlar. Zira, kül hatası, temiz kömürde bulunan hatalı ayrılmış malzemeden ileri gelmekte olup, doğrudan doğruya hatalı ayrılmış malzemenin miktarına ve kalitesine bağlıdır.

RANDIMAN HATASI

Bir kömür yıkama işleminin sağladığı gerçek temiz kömür randımanı ile tuvenandan teorik olarak elde edilebilecek aynı küldeki temiz kömürün randımanı arasındaki farka randıman hatası denilmektedir.

Randıman hatasının tesbitinde, kül hatası için çizilen eğri kullanılır (Şekil :2). Gerçek temiz kömür külüne tekabül eden teorik randıman eğriden okunur ve bundan gerçek temiz kömür randımanı çıkarılarak randıman hatası bulunur. Örnekte, gerçek temiz kömür külü %10.7 olup, buna tekabül eden gerçek randıman % 47.8 ve teorik randıman da % 48.6'dır. Buna göre, randıman hatası, $\% 48.6 - \% 47.8 = \% 0.8$ olmaktadır.

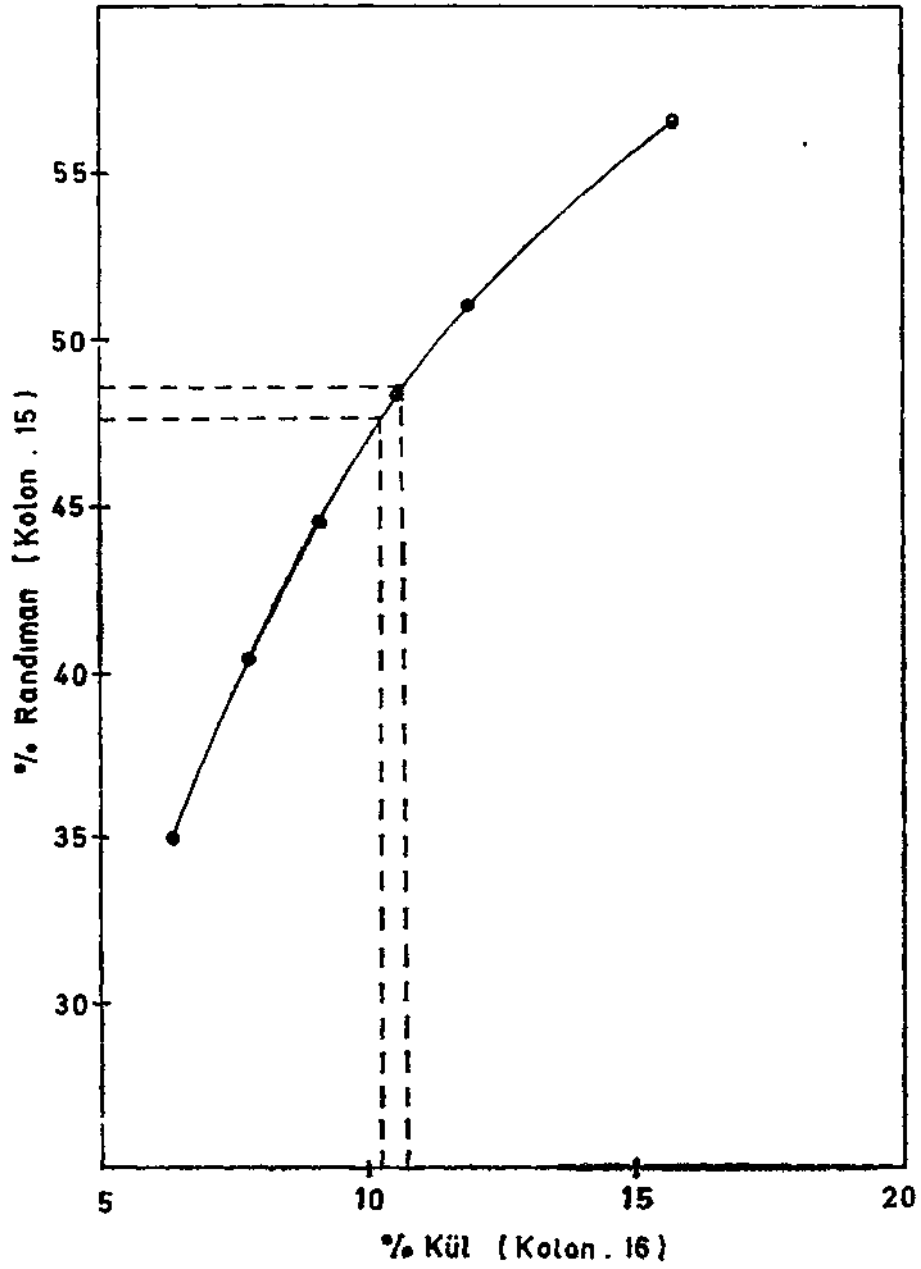
Randıman hatası da temiz kömür verimi gibi yıkama işlemindeki randıman kaybını ifade etmektedir.

