

FARKLI KÜL ORANLARINDAKİ KÖMÜRLERİN YIKANABİLME ÖZELLİĞİNİN TESBİTİNDE M-CM YÖNTEMİNİN KULLANIMI

The Application of M-CM Method to Determine the Washability Characteristics of Coals With Different Ash Ratios

Vedat ARSLAN^(*)
Mevlüt KEMAL^(**)

ÖZET

Klasik yöntemlerle yapılan kömür yıkanabilirliğinin tanımlanmasında tüvenan kömürün kül oranı dikkate alınmamaktadır. Ancak, hem ± 0.1 g/cm³ yoğunluk farkı değerleri hem de kül karakteristik eğrisinin yapısı bundan oldukça etkilenmekte ve aynı kömürün farklı tüvenan kül oranları için bu değerler değişken olmaktadır. M-CM yönteminde sonuçlar tüvenan kömür külünden bağımsız hale getirildiği için, özellikle ülkemizdeki yüksek oranda kül içeren tüvenan kömürler için kullanımı oldukça uygun bir yöntemdir. Bu çalışmada, M-CM yöntemi kısaca anlatılmakta ve ülkemizdeki çeşitli kömürleri örnek alan uygulama ve kıyaslamalar yapılmaktadır.

ABSTRACT

The main consideration in the classical methods of defining coal washability is the ash ratio of the run-of-mine coal. However, both the differences in ± 0.1 g/cm³ density values and the shape of ash curves are affected from the ash ratio changes in the same coal. Since the M-CM method is not dependent on the ash content of the coal, it is considered to be a suitable method for Turkish coals with high ash content. In this study, the M-CM method will be introduced briefly and some examples and comparisons will be given on the basis of different Turkish coals.

^(*) Doç.Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi, Müh. Fakültesi, Maden Müh. Böl., 35100, Bornova, İzmir, vedat.arslan@deu.edu.tr

^(**) Prof. Dr., Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fakültesi, Maden Müh. Böl., 35100, Bornova, İzmir

1. GİRİŞ

Bilindiği gibi, yakma teknolojilerinde meydana gelen gelişmelere bağlı olarak, çok düşük küllü kömür üretimi ile ilgili çalışmalar sürdürülmekte ve bir kısmı endüstriyel uygulamalara girmiş bulunmaktadır. Ülkemizde de bu yönde hızla yatırımlar yapılmakta ve modern tesislerin kurulması yönünde adımlar atılmaktadır. Bu süreçte endüstriye hizmet etmek anlamında öncelik, mevcut şartlar altında kömürlerin yıkanması için en doğru yöntemlerin seçilmesini sağlamak ve yıkama işlemlerini en yüksek performansla yapabilmektir.

Kömür yıkamada mümkün olduğunca temiz kömür mineral maddeden ayrılmaya çalışılır. Yoğunluğa göre ayırım yapan aygıtlarda seçilen belli bir çalışma yoğunluğunda ayırım yapılmaya çalışırken, aygıtın hassasiyetine bağlı bir miktar yoğunluk sapmaları meydana gelir. Bu yoğunluk sapmalarına bağlı ürün kalite ve miktar değişimi, o yoğunluğa yakın yoğunluktaki bağlı tanelerin oranları ile ilişkilidir. Eğer yakın yoğunluktaki bağlı tane oranı fazla ise, ürün kalite ve miktarındaki değişim fazla olacak, az ise önemli bir değişim meydana gelmeyecektir. Buradan, kolay yıkanabilir olarak anılan kömürlerde yakın yoğunluktaki malzeme miktarının, diğer bir deyişle bağlı tane oranının az olması gerektiği görülmektedir. Ara ürün olarak da isimlendirilen bağlı tane oranı ne kadar artarsa kömür yıkanabilirliği o oranda zorlaşmakta, bağlı tane oranı ne kadar az olursa da yıkanabilirlik o oranda iyi olmaktadır.

Kömür yıkanabilirliğinin belirlenmesinde ilk adım yüzdürme-batırma testleridir. Bu amaçla genelde çinko klorür çözeltisi kullanılmakta, toz kömür için ise ağır sıvılar kullanılabilir. Yüzdürme-batırma testlerinden sonraki aşamada kömür yıkanabilirliğinin yorumlanması ve buna göre kömüre uygun proses seçimi gelmektedir. Bu aşamada kullanılan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Henry Rheinhard eğrilerinden kül karakteristik eğrisi ve $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk farkı değerleri, Mayer Eğrisi, Yıkanabilirlik indeksi, M-CM eğrisi vb. yöntemler kömürlerin yıkanabilirliğini değerlendirme için kullanılan yöntemlerdir (Osborne, 1988).

Klasik yüzdürme-batırma çizelgesinden yararlanılarak çizilen kömür yıkanabilirlik eğrilerinden kömürün yıkanabilirlik özellikleri, kümülatif yüzen ve batan ağırlık miktarları ile kül oranları ve olası yıkama yoğunlukları ortaya

konulabilmektedir. Ancak bu yaklaşımla teorik olarak elde edilebilecek miktarlar belirlenebilmekte, yıkama aygıtı performansları dikkate alınmamaktadır. Sadece kömür yıkanabilirlik özelliğinden yararlanılarak, hangi tür aygıtlarda yıkama yapılması gerektiğine karar verilmektedir. Bu yöntemde tüvenan kömürün kül oranı değişimine göre bir uyum olmaması, yöntemin yaklaşım eksikliğini oluşturmaktadır.

1950 yılında Mayer tarafından M-eğrisi denilen bir eğri düzenlenmiştir. M-eğrisi üzerinden yapılan yaklaşımlarla kümülatif yüzen, fraksiyonel ve kümülatif kül oranları belirlenebilmektedir. Kül değerlerinin yanında, eğri kömür yıkanabilirliği konusunda da bilgiler sağlamaktadır. Aynı eksen takımı üzerinde birden çok kömür için eğriler çizilebilmektedir. Bu yöntem iyi bir grafik çizim ve hassas yaklaşımlar gerektirmektedir. Grafik çizimden gelen ufak kaydırmalar, tahmin edilen sonuçların olması gerekenden önemli oranda sapmalarına neden olabilmektedir (Osborne, 1988).

Kömür yıkanabilirlik eğrileri ve Mayer eğrilerinden üretilen ürün miktarları ve kül oranlarına yönelik tahminler ve bunlardan üretilen verilerin kullanımı günümüzde önemini yitirmiştir. Söz konusu yaklaşımlar kullanılacak kömür yıkama aygıtı performansını dikkate almadığından yanıltıcı bilgiler üretilmesine neden olabilmektedir. Gerek yıkama aygıtı üreten firmalar gerekse araştırmacılar, günümüzde daha çok yıkama sonuçlarının tahmini yöntemi tercih etmektedirler. Bu eğrilerden sadece kömür yıkanabilirliğine yönelik bilgiler üretmek ve seçilecek yıkama yoğunluğuna yönelik yaklaşımlarda bulunmak daha doğru olmaktadır. Söz konusu eğriler içerisinde yeralan $\pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ yıkanabilirlik değerleri en fazla dikkate alınan veriler olmaktadır (Kemal & Arslan, 2005).

“Yıkanabilirlik İndeksi” ve “Yıkanabilirlik Numarası” parametreleri araştırmacılar tarafından, yıkanabilirliği kantitatif olarak tariflemek üzere oluşturulan ilk parametreler olmuştur. Ancak matematiksel olarak ifade edilmelerinin zorluğu ve yıkanabilirliği hassas bir biçimde ifade edememeleri nedenleriyle kullanışlı olamamışlardır. Daha sonra yine Govindarajan ve Rao tarafından yeni bir yaklaşımla farklı bir “Yıkanabilirlik İndeksi” oluşturulmuştur (Salama,1998). Ancak söz konusu indeksin bazı kübik eşitlikleri kullanması ve eğri yaklaştırma metodunu kullanması, bu yöntemin kullanımını zorlaştırmaktadır. Özellikle eğri yaklaştırmadaki hata oranlarına bağlı olarak yıkanabilirliği farklı

olan kömürler için aynı yıkanabilirlik indeksleri elde edilebilmektedir.

Salama (1998) tarafından geliştirilmiş olan M-CM metodu, grafiksel yaklaşımı temel almaktadır. Oluşturulan eğri CM eğrisi olarak adlandırılmıştır. Yapı olarak Mayer eğrisinin simetrik tamamlayıcısıdır. Ancak eğri Mayer eğrisinden farklı olarak, farklı kömürlerin aynı bazda karşılaştırılabilmesi için normalleştirilmiş, yani kül oranından bağımsız hale getirilmiştir. Bu nedenle de elde edilen indeks değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. İndeks değeri büyüdükçe yıkanabilirlik iyileşmekte, aksi durumda da kötüleşmektedir. Elde edilen indeks, kömür külünden bağımsız olduğu için, yıkanabilirliğin kıyaslanmasında, kömür kül oranlarının değişkenliğinden meydana gelen olası sapmalar ortadan kalkmaktadır.

Lin ve arkadaşları (Lin vd., 2001) bilgisayarlı x-ray tomografisi yardımıyla kömür yıkanabilirliğinin yerinde (online) tesbitinin mümkün olacağını söyleyerek bu yönde araştırmalar yapmışlardır. Bu amaçla bilgisayarlı tomografi (CT-based) temelli bir analizör geliştirmek için çalışmışlar ve bununla ilgili çalışmalarını bir makale ile tartışmaya açmak üzere yayınlamışlardır.

Galvin ve Pratten (1999) akışkanlığı kullanarak bir yıkanabilirlik analiz metodu geliştirmişler ve bunu 2 mm'nin altındaki taneler için kullanmışlardır. Fakat bu metodun değişik tane boyutları için de kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

“Yakın yoğunluktaki malzeme indeksi” (near-gravity-materials index) adlı, yüzdürme-batırma testlerini temel alan bir yıkanabilirlik indeksi Majumder ve Barnwal (2004) tarafından geliştirilmiştir. Bu indeks farklı ayırma yoğunlukları için yakın yoğunlukta malzemelerde kül dağılımının etkisiyle ilişkilendirilmiştir. Belli bir kömür için optimal ayırma yoğunluğu, bu indeksin farklı ayırma yoğunluklarının fonksiyonu olarak ya da istenen temiz kömür kül oranının fonksiyonu olarak çizilmesiyle belirlenebilmektedir .

Kömür yüzdürme-batırma verilerinden yararlanılarak, mineral madde serbestleşme derecesinin hesaplandığı bir metod, Oki ve arkadaşları (2004) tarafından geliştirilmiştir. Bu yöntemde yüzdürme-batırma fraksiyonlarında yapılan elementer analizden yola çıkarak mineral madde bileşimi, en düşük yoğunluk

fraksiyonundaki kül oranı ve en yüksek yoğunluk fraksiyonundaki minimum bağlı taneler oranının limiti tahmini olarak belirlenmektedir. Bundan yararlanarak maksimum mineral madde serbestleşmesi belirlenmektedir. Bu metodun serbestleşmenin gerçek derecesini ortaya koymada kullanılabilir bir indeks olduğu öne sürülmektedir.

Galvin (2004) daha çok tanecik yoğunluğu ve kümülatif kül oranının fonksiyonu olarak tesis performansını göstermeye yönelik olarak bir yöntem geliştirmiştir. Bu yöntem ortam olarak sadece suyu kullanarak kömür ve mineral maddeyi fraksiyonlarına ayırarak yıkanabilirlik verisi üretmeye yöneliktir.

Yukarıda kısaca özetlenen literatür bilgilerinden de görülebileceği gibi, amaç mümkün olduğunca en doğru yaklaşımla kömür yıkanabilirliğini ortaya koyarak, tesis performansını en yüksek seviyede tutacak proses geliştirmek ve performansın kontrolünü en sağlıklı bir biçimde yapacak yaklaşımı oluşturmaktır. Kömür özellikleri standart olmadığına göre, her kömür için farklı yaklaşımlar ortaya konulmadığı takdirde, yanıltıcı veriler üretilebilmektedir.

Bu çalışmada, yıkama sonuçlarını tüvenan kömür kül oranından bağımsız olarak hesaplamaya yarayan M-CM yöntemi ve bu yöntemin ülkemiz kömürlerinde uygulanabilirliği ve kullanımının getireceği avantaj, çeşitli kömür özellikleri üzerinden kıyaslamalarla gösterilmeye çalışılmıştır.

2. M-CM EĞRİSİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

M-CM eğrisinin çizilebilmesi için ilk olarak kömür yüzdürme-batırma test sonuçlarına ihtiyaç vardır. Yüzdürme-batırma test sonuçlarından yararlanarak Mayer eğrisi için gerekli hesaplamalar yapılır. Grafik çiziminde Mayer eğrisi x ve y eksenleri değerleri 1'e indirgenmiş olarak çizilir (Çizelge 1; y eksenini 8 nolu sütun, x eksenini 6 nolu sütun). Benzer Çizelgede CM grafiğini çizmek için kümülatif (100-kül) değerlerinin hesaplanması gerekir (Çizelge 1; y eksenini 8 nolu sütun, x eksenini 11 nolu sütun). Bunların detayı ilgili literatürde yer almaktadır (Salama,1998). Bu verilerin eldesinden sonra Çizelge 1'de verilen eğriler çizilir. Çizelge'de M eğrisi x eksenini kömürün kümülatif kül oranının 100'e bölünmesiyle elde edilen değerinde keserken, CM eğrisi “100-Kümülatif kül”ün 100'e

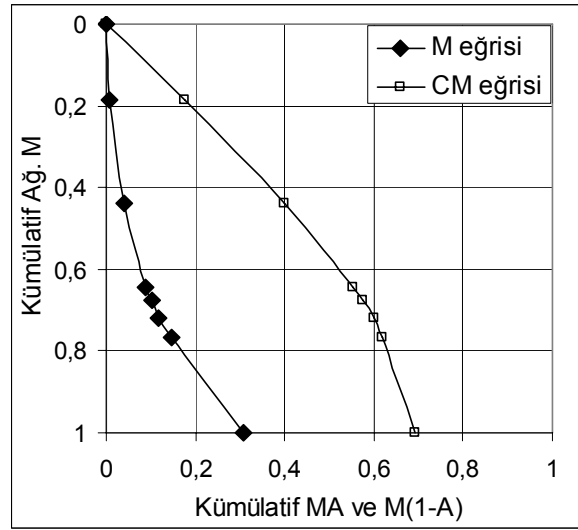
bölünmesiyle elde edilen noktada kesmektedir. Çizimde kullanılan örnek kömürün yüzdürme-batırma analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmektedir. Söz konusu örnekte kümülatif kül oranı %30.59'dur.

Bu çizelgeden yararlanarak normalleştirilmiş eğriler olarak tanımlanan grafikler çizilmektedir. Normalleştirilmiş değerler olarak tanımlanan değerler, fraksiyonel kümülatif kül oranlarının kömürün toplam külüne bölünmesiyle elde edilmekte, böylece en yüksek değer 1 olmaktadır.

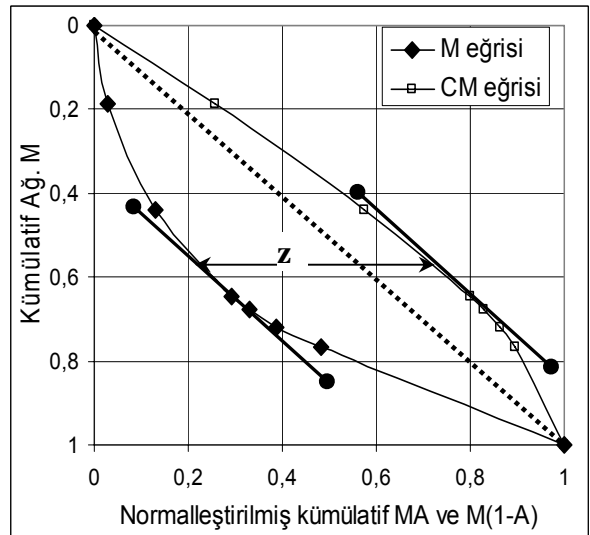
Örnek çizelgede, 6 nolu sütündeki değerlerin tümü 0.31'e, 11 nolu sütündeki değerlerin tümü ise 0.69'a bölünerek değerlerde normalleşme sağlanır. Normalleştirilmiş grafiklerin çiziminden sonra kömür yıkanabilme karakteristik indeksinin elde edilmesine geçilir. M ve CM eğrilerinde aynı M değeri için noktasal eğimlerin birbirinin aynı olduğu (her iki eğriye çizilen teğetlerin köşegene paralel olacak şekilde eğrileri kestiği maksimum noktalar, bkz. Şekil 2) noktalar tesbit edilir. Bu iki noktada M ve CM eğrisi arasındaki mesafe maksimum olmaktadır. Bu mesafe kömür yıkanabilirliğini ifade eden "kömür yıkanabilme karakteristik indeksi"nin tanımlanmasında kullanılır. Bu noktaların tayini için Şekil 2'de verilen teorik zor yıkanabilir kömür eğrisinden yararlanılabilir (Şekil 2'de verilen kesikli çizgi). Teorik olarak zor yıkanabilir kömür eğrisi, tüm kömür tanelerinde kül oranının eşit olduğu varsayılarak çizilmiştir. Hem M eğrisinde hem de CM eğrisinde aynı M değeri için noktasal eğimin birbirinin aynı olduğu M ve CM değerlerinde çizilen teğetlerin teorik zor yıkanabilir kömür eğrisine paralel olmaları gerekmektedir. Bu noktaların birbirine uzaklığı grafikte z olarak ifade edilmiştir. Kömür yıkanabilme karakteristik indeksi, z'ye karşılık gelen x ekseninden okunan mesafe ile ifade edilmektedir. Külden bağımsız hale getirildiği için 0 ile 1 arasında değerlere sahip olmaktadır. Kolay yıkanabilir kömür için değer 1'e yaklaşırken, yıkanabilme zorlaştıkça değer 0'a yaklaşmaktadır.

3. M-CM YÖNTEMİNİN ÜLKEMİZ KÖMÜRLERİNE UYGULANMASI

Ülkemizdeki kömür yataklarının büyük çoğunluğunda gerek oluşum şartları, gerekse üretim koşulları nedeniyle tüvenan kömürde kül oranları oldukça yüksektir. Bu kömürlerden alınan numunelerle yüzdürme



Şekil 1 M-CM eğrileri



Şekil 2. Normalleştirilmiş M-CM eğrileri

batırma testleri yapıldıktan sonra yıkanabilirlikleri genelde Henry Rheinhard eğrilerine göre değerlendirilmektedir. Özellikle $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk farkı eğrisine göre yapılan yıkanabilirlik değerlendirmeleri en çok kullanılan yöntemdir. Ancak hassas kül oranları gündeme geldiğinde yanıltıcı bilgiler oluşabilmektedir. Bu durumun ortaya konulması için aşağıda ülkemizdeki bazı kömürlerin yüzdürme-batırma test sonuçları ve bunlarla ilgili değerlendirmeler yapılmaktadır.

Çizelge 2 a ve b'de çalışmada örnekleme yapmak amacıyla kullanılan kömürler ve bunlara ait daha önce Dokuz Eylül Üniversitesi'nde

Çizelge 1. Örnek kömür numunesine ait Mayer eğrisi ve M-CM eğrileri çizimi için gerekli verilerin hesaplanması.

Yoğunluk g/cm ³	%Ağ	% Kül								
	p	a	P*a/ 100	Σ[(p*a) /100]	5 ^x /1 00	Σp	7 ^{xx} /1 00	P*[(100-a) /100]	ΣP*[(100-a) /100]	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1.3 Yüzen	18.60	4.49	0.84	0.84	0.01	18.60	0.19	17.76	17.76	0.18
1.3 – 1.4	25.26	12.28	3.10	3.94	0.04	43.86	0.44	22.16	39.92	0.40
1.4 – 1.5	20.57	24.47	5.03	8.97	0.09	64.43	0.64	15.54	55.46	0.55
1.5 – 1.6	3.12	37.43	1.17	10.14	0.10	67.55	0.68	1.95	57.41	0.57
1.6 – 1.7	4.26	40.29	1.72	11.85	0.12	71.81	0.72	2.54	59.96	0.60
1.7 – 1.8	5.01	57.80	2.90	14.75	0.15	76.82	0.77	2.11	62.07	0.62
1.8 Batan	23.18	68.32	15.84	30.59	0.31	100.00	1.00	7.34	69.41	0.69
	100.0	30.59								

5^x: 5 nolu sütun değerlerini ifade etmektedir.

7^{xx}: 7 nolu sütun değerlerini ifade etmektedir.

Çizelge 2 a Hesaplamalarda kullanılan kömür örneklerine ait yüzdürme-batırma sonuçları

Yoğunluk g/cm ³	Zonguldak 50-20		Zonguldak 10-5		Aydın Linyit kapalı ocak		Tunçbilek	
	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül
1.3 yüzen	8.41	4.66	22.77	5.00	1.49	5.30	2.72	11.50
1.3 -1.4	6.26	10.17	10.02	11.31	61.22	12.25	20.86	18.81
1.4 -1.5	3.54	19.64	4.43	20.50	12.84	27.88	4.53	29.43
1.5 -1.6	1.03	32.95	2.65	31.72	5.66	40.59	4.10	42.54
1.6 -1.7	1.60	44.27	3.05	41.59	2.45	52.4	3.11	63.92
1.7 -1.8	1.19	49.90	2.92	54.14	0.69	64.05	2.59	73.04
1.8batan	77.97	89.30	54.16	88.01	15.65	85.50	62.09	82.10

Çizelge 2 b Hesaplamalarda kullanılan kömür örneklerine ait yüzdürme-batırma sonuçları (devamı)

Yoğunluk g/cm ³	Seyitömer b1		Seyitömer b2		Hüsamlar 18-0.5		Eskihisar üst damar 18-0.5	
	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül	%Ağ.	%Kül
1.3 yüzen	39.66	22.48	53.95	15.89	3.95	14.88	59.76	15.82
1.3 -1.4	37.56	35.62	15.16	30.56	26.15	19.21	8.99	33.48
1.4 -1.5	11.73	47.83	9.21	50.61	23.36	23.50	4.10	39.60
1.5 -1.6	4.59	60.29	6.89	61.9	11.23	30.49	7.70	45.79
1.6 -1.7	0.51	62.15	3.32	69.09	5.46	45.18	4.24	55.49
1.7 -1.8	1.64	69.58	6.09	71.66	4.70	55.88	3.97	62.60
1.8 batan	4.31	76.30	5.38	78.11	25.11	62.73	11.23	70.92

yapılmış olan çalışmalardan alınmış yüzdürme-batırma sonuçları verilmektedir. Çizelge 2a' da yaş yöntemle sorunsuzca yıkanmaya müsait taşkömürü ve sert linyit kömürü örnekleri yer alırken, Çizelge 2b'de yumuşak linyitlerden örnekler verilmiştir (Anon (a), 1998; Anon (b), 1990; Anon (c), 1990; Anon (d), 2004; Anon (e), 2005; Anon (f), 1992).

İlk olarak söz konusu kömür örnekleri için klasik yöntemle yıkanabilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Bu amaçla Şekil 3 a ve b'de verilen

kül karakteristik eğrileri ve Şekil 4 a ve b'de verilen ± 0.1 g/cm³ yoğunluk farkı değerlerine ait eğriler çizilmiştir.

Kül karakteristik eğrisine göre yıkanabilirlikte sayısal bir veri elde edilmemekte, sadece eğrinin yapısına göre yıkanabilirlik değerlendirilmektedir. Bu eğrinin idealde, dike yakın inip keskin bir şekilde yataya dönmesi, kömürün yıkanabilirliğinin kolaylığını göstermektedir. Bu

dönüş tek noktada olabildiği gibi, kademeli de olabilmektedir. Değerlendirme buna göre yapıldığında, Şekil 3 a'da verilen kül karakteristik eğrisine göre, Zonguldak iri ve ince kömürleri ve Tunçbilek kömürlerinin kolay yıkanabilir kömürler olduğu, Aydın kömüründe yıkanabilirliğin bir miktar zorlaştığı, Şekil 3 b'de verilen eğrilere göre ise, GELİ Hüssamlar kömüründe yıkanabilirliğin diğerlerine nazaran daha kolay olmasına rağmen tümünde yıkanabilme özelliğinin zayıf olduğu görülmektedir.

Örnek kömürler için yıkanabilirliğin $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk fraksiyonu farkı değerlerine göre değerlendirilmesi Şekil 4 a ve b'de verilen eğrilere göre yapıldığında, yıkama yoğunluğu değişimine göre, yıkanabilme özelliklerinin oldukça değişken olduğu görülmektedir. Yine Şekil 4 a ve b ayrı ayrı incelenecek olursa, Zonguldak kömürlerinin 1.7 g/cm^3 ve altındaki her yoğunluk fraksiyonu için kolay yıkanabilir kömürler olduğu; Tunçbilek kömürü için $1.5-1.7 \text{ g/cm}^3$ arası yoğunluklarda yıkanabilirliğin kolay, olduğu, bunun dışında zorlaştığı; Aydın linyit kömürü için ise kolay yıkanabilirlik için alt yoğunluğun 1.55 g/cm^3 'e düştüğü görülmektedir. Benzer yolla Şekil 4b'deki sonuçlara göre, Seyitömer b1 için 1.55 g/cm^3 ve üzeri yoğunluklarda yıkanabilirliğin oldukça kolay olduğu, düşük yoğunluklarda ise hızla zorlaştığı, Seyitömer b2 için 1.55 g/cm^3 'ün üzerinde orta yıkanabilirlik, altında ise zor yıkanabilirlik özelliğine sahip olduğu, GELİ Hüssamlar'ın sadece 1.7 g/cm^3 yoğunluğunda kolay yıkanabilir bunun dışında ise zor yıkanabilir olduğu, GELİ Eskihisar kömürünün ise her yoğunlukta orta derecede yıkanabilirlik özelliği olduğu anlaşılmaktadır.

Her iki yöntemin esası, yoğunluk fraksiyonlarındaki ağırlık oranlarına dayandığından, tüvenan kömürdeki kül oranı bir etken parametre olarak göz önüne alınmamakta, dolayısıyla da, yukarıda yapıldığı gibi kömürler birbiri ile kıyaslanırken aslında aynı baza oturtulamamış olmaktadır. Bunu örneklemek için Şekil 5'te verilen değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmede tüvenan kömür külü %73 olan Zonguldak 50-20 mm kömür, 1.8 g/cm^3 'te batan fraksiyonunda oransal eksiltme yapılarak tüvenan kül oranı yaklaşık %21 olacak şekilde ayarlama yapılmış ve buna göre kıyaslamalı eğriler çizilmiştir. Eğrilerden görüldüğü üzere daha önce yıkanabilme özelliği çok kolay olarak görünen Zonguldak kömürünün, yıkanabilme özelliğinin zorlaştığı ve ancak 1.6 g/cm^3 yoğunlukta orta yıkanabilir özellik kazandığı

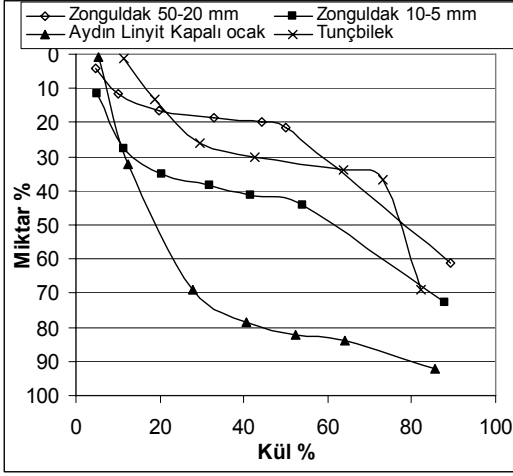
görülmektedir. Buradan kül oranının değerlendirmeyi nasıl etkilediği açıkça görülmektedir.

Yapılmış olan bu değerlendirmelerden sonra, aynı kömürler için M-CM eğrileri çizilerek söz konusu kömürler için yıkanabilirlik bu yöntemle değerlendirilmiş ve birbiriyle kıyaslanmıştır. Sonuçları aşağıda verilmektedir.

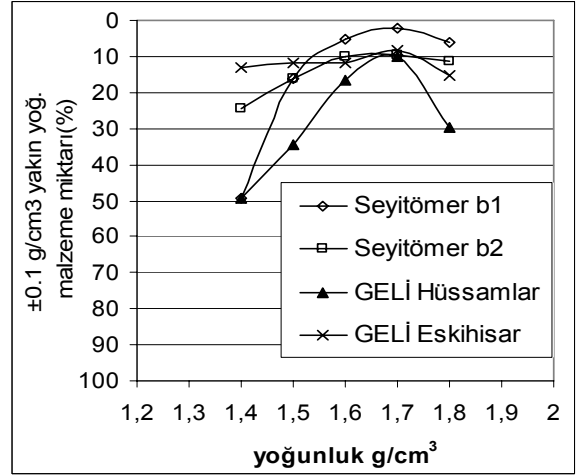
Şekil 6'da ayrı ayrı çizilmiş olan M-CM eğrileri görülmektedir. Kömürün yıkanabilirliğinin sayısal ölçüsü yıkanabilirlik indeksi olmasına rağmen çizilen grafikler bir anlamda yıkanabilirlik için bir mesaj vermektedir. Örneğin Zonguldak 10-5 mm için çizilen grafiklere bakıldığında, MA ve M(1-A) eğrilerine teğet çizim noktaları arasındaki mesafe oldukça genişken, bu, Aydın ve Tunçbilek kömürlerinde daralmakta, Seyitömer b1'de ise minimuma inmektedir. Bu eğrilerin yapısından bile net şekilde kömür yıkanabilirliğini anlamlandırmak mümkündür. Bunların sayısal ifadesi olan yıkanabilirlik indeks değerleri ise Çizelge 3'te verilmektedir. Daha önce belirtildiği üzere, kolay yıkanabilir kömürler için bu değer 1'e, zor yıkanabilir kömürler için ise 0'a yaklaşması söz konusudur. Bu anlamda baktığımızda, Zonguldak 10-5 mm kolay yıkanabilir bir kömür, Tunçbilek ve Aydın kömürleri orta seviyede yıkanabilirliğe sahip kömürler ve GELİ kömürleri yıkanabilme özelliği zayıf kömürler ve Seyitömer b1 ise yıkanması çok zor olan bir kömür olarak görülmektedir. Ortaya çıkan değerlerden de görüldüğü üzere her kömür için tek bir indeks değeri üretilmekte, tüvenan kömür kül oranından etkilenmemekte, böylece kıyaslanabilir veriler elde edilmektedir. Bu sayede üzerinde çalışılacak herhangi bir tüvenan kömür için yıkanabilirliğin incelenmesi amacıyla ilk adımın atılmasında M-CM metodunun kullanımında yarar vardır.

Çizelge 3. M-CM eğrilerinden elde edilen yıkanabilirlik indeksi değerleri.

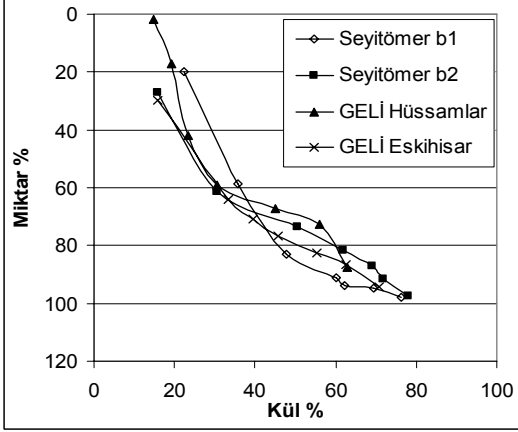
	Yıkanabilirlik İndeksi
Zonguldak 50-20 mm	0,67
Zonguldak 10-5 mm	0,79
Aydın Linyit kömürü	0,54
Tunçbilek kömürü	0,55
Seyitömer b1	0,25
Seyitömer b2	0,45
GELİ Hüssamlar	0,39
GELİ Eskihisar	0,41



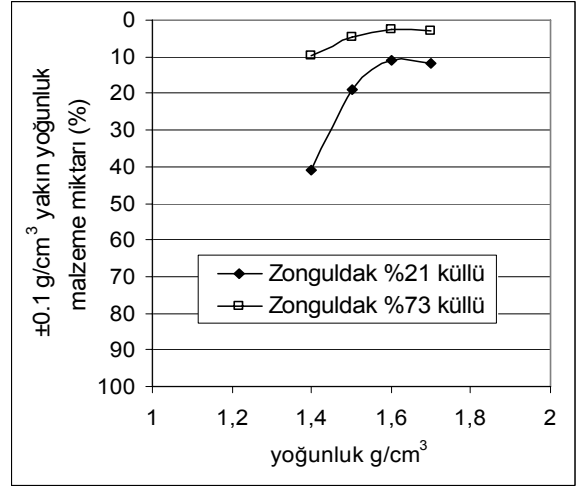
Şekil 3 a. Örnek kömürler kül karakteristik eğrileri



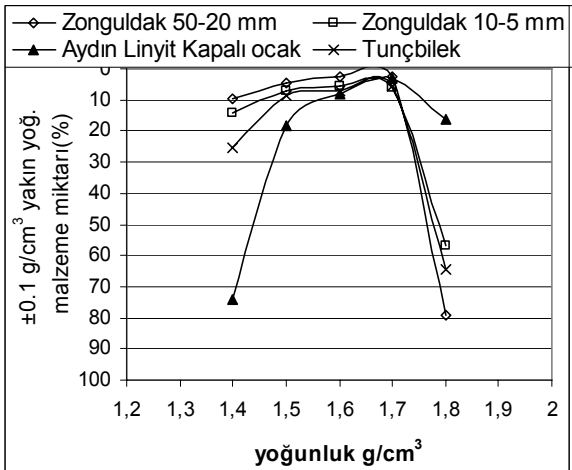
Şekil 4 b. Örnek kömürler $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk fraksiyonu farkı değerleri



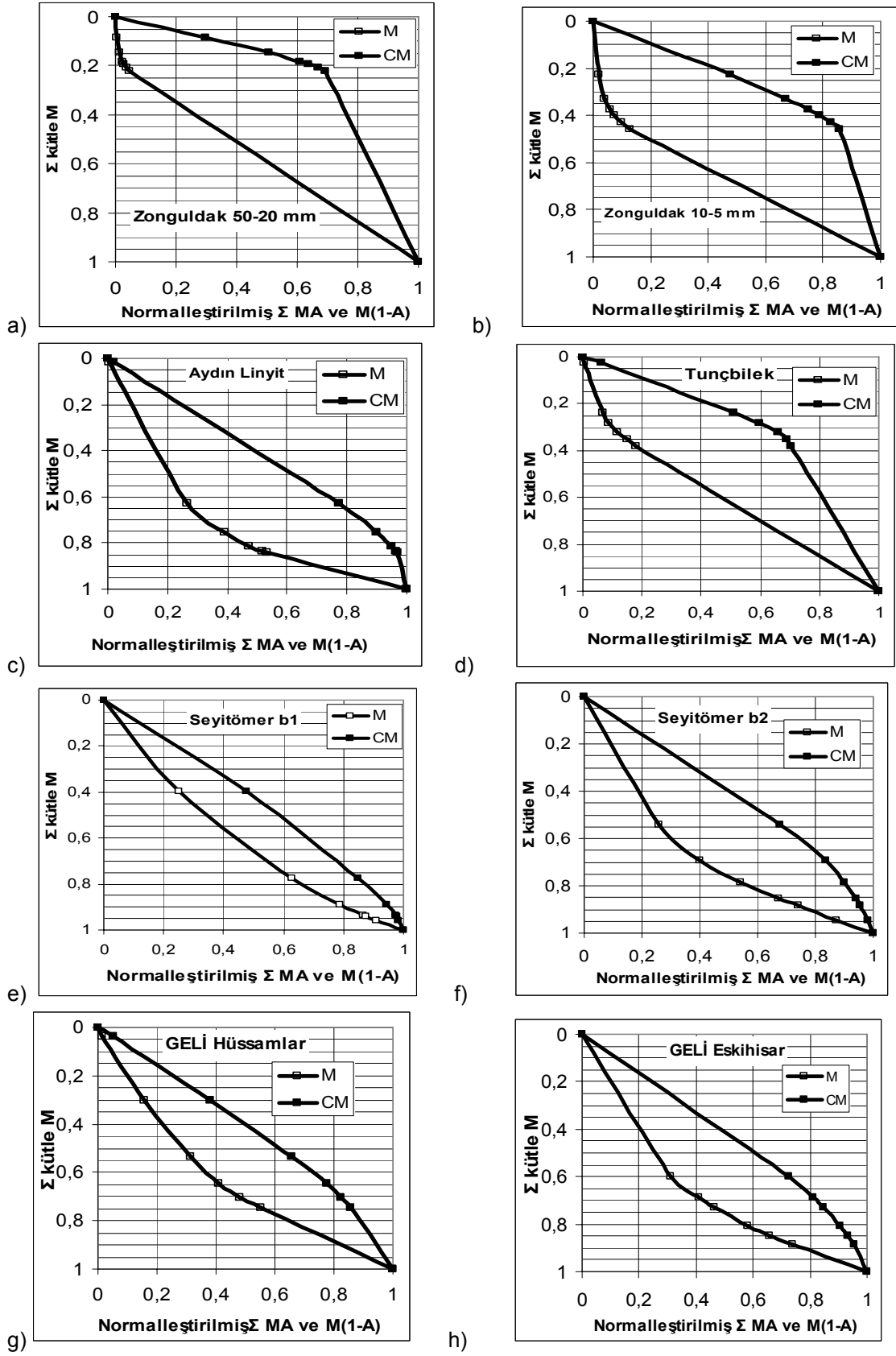
Şekil 3 b. Örnek kömürler kül karakteristik eğrileri



Şekil 5. Zonguldak kömürünün yüksek ve düşük kül oranlarında yıkanabilirlik özellikleri.



Şekil 4 a. Örnek kömürler $\pm 0.1 \text{ g/cm}^3$ yoğunluk fraksiyonu farkı değerleri



Şekil 6. Çalışmada örnek olarak seçilen kömürler için çizilen M-CM eğrileri.

3. SONUÇLAR

Salama tarafından geliştirilmiş olan ve Mayer eğrisini baz alan M-CM yöntemi, kömür yıkanabilirliğinin tanımlanmasında yeni bir yaklaşım getirmektedir. Normalde yüksek kül oranına sahip ülkemiz kömürlerine uygulanmasında sağlıklı sonuçlar elde edilmesi çok zor olan Mayer eğrisi metodu, bu yöntemle kullanılabilir farklı bir yaklaşıma temel teşkil etmiştir. Bu yöntem sayesinde, farklı kül oranlarındaki kömürlerin yıkanabilirliklerinin aynı bazda kıyaslanması mümkün olmaktadır. Her iki eğri arasındaki maksimum uzaklığın ölçülmesi ile elde edilen sayısal değer yıkanabilirlik indeksi olarak alınmakta, böylece kıyaslanabilir bir büyüklük elde edilmektedir.

M-CM eğrileri yöntemi, bilgisayarda kolaylıkla değerlendirilebilir, hesabı ve çizimi basit, değerlendirilmesinde karmaşık işlemler içermeyen bir yöntem olarak, özellikle tüvenan bazda çok farklı oranlarda kül içeren ülkemiz kömürleri için kullanımı uygun bir yöntem olarak görülmüştür. Bu yöntemden uygun yıkama aygıtı seçiminde yararlanmak mümkündür. Ekipman seçiminden sonra, belli bir yıkama yoğunluğunda elde edilebilecek ürün miktarları ve kül oranları ile ilgili hesaplamalarda, yüzdürme-batırma testlerini esas alan Henry Rheinhard eğrileri ve en doğrusu da bir simülasyon programı kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

Galvin, K. P., 2004; "Washability analysis of coal using water fluidization"; Energeia, CAER-University of Kentucky, Center for Applied Energy Research, **15**, (5).

Galvin, K.P. and Pratten, S.J., 1999; "Application of Fluidization to Obtain Washability Data", Minerals Engineering, **12**, (9), 1051-1058.

Kemal, M., ve Arslan, V., 2005; "Kömür Teknolojisi", Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No:33.

Lin, C. L., Miller, J. D., Luttrell, G. H. and. Adel, G. T., 2001; "Development Of An On-Line Coal Washability Analysis System Using X-Ray Computed Tomography", SME Annual Meeting Feb. 28-Mar. 1, Salt Lake City, Utah.

Majumder, A.K., Barnwal, J.P., 2004; "Development of a new coal washability index", Minerