

## *M-Eğrisi ve Kullanımı*

### M-Curve and its Application

Mustafa ÜNLÜ(\*)

#### ÖZET

Bu yazıda, M-eğrisinin kömür hazırlamadaki kullanım alanları ve diğer yöntemlere göre avantajlarına değinildikten sonra, çizimi ve özellikleri konularında ayrıntılı bilgi verilmekte, kullanımı Tunçbilek kömürlerinin literatürden alınan yüzme-batma verileri üzerinde örneklerle anlatılmaktadır. Yazı içinde verilen kömür miktar ve kül değerleri pratik tesis değerleri olmayıp, teorik değerlerdir.

#### ABSTRACT

In this paper, after pointing out the fields of use of and its advantages over the other methods of M-Curve the construction and properties of it are given in details. Its application on the float and sink data of Tunçbilek coals taken from the literature are described with examples. The yields and ash contents given in the paper are not the values of actual plant practice, but are the theoretical values.

(\*) *Dr. Maden Yük. Müh., MTA Gen. Mud., MAT Dairesi, ANKARA*

## 1. GİRİŞ

Kömür yıkama işlemlerinin pek çoğunda, tuvönan kömür 3 ürüne ayrılır. Bunlar: lave (temiz kömür), mikst (orta ürün) ve şist (artık)'tır. Yıkama eğrileri, sadece iki ürünlü yıkama işlemlerinde, lave ve şistin miktarlarını, küllerini ve/veya yıkama yoğunluklarını saptamaya uygundur. Üç ürünlü bir yıkama işleminde aynı bilgileri elde etmek için, iki grup yıkama eğrisinin çizilmesi gerekir; birinci grup lavenin mikst + şistten ve ikinci grupta mikstin, şistten ayrılması sonuçlarını görmek amacıyla çizilir.

M-eğrisi üç ürünlü bir yıkama işleminde, bilmesi gerekli bütün bilgileri yani ürünlerin miktarlarını, küllerini ve ayırma yoğunluklarını bir tek grafikte verir. Böylece, yıkama eğrilerine göre harcanacak zaman ve enerjiden tasarruf edilmiş olur. M-eğrisi bulucusunun adıyla Mayer eğrisi olarak da bilinir ve kömür hazırlamada iki amaçla sıkça kullanılır (PENG, 1979; VENKATESAN, 1976).

- i) Tuvönan kömürlerin yıkama özelliklerinin saptanması,
- ii) İki kömürün harmanlama sonuçlarının tahmin edilmesi.

## 2. M-EĞRİSİNİN ÇİZİMİ VE ÖZELLİKLERİ

Bir kömürün M-eğrisinin çizimi için gerekli veriler Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çizelgedeki veriler Tunçbilek kapalı ocak tuvönan kömürüne (100-0 mm) aittir. Çizelgede yer alan kolon 1,2 ve 3'deki değerler yüzme-batma deney sonuçlarıdır (AKALIN, 1987). Kolon 4,5,6 ve 7'deki değerler ise hesapla bulunmuşlardır. Tunçbilek kapalı ocak tuvönan kömürünün M-eğrisi aşağıda açıklandığı şekilde çizilmiştir (Şekil 1).

- a) Toplam yüzen ürün miktarı değerleri (kolon 4) y-ekseni üzerinde işaretlenmiştir.
- b) Toplam kül miktarı değerleri (kolon 6) üst x-ekseni üzerinde işaretlenmiştir.
- c) Alt x-ekseni üzerindeki değerler üst x-eksenindeki değerlerin 100'e bölümüyle bulunmuştur. Bu değerler ortalama kül içeriğini gösterir ve % olarak ifade edilirler.
- d) M-eğrisini çizmek için, her bir yoğunlukta toplam-yüzen ürün miktarı değerleri (kolon 4) toplam kül miktarı değerlerine (kolon 6) karşılık gelecek şekilde işaretlenmiş ve bu noktalar yumuşak bir eğriyle birleştirilmiştir.

M-eğrisi, sadece kömürün yüzen ürün miktarı

ve kül içeriği arasındaki ilişkiyi gösteren bir grafik olmayıp, bir vektör grafiğidir. Eğri üzerindeki her bir nokta bir kömür numunesi gibi düşünülebilir, numune ağırlığı bir düşey çizgi (AB) ile gösterilir (Şekil 2), uzunluğu ağırlıkla orantılıdır. Numunedeki kül içeriği de bir yatay çizgi (BC) ile gösterilir, onun uzunluğu da kül miktarı ile orantılıdır. Eğer, ağırlığı CE ve kül içeriği E F olan bir ikinci numune eklenirse, iki numunenin birleşik ağırlığı toplam düşey uzunluk AD ile verilir ve karışımın toplam kül içeriği de DF uzunluğu ile verilir. Benzer şekilde vektörlerin toplama özelliğinden yararlanılarak, farklı ağırlık ve kül içerikli birçok numune grafiksel olarak eklenebilir.

AB BC gibi birbirini dik açıyla kesen vektörlerin yerine, bu iki vektörün bileşkesi olan AC vektörü de çizilebilir. AC vektörünün eğimi numunedeki kül içeriğini ve numunedeki toplam ağırlık arasındaki orantıyı verir.

M-eğrisi, vektör eğimlerinin büyüklüğünü göstermek amacıyla, çok sayıdaki vektör elemanının uc uca eklenmesinden oluşur ve bu özelliğiyle kömür hazırlamadaki bir çok problemin çözümünde kullanılabilir.

M-eğrisinin şekli belirli özellikler gösterir. Bu şekillere bakarak bir kömürün yıkanabilirliği konusunda fikir yürütülebilir. Ayrıca, M-eğrisinden lave, mikst ve şist ürünlerinin kül içerikleri bulunabilir. Orijinden (O noktası) alt x-eksenine doğru çizilen her doğru (kül doğrusu), bir kül içeriğine karşılık gelir ve bu kül içeriği alt x-eksenini kesim noktasından doğrudan okunabilir. Yukarıdaki bilgilerden hareketle, M-eğrisi şeklinin aşağıdaki özellikleri, kömür kalitesinin (kül içeriğinin) değerlendirilmesine yardımcı olur.

- a) Kül doğrusu eğiminin dikliği düşük, yatıklığı ise yüksek kül içeriği belirtir.
- b) M-eğrisinin alt x-ekseni boyunca daha fazla ötelenmesi, kömürün fazla miktarda serbest yan kayaç içerdiğini gösterir.
- c) M-eğrisinin geniş bir yay çizmesi ya da eğri yayının bir noktada ani olarak bükülmesi, kömür bileşiminin heterojen olduğunu, düze yakın bir çizgi halinde uzanması ise, kömür bileşiminin daha homojen olduğunu gösterir. Heterojenlik ya da homojenlik de kömürden elde edilecek lave, mikst ve şist miktarlarının bir göstergesidir (Şekil 3).

M-eğrisinin kullanımı bilinen diğer yöntemlerden, örneğin yıkama eğrilerinden elde edilen so-

nuçlardan çok daha sağlıklı sonuçlar verir. Bu durum, özellikle düşük yoğunluk ve düşük kül içerikli ayırımlar için geçerlidir. Çünkü, M-eğrisi alt x-ekseni bölümlenmesi yıkama eğrisi kül bölümlenmesine göre çok daha uygundur. M-eğrisi, bu özelliğiyle yıkama eğrileri yerine geçebildiği gibi, yıkama eğrileriyle çözüm bulunamayan kömür yıkama sorunlarının çözümünü de olanaklı kılar.

### 3. M-EĞRİSİNİN KULLANIMI

#### 3.1. M-eğrisinin Tuvönan Kömürlerin Yıkama Özelliklerinin Saptanmasında Kullanımı

Kömür yıkamada operatörler şu tür sorunlarla sıkça karşı karşıya kalmaktadırlar:

i) Tuvönan kömürü belirli iki yoğunlukta yıkandığında elde edilecek lave, mikst ve şistin miktarları ve külleri ne olacaktır?

ii) Belirli bir miktarda ve külden mikst elde etmek için, tuvönan kömürünü hangi iki yoğunlukta üç ürüne ayrılması gerekir ve elde edilecek lave ve şistin miktarları ve külleri ne olacaktır?

iii) Lave ve şistin belirli kül içeriğinde olmaları istendiğinde tuvönan kömürünü hangi iki yıkama yoğunluğunda üç ürüne ayrılması gerekir? Ve elde edilecek lave, mikst ve şistin miktarları ve mikst külü ne olacaktır?

M-eğrisinin kullanımıyla kolaylıkla çözülebilir olan bu tür sorunlar, Tunçbilek açık ocak tuvönan kömürü (100-0 mm) ile örneklenerek irdelenecektir. Şekil 4, bu kömürün M-eğrisini göstermektedir. Eğrinin çizimi için gerekli olan veriler, Akalın ve Öz (1984)'den alınmış ve Çizelge 2'de verilmiştir.

Örneğin, Tunçbilek açık ocak tuvönan kömürü 1,60 ve 1,90 yoğunluklarında yıkandığında elde edilecek lave, mikst ve şist miktarları ve külleri ne olacaktır? Bu sorular aşağıda sırayla yanıtlanmaktadır:

a) **Lave Külünün Saptanması:** Çizelge 2'den görüleceği gibi, 1,60 yoğunlukta kömürün % 55,7'si yüzmektedir. Bu miktar M-eğrisini C noktasında keser. O ve C noktaları bir doğruyla birleştirilerek, alt x-eksenini kesecek şekilde uzatılır. OC doğrusunun alt x-eksenini kestiği M noktasından lave külü okunur, örnekte bu değer % 19,5 olarak okunmuştur.

b) **Mikst Külünün Saptanması:** Çizelge 2'den görüleceği gibi, 1,60 ve 1,90 yoğunluklarında kömürün sırasıyla % 55,7'si ve % 64,1'i yüzmektedir. Bu toplam ağırlık değerleri M-eğrisini C ve F noktalarında keserler. C ve F noktaları bir doğruyla birleştirilir. CF doğrusuna orijinden (O nokta-

sından) geçecek şekilde bir paralel çizildiğinde, bu paralelin alt x-eksenini kestiği K noktası mikstin külünü verir. Örnekte için mikst külü % 51 olarak bulunmuştur.

c) **Şist Külünün Saptanması:** 1,90 yoğunlukta yüzen kömür miktarı % 64,1'dir. Bu miktar M-eğrisini F noktasında keser. F noktası ile M-eğrisinin alt x-eksenini kestiği G noktası bir doğruyla birleştirilir. FG doğrusuna orijinden geçecek şekilde bir paralel çizildiğinde, bu paralelin alt x-eksenini kestiği L noktasından şistin külü bulunur. Örnekte bu kül miktarı % 76'dır.

d) **Tuvönan Kömür ve Lave + Mikst Karışım Küllerinin Saptanması:** Tuvönan kömürün külü OG doğrusunun eğimiyle verilir ve bu doğrunun alt x-eksenini kestiği G noktasından okunur. Örnekte tuvönan kömürün külü % 42,9'dur. Lave + Mikst külünü bulmak için, lave + mikst miktarının M-eğrisini kestiği F noktası orijinden geçirilip alt x-eksenini kesecek şekilde birleştirilir. Bu OF doğrusunun alt x-eksenini kestiği P noktasından lave + mikst külü bulunur. Örnekte bu kül değeri de % 24,5 olarak bulunmuştur.

e) **Lavede Külü en Yüksek Parçanın Külünün Saptanması:** 1,60 yoğunlukta kömürün % 55,7'sinin yüzdüğü ve bu miktarın M-eğrisini C noktasında kestiği daha önce belirtilmişti. C noktasından M-eğrisine bir teğet ve bu teğete paralel orijinden geçen bir doğru çizildiğinde, doğrunun alt x-eksenini kestiği N noktasından, lavede külü en yüksek parçanın külü bulunur. Bu kül değeri, örnekte % 44,5'dir.

f) **Lave, Mikst ve Şist Miktarlarının Saptanması:** 1,60 yoğunlukta elde edilen lave miktarı % 55,7'dir (Çizelge 2). 1,90 yoğunlukta elde edilen lave+mikst % 64,1'dir. Bu miktardan lave miktarı olan % 55,7 çıkarılırsa, geriye kalan % 8,4 mikst miktarını verir. Şist miktarını bulmak için, toplam miktar olan % 100'den, lave+mikst miktarı olan % 64,1 çıkarılarak şist miktarı % 35,9 olarak bulunur.

Yüzme-batma testlerinde kullanılmayan ara yoğunluklarda (örneğin, 1,55, 1,63, 1,77 gibi) elde edilen yüzen kömür miktarının bilinmesinin gerekli olduğu durumlarda yüzen kömür miktarı interpolasyonla **bulunabilir**.

#### 3.2. M-Eğrisinin İki Kömürün Harmanlama Sonuçlarının Tahmininde Kullanımı

M-eğrisi, iki kömürün harmanlama sonuçlarının tahmin edilmesinde daha yaygın kullanılmak-

tadır. Harmanlama, bir lave kömürüne bir yıkanmamış (tuvönan) kömürün katılması ya da iki lave kömürünün birbirine katılması şeklinde olabilir. Örneğin, termik santral kazan ya da kok fırını şarjında olduğu gibi. Bu iki durum yine Tunçbilek kömürleri ele alınarak birer örnekle anlatılmaktadır.

Örnek 1: Örnekte Tunçbilek 10-0,5 mm tane aralığındaki tuvönan kömür lavesinin, yıkanmamış (tuvönan) Tunçbilek açık ocak kömürüyle harmanlandığı düşünülmüştür. Şekil 5 Tunçbilek 10-0,5 mm tane aralığındaki tuvönan kömürün M-çizimini gösterir. Eğrinin çiziminde kullanılan veriler Çizelge 3'de verilmiştir (SEMERKANT, 1987). Yukarıda sözü edilen iki kömürden % 20 küllü bir kömür (harman) elde edilmek istendiğinde, şu soruların çözülmesi gerekmektedir:

i) 10-0,5 mm tane aralığındaki kömürün yıkama yoğunluğu ne olmalıdır ve elde edilecek lavenin miktar ve küllü ne olacaktır?

ii) Karışımında maksimum miktarda kömür olması için, bu iki kömür hangi oranlarda karıştırılmalıdır?

Bu sorulara yanıt bulmak için aşağıda açıklanan işlemler dizisinin sırasıyla yapılması gerekir:

1) Karışımın (%20 küllü) ve yıkanmamış açık ocak kömürünün (%42,9 küllü), kül doğrulan (ON ve OP) çizilir.

2) M-çizimi üzerinde OP kül doğrusuna paralel bir teğet çizilir. Bu teğet M-çizimine T noktasında dokunur ve ON kül doğrusunu T' noktasında keser.

Yukarıda sorulan soruların yanıtları çizilen grafikten kolaylıkla bulunabilir. 10-0,5 mm tane aralığındaki kömür 1,59 yoğunluğunda yıkanmalıdır. Bu yoğunlukta elde edilecek lave miktarı % 47 ve lave küllü % 15 olacaktır. Bu özellikteki laveye % 11 oranında % 42,9 küllü yıkanmamış açık ocak kömürü eklenirse, karışımın küllü bir lave elde edilmek istenmiş olsaydı, miktarı % 58 olan bir ürün elde edilecektir. Eğer, % 11 oranında yıkanmamış açık ocak kömürü eklenmeksizin, sadece, 10-0,5 mm tane aralığındaki kapalı ocak kömürünün yıkanmasıyla % 20 küllü bir ilave elde edilmek istenmiş olsaydı, bu miktar 1,78 yıkama yoğunluğunda, % 54,5 kömür olarak gerçekleşecekti. Böylece, iki kömürü harmanlamakla, toplam kömür miktarı % 3,5 oranında (% 58 - % 54,5) artırılmış olmaktadır.

Örnek 2: Bu örnekte de, Tunçbilek açık ve kapalı ocak tuvönan kömürlerinin bir yıkama tesisinde iki ayrı üniteye ya da iki ayrı yıkama tesisinde yıkanarak % 20 küllü lave elde edildiği düşünülmüştür. Bu iki lave % 50 - % 50 oranlarında bir-

rine katıldığında, tuvönan kömürlerinin yıkama yoğunluğundan ve lave kömür karışımının miktarının ne olacağı aşağıda irdelenmektedir.

Çizilen % 20 kül doğrusu, M-çizimini a, ve b noktalarında keser (Şekil 6). Bu kesim noktalarından lave miktarları kapalı ocak kömürü için % 35 ve açık ocak kömürü için % 57 olarak okunur. Kömür karışımının miktarı ise % 46 (m noktasından ya da, % miktar 1/2 (35 + 57) ) olarak bulunur. İki tuvönan kömürün yıkama yoğunluğundan sırasıyla 1,52 ve 1,67'dir.

Tunçbilek açık ve kapalı ocak tuvönan kömürleri farklı iki yoğunlukta yıkandığında elde edilen % 20 küllü % 46'lık miktardan, elde edilebilecek olan maksimum miktar olup olmadığı da açıklanan işlemlerin yapılmasıyla bulunabilir.

1. İki M-çizimi üzerindeki eşit yoğunluk değerleri (örneğin, 1,50, 1,60, 1,70 gibi) bir doğruyla birleştirilir.

2. Karışım oranı % 50 - % 50 olduğundan, bu doğruların orta noktaları işaretlenir.

3. Orta noktalar birleştirilerek, karışımın M-çizimi çizilir.

4. Bu yeni M-çiziminin % 20 kül doğrusunu kestiği m<sub>2</sub> noktasından iki tuvönan kömürün yıkanacağı ortak yoğunluk ve kömür miktarı bulunur. Bu değerler sırasıyla 1,60 ve % 48 olarak okunmaktadır.

5. 1,60 yıkama yoğunluğunda elde edilecek lave miktarı sırasıyla % 40 ve % 56'dır. Böylece, iki tuvönan kömürün aynı yoğunlukta yıkanmasıyla kömür miktarından % 2'lik (% 48 - % 46) bir artış sağlanmış olmaktadır.

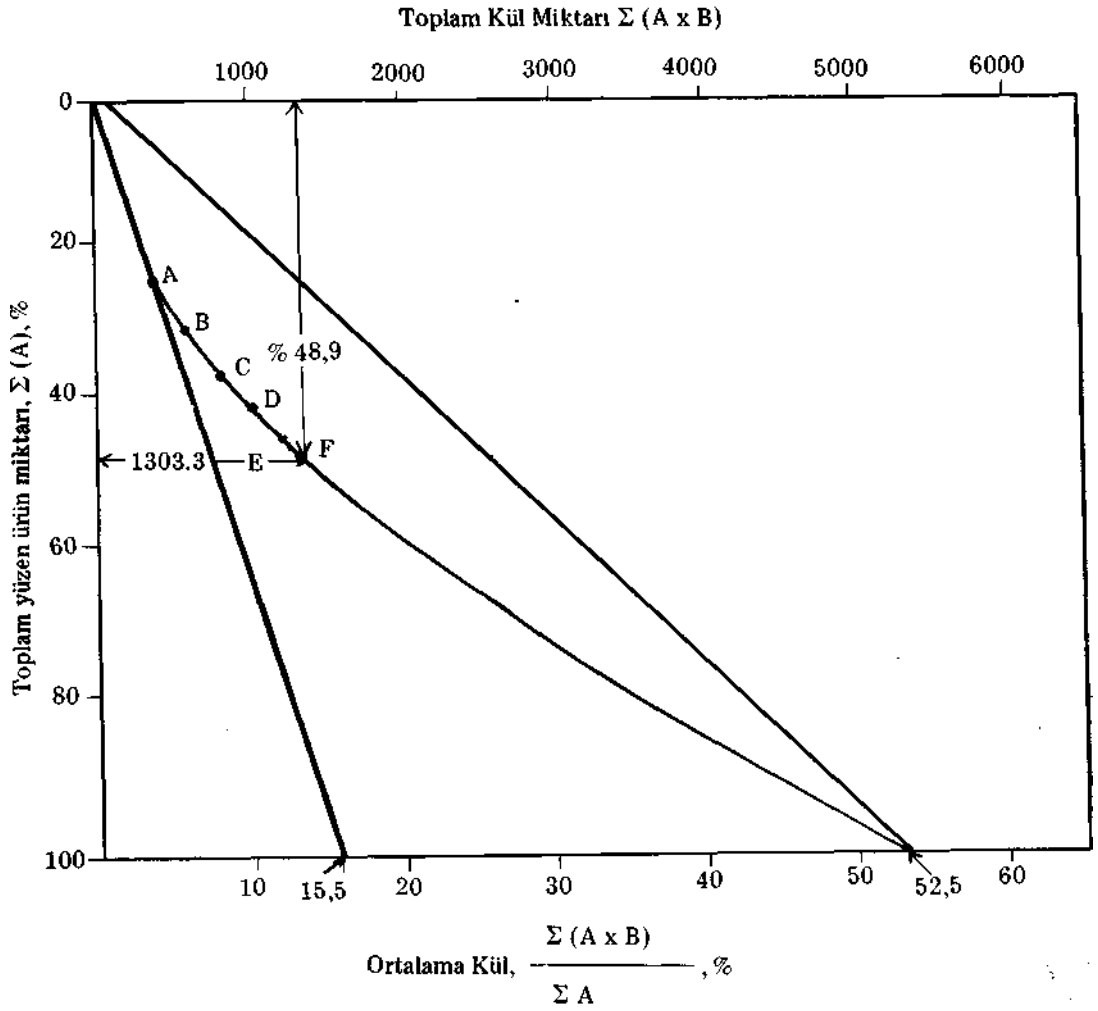
Bu yöntemin geçerliliği sadece % 50 - % 50 karışım oranı ile sınırlı değildir. % 50 - % 50 oranı anlaşılmalı kolaylaştırmak için örnek olarak seçilmiştir.

## KAYNAKLAR

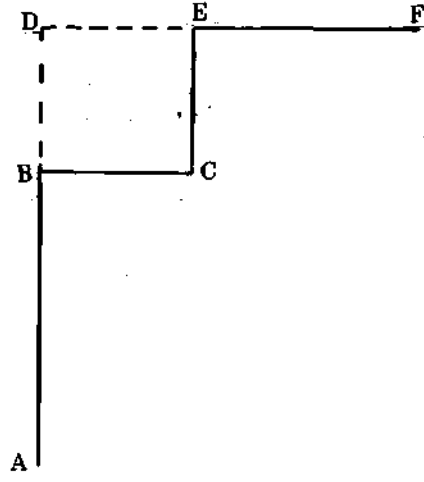
- PENG, F.F ve ark., 1979; Evaluation and Prediction of Optimum Cleaning Results", Coal Preparation, (LEONARD, J.W. Editor) 4.Baskı. AIME; New York, s. 18-76/18-82.
- VENKATESAN, S., 1976; Use of M-Curve Predicts Washing Properties of Coal", Coal Age, s. 108-111.
- AKALIN, M. ve ÖZ, Z. .1987; Türkiye Linyitlerinin Yıkama Özellikleri Hakkında Araştırma ve Değerlendirme Raporu, TKİ Rap.
- SEMERKANT, O. ve ark., 1987; "GLİ Tunçbilek Toz Kömürlerinin Optimal Değerlendirilebilir Olanaklarının Araştırılması", Türkiye Mad.Bil.ve Tek. 10. Kong. s. 303-321.

Çizelge 1. Tunçbilek Kapalı Ocak Tuvönan Kömürü M- Eğrisi Verileri

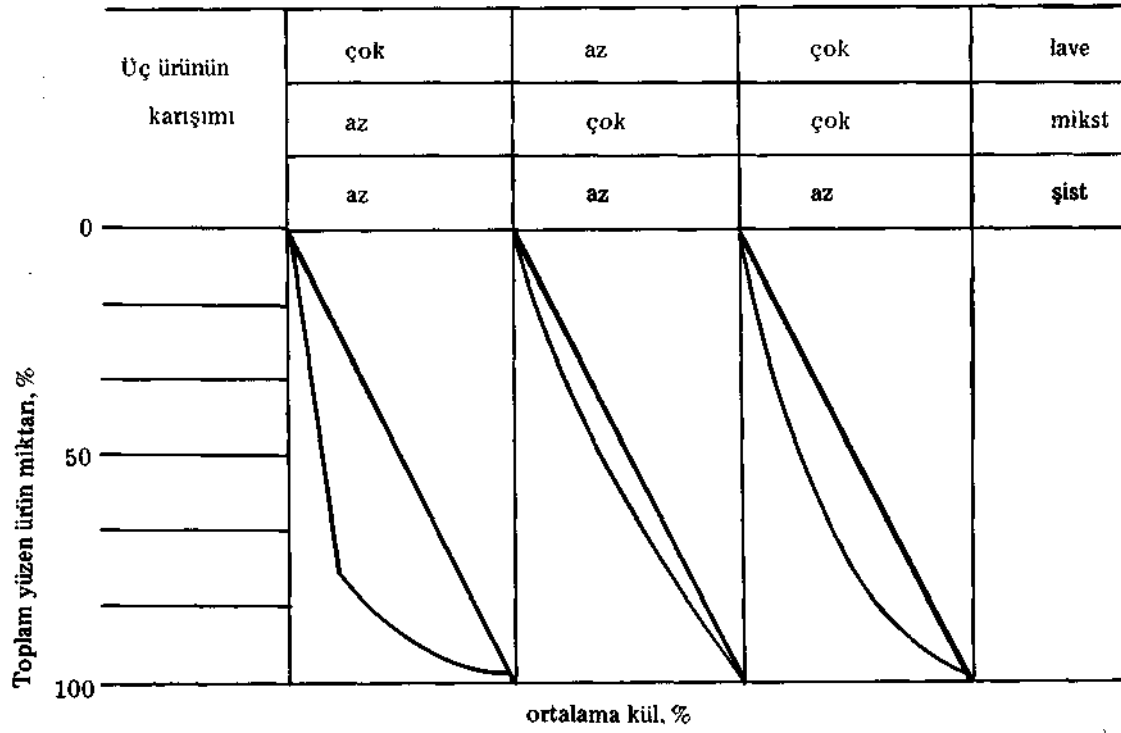
| 1                | 2<br>(A)             | 3<br>(B) | 4<br>2(A)                    | 5<br>(AxB)  | 6<br>S(AxB)        | 7<br>2(AxB)    |       |
|------------------|----------------------|----------|------------------------------|-------------|--------------------|----------------|-------|
|                  |                      |          |                              |             |                    |                | S (A) |
| Yoğunluk aralığı | Yüzen ürün miktarı % | Kül %    | Toplam yüzen ürün ağırlığı % | Kül miktarı | Toplam kül miktarı | Ortalama kül % |       |
| < 1.9            | 25,1                 | 15,52    | 25,1                         | 389,6       | 389,6              | 15,5           | A     |
| 1,4 - 1,5        | 8,7                  | 26,93    | 33,8                         | 234,3       | 623,9              | 15,5           | B     |
| 1,5 - 1,6        | 6,5                  | 36,94    | 40,3                         | 240,1       | 864,0              | 21,4           | C     |
| 1,6 - 1,7        | 3,9                  | 45,33    | 44,2                         | 176,8       | 1040,8             | 23,5           | D     |
| 1,7 - 1,8        | 2,7                  | 52,65    | 46,9                         | 142,2       | 1183,0             | 25,2           | E     |
| 1,8 - 1,9        | 2,0                  | 60,17    | 48,9                         | 120,3       | 1303,3             | 26,7           | F     |
| > 1.4            | 51,1                 | 77,14    | 100,0                        | 3941,9      | 5245,2             | 52,5           | G     |
|                  | 100,0                | 52,5     |                              |             |                    | 52,5           |       |



Şekil 1. Tunçbilek kapalı ocak tuvönan kömürü M — eğrisi



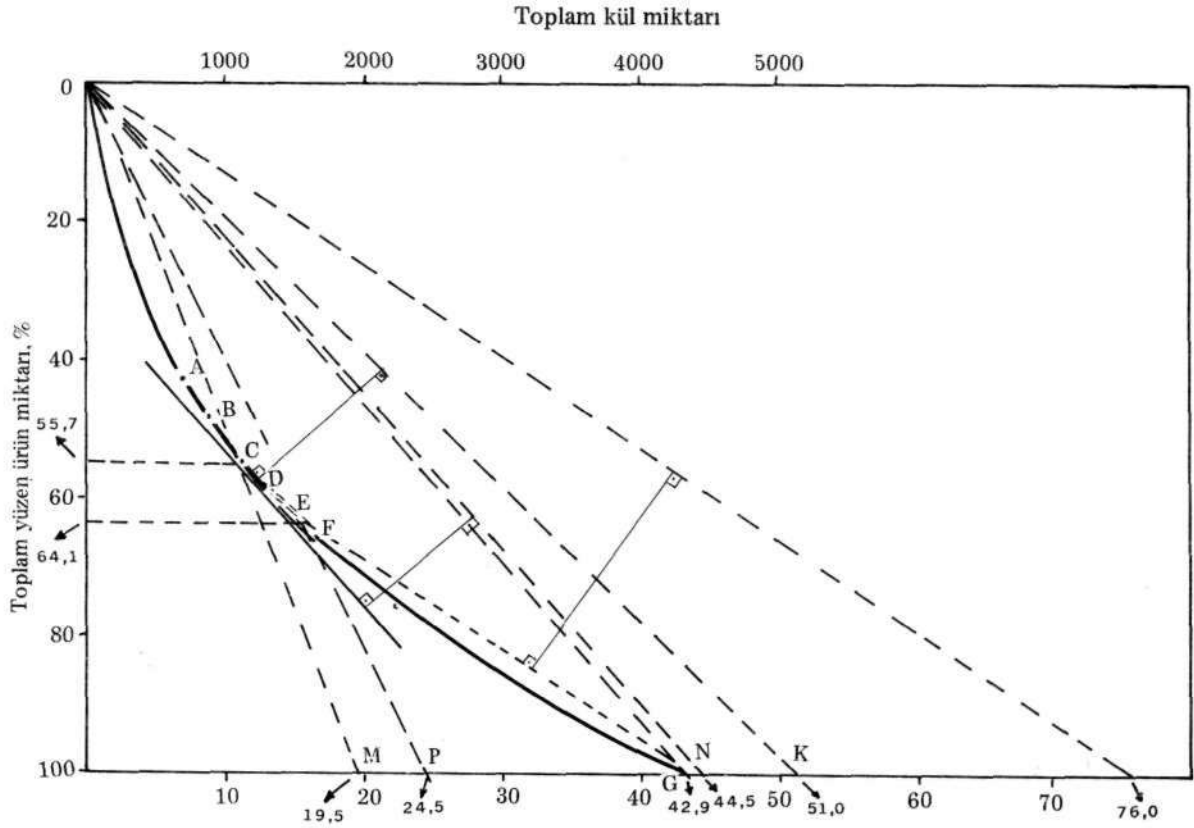
Şekil 2. M- eğrisi vektörleri



Şekil 3. M- eğrisinin türleri

Çizelge 2. Tunçbilek Açık Ocak Tuvönan Kömürü M- Eğrisi Verileri

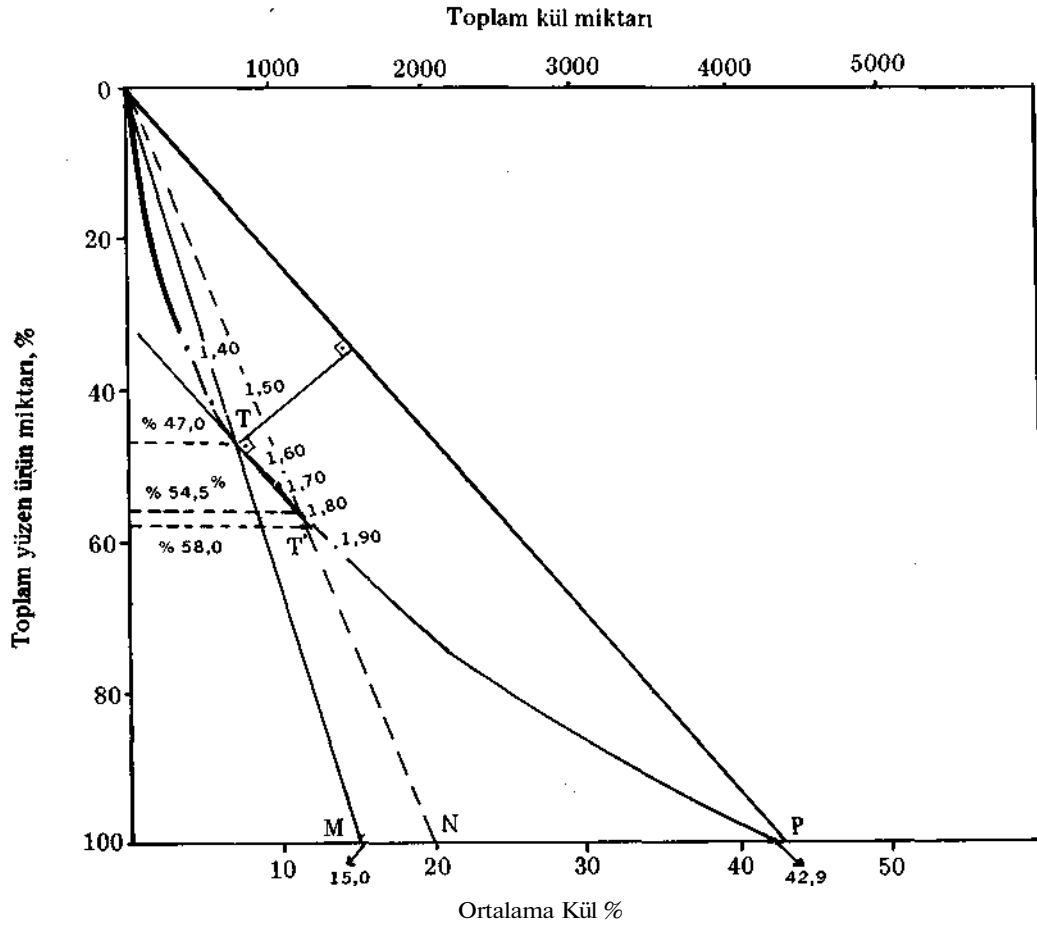
| 1                | 2<br>(A)            | 3<br>(B) | 4<br>S (A)                   | 5<br>(AxB)  | 6<br>2(AxB)        | 7<br>2(AxB)    | 7<br>2(A) |
|------------------|---------------------|----------|------------------------------|-------------|--------------------|----------------|-----------|
| Yoğunluk aralığı | Yüzen ürün miktar % | Kül %    | Toplam yüzen ürün ağırlığı % | Kül miktarı | Toplam kül miktarı | Ortalama kül % |           |
| > 1.4            | 43,2                | 15,90    | 43,2                         | 686,9       | 686,9              | 15,9           | A         |
| 1,4 - 1,5        | 7,4                 | 26,99    | 50,6                         | 199,7       | 886,6              | 17,5           | B         |
| 1,5 - 1,6        | 5,1                 | 39,13    | 55,7                         | 199,6       | 1086,2             | 19,5           | C         |
| 1,6 - 1,7        | 3,0                 | 48,98    | 58,7                         | 146,9       | 1233,1             | 21,0           | D         |
| 1,7 - 1,8        | 2,7                 | 56,66    | 61,4                         | 153,0       | 1386,1             | 22,6           | E         |
| 1,8-1,9          | 2,7                 | 62,46    | 64,1                         | 168,6       | 1554,7             | 24,3           | F         |
| • <1.9           | 35,9                | 76,19    | 100,0                        | 2735,2      | 4289,9             | 42,9           | G         |
|                  | 100,0               | 42,90    |                              |             |                    | 42,9           |           |



Şekil 4. Tunçbilek açık ocak tuvönan kömürünün yıkama sonuçları saptanması

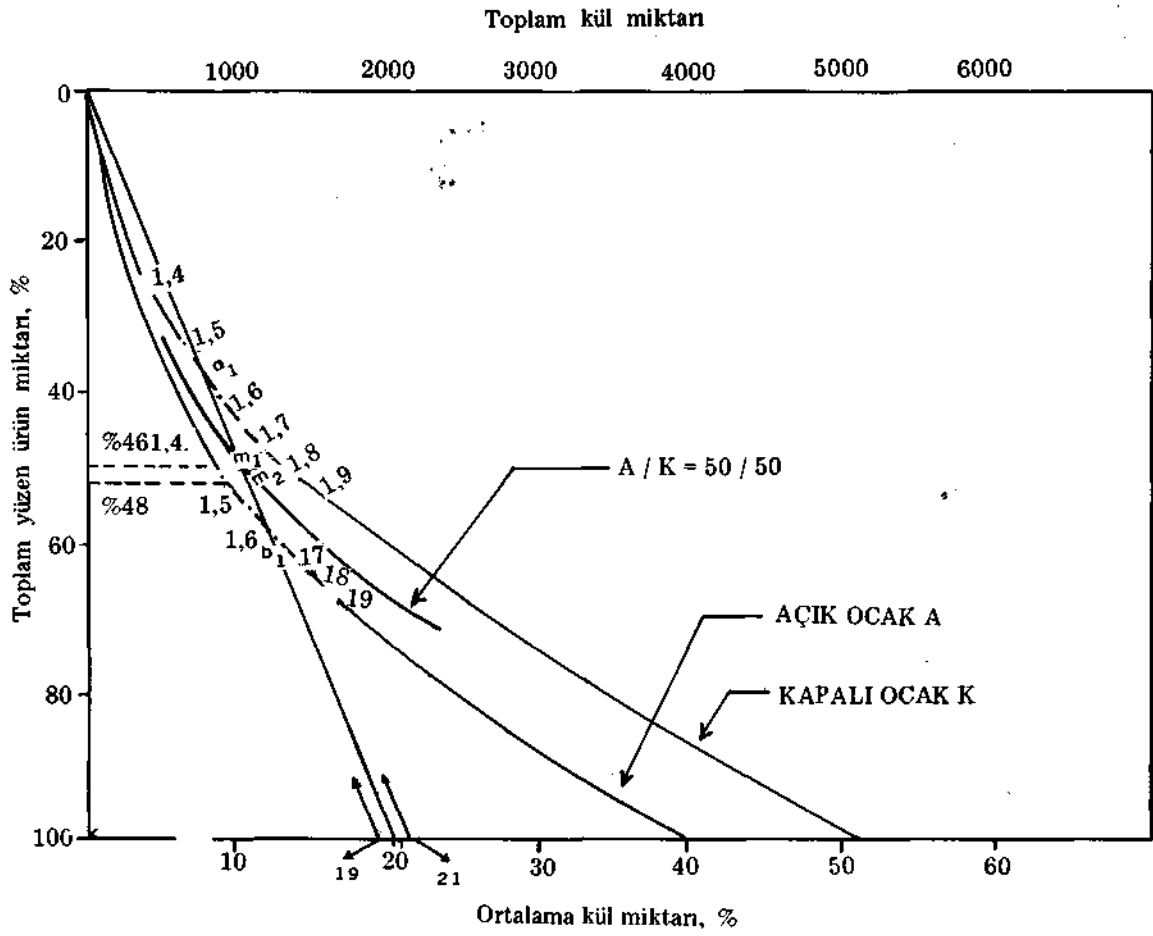
Çizelge 3. Tunçbilek 10 - 0,5 mm Tane Aralığındaki Kömürün M- Eğrisi Verileri

| 1                | 2<br>(A)             | 3<br>(B) | 4<br>2(A)                    | 5<br>(AxB)  | 6<br>2(AxB)        | 7<br>S(AxB)    |
|------------------|----------------------|----------|------------------------------|-------------|--------------------|----------------|
|                  |                      |          |                              |             |                    | 2(A)           |
| Yoğunluk aralığı | Yüzen ürün miktarı % | Kül %    | Toplam yüzen ürün ağırlığı % | Kül miktarı | Toplam kül miktarı | Ortalama kül % |
| > 1.4            | 34,25                | 10,47    | 34,25                        | 358,60      | 358,60             | 10,47          |
| 1,4 - 1,5        | 7,79                 | 24,73    | 42,04                        | 192,65      | 551,25             | 13,11          |
| 1,5 - 1,6        | 5,14                 | 35,13    | 47,18                        | 180,57      | 731,82             | 15,51          |
| 1,6 - 1,7        | 4,91                 | 44,48    | 52,09                        | 218,40      | 950,22             | 18,24          |
| 1,7 - 1,8        | 4,33                 | 50,85    | 56,42                        | 220,18      | 1170,4             | 20,74          |
| 1,8 - 1,9        | 3,22                 | 57,34    | 59,64                        | 184,63      | 1355,03            | 22,72          |
| , < 1.9          | 40,36                | 72,98    | 100,00                       | 2945,47     | 4300,5             | 43,01          |
|                  | 100,00               | 43,01    |                              |             |                    | 43,01          |



Şekil 5. Tunçbilek 10 - 0,5 mm tane aralığı lave kömürü ile Tunçbilek açık ocak tüvnan kömürünün harmanlama sonuçlarının saptanması





Şekil 6. Tunçbilek açık ve kapalı ocak kömürleri lavelerinin harmanlama sonuçlarının saptanması