DAĞILIM EĞRİSİ

Dağılım eğrisi, tuvenanda belirli yoğunluktaki malzemenin ayırma sonunda temiz kömüre ve artık şiste geçen nisbetlerini gösteren bir eğridir. Bu eğri ilk defa 1937 yılında Tromp tarafından önerilmiş ve şimdiye kadar Tromp eğrisi, ayırım eğrisi, dağılım eğrisi ve hata eğrisi gibi isimler altında kullanılmıştır.

Dağılım eğrisinin çiziminde, temiz kömür ve artık şistin yüzdürme deney sonuçları ile tuvenanın bunlardan hesaben bulunan yüzdürme sonuçları kullanılır. (Tablo : 1, 2, 3). Her yoğunluk aralığında, temiz kömür ve artık şiste bulunan ve tuvenana göre ifade edilen miktarlar (Kolon : 5 ve Kolon : 10) tuvenandaki miktara (Kolon : 13) bölünerek temiz kömür ve artık şist için dağılım faktörleri hesaplanır. (Kolon : 7 ve Kolon: 12). örneğin, (+1.40 — 1.50) yoğunluk aralığında tuvenandaki malzeme miktarı % 4.1 ve temiz kömürdeki malzeme miktarı da % 3.6 olup, temiz kömür için dağılım faktörü $3.6 \times 100 / 4.1 = \% 88.6$ 'dır.

Buna göre, tuvenanda bulunan (+1.40—1.50) yoğunluğundaki malzelerin % 88.6'sı, ayurma sonunda, temiz kömüre geçmiştir.



Şekil: 2 _ Kül ve Randıman Hataları Eğrisi

Dağılım faktörlerini ortalama yoğunluk değerlerine (Kolon : 2) karşı çizerek dağılım eğrisi elde edilir. Temiz kömür ve artık şistin dağılım faktörleri birbirini 100'e tamamladıklarından, bunlardan sadece birinin tesbiti eğrinin çizimi için yeterlidir.

Tuvenanda bulunan ve yoğunlukları ayırma yoğunluğuna eşit olan parçaların % 50'sinin temiz kömüre, % 50'sinin de artık şiste geçeceği kabul edildiğinden, eğrinin geçtiği % 50 dağılım noktasındaki yoğunluk değeri ayırma yoğunluğu olarak tanımlanmaktadır.

İdeal ayırmada yoğunluğu ayırma yoğunluğundan az olan bütün parçalar temiz kömürde, fazla olanlar da artık şiste bulunacağından, bu durumda elde edilecek ideal dağılım eğrisi Şekil : 3'de gösterildiği gibi olacaktır.

Gerçekte elde edilen dağılım eğrisi ise, Şekil : 4'de görülmektedir.

Bir dağılım eğrisinin özelliğini yansıtan ve yıkama sonuçlarının değerlendirilmesine yarayan, çeşitli kriterler mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanlar, hata faktörü, hata alanı ve hassasiyet faktörüdür.

Dağılım eğrisinin şekli, tuvenan kömürün özelliklerinden ziyade, kullanılan yıkama cihazının ayırma hassasiyetine bağlıdır. Bu eğriden yararlanarak, farklı yıkama cihazları arasında mukayese yapılabildiği gibi, aynı yıkama cihazında uygulanan farklı yıkama koşulları da mukayese edilebilir. Bu amaçlarla çizilerek dağılım eğrileri için, yoğunluk ekseninde yoğunluk farkı değerlerinin kullanılması faydalıdır. Şekil 4'de gösterildiği gibi yoğunluk farkı, malzeme yoğunluğu ile ayırma yoğunluğu arasındaki farktır.

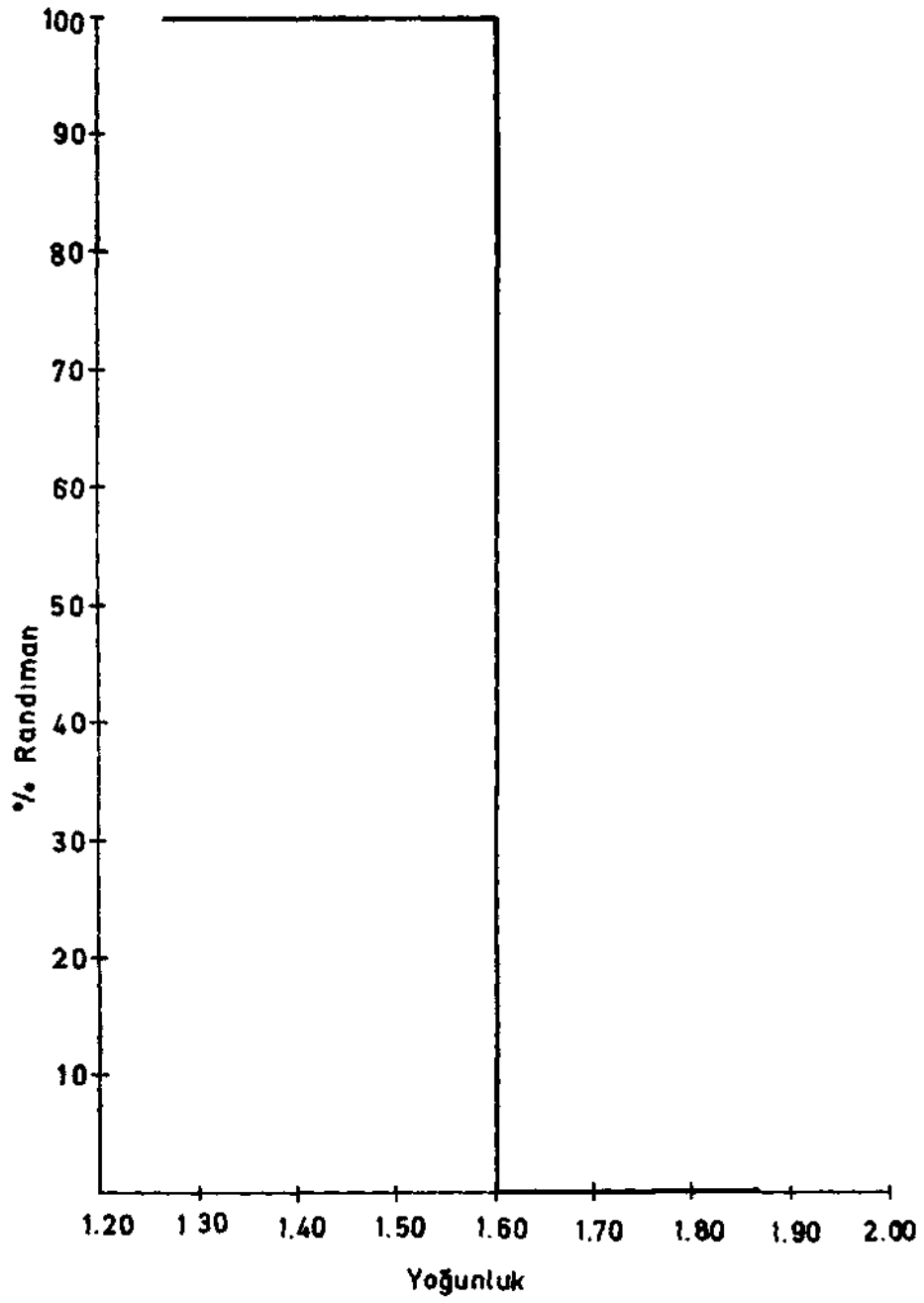
HATA FAKTÖRÜ (Ep Değeri)

Dağılım eğrisinde, % 25 ve % 75 dağılım faktörlerine tekabül eden yoğunluklar farkının yarısı hata faktörü olarak tanımlanmaktadır.

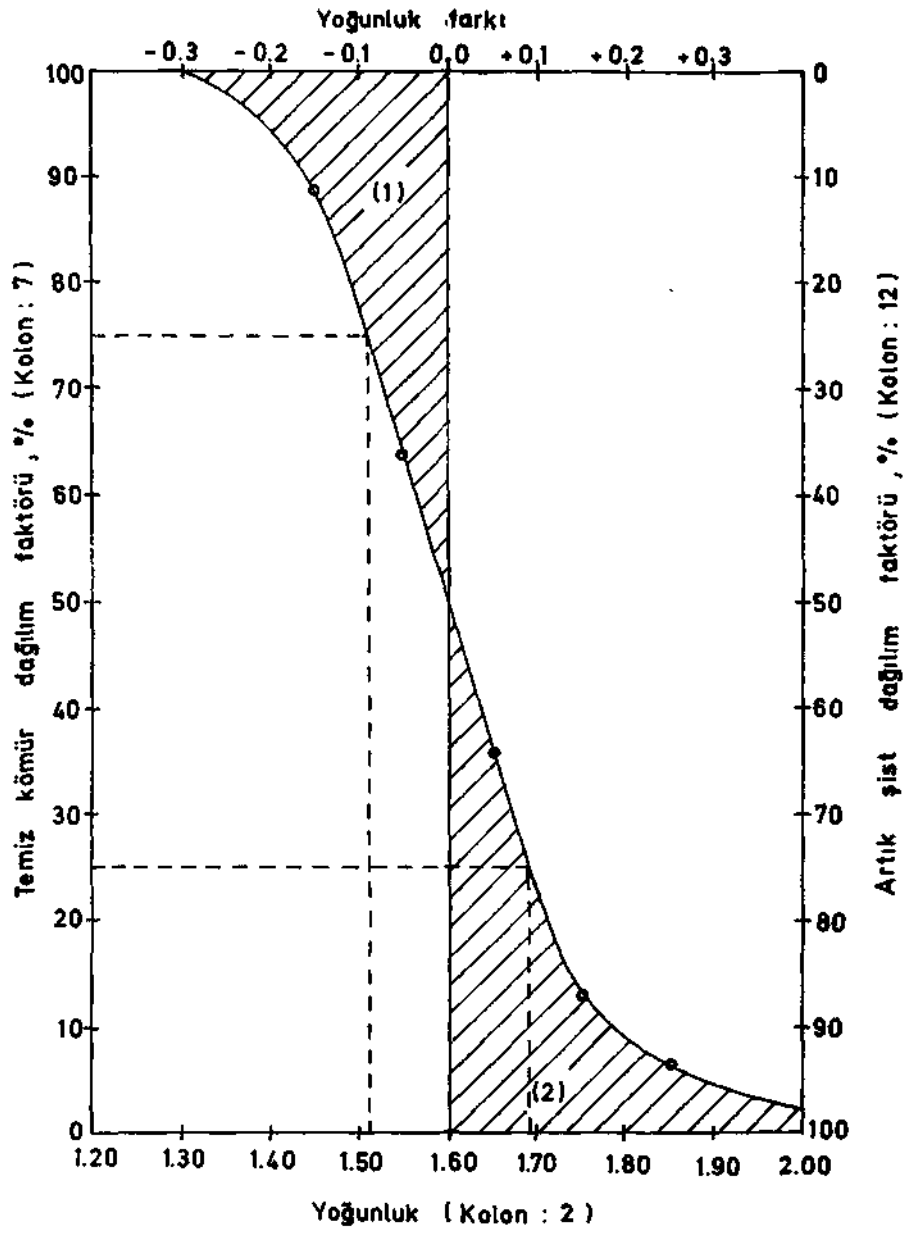
$$\text{Hata faktörü} = \frac{d_{i5} - d_{i5}}{2}$$

Şekil 4'deki örnekte, $d_a = 1.69$ ve $d_s = 1.51$ olup, hata faktörü $(1.69 - 1.51)/2 = 0.09$ 'dur.

Hata faktörü ne kadar düşük olursa, ayırma hassasiyeti o kadar yüksek demektir, iyi ayırımlar için hata faktörü 0.020 - 0.125 arasındadır.



Şekil 3. ideal Dağılım Eğrisi



Şekil : 4 - Dağılım Eğrisi

HATA ALANI

Hata alanı, gerçek dağılım eğrisi ile aynı ayırma yoğunluğundaki ideal dağılım eğrisi arasında kalan alandır. Şekil 4'de, bu alan taranmış olarak gösterilmiştir. Ayırma yoğunluğundan düşük yoğunluklara tekabül eden alan (Alan : 1) temiz kömürdeki artık şisti, ayırma yoğunluğundan yüksek yoğunluklara tekabül eden alan ise (Alan : 2) artık şistteki temiz kömürü temsil etmektedir. Bu iki alanın toplamı ayırma hassasiyetinin bir ölçüsünü verir.

Hata alanı, normal olarak, dağılım faktörü ekseninde % 2'yi temsil eden uzunluk yoğunluk ekseninde 0.1'i temsil edecek şekilde çizilen dağılım eğrisinden planimetre ile ölçülür ve birimsiz olarak ifade edilir.

Hata alanı ne kadar düşük olursa, ayırma hassasiyeti o kadar yüksek demektir.

HASSASİYET FAKTÖRÜ (Imperfaction)

Gravite ile çalışan yıkama cihazlarında, genellikle, düşük yoğunlukta yapılan ayırmalar yüksek yoğunlukta yapılan ayırmalara nazaran daha hassas olmaktadır. Bu nedenle dağılım eğrisinin özelliği, yani cihazın ayırma hassasiyeti, ayırma yoğunluğuna göre değişmektedir.

Ayırma yoğunluğundan ileri gelen hassasiyet farklılığını gidermek için, tanımı aşağıda verilen, hassasiyet faktörü kullanılmaktadır.

$$\text{Hassasiyet faktörü} = \frac{\text{Hata faktörü (Ep)}}{d_x - 1}$$

Burada, d_x = Ayırma yoğunluğu'dur.

Şekil 4'de verilen örnekte :

$$\text{Hassasiyet faktörü} = \frac{0.09}{1.60 - 1} = 0.15$$

Hassasiyet faktörü, bilhassa değişik ayırma yoğunluklarında çalışan cihazların mukayesesine en uygun olan kriterdir.

AYIRMA YOĞUNLUĞUNA YAKIN OLAN MALZEME MİKTARININ ÖNEMİ

Yoğunlukları ayırma yoğunluğundan ∓ 0.1 kadar veya daha az farklı olan malzemelerin miktarı, bilhassa jig ve sallantılı masalarla yapılan ayırmalarda önem taşır. Bu şekildeki toplam malzeme miktarının

% 10'dan düşük olması halinde ayırma kolay olmakta, % 25'den fazla olması halinde ise ayırma güçleşmektedir.

Ağır ortam ile çalışan cihazlarda ayırma yoğunluğuna yakın malzeme miktarının ayırmaya önemli bir etkisi olmamaktadır.

Referanslar :

1. **Joseph W. Leonard and David R. Mitchel** : Coal Preparation, Third Edition, **1968**.
2. **B.S. 3620** : 1963
3. **A. Jowett**: «Formulae for the technical efficiency of mineral separations», International Journal of Mineral Processing, Vol. 2, No. 4, December 1975.
4. **L. Valentik**: «Evaluation of washery performance», Transactions AIME, Vol. 244, September 1969.
5. **M.R. Geer**: «Howing a new coal», Coal Age, June 1952.
6. **R. J. Cheradame** : «Evaluating preparation results», Coal Age, April 1950.
7. **J. Hudy**: «Performance characteristics of coal - washing equipment (Dense-medium coarse-coal vessels)», U.S. Bureau of Mines F.I. 7154, July 1968
8. **A.W. Deurbrouck and J. Hudy**: Performance characteristics of coal washing equipment (Dense - medium cyclones)», U.S. Bureau of Mines, R.I. 7673, 1972.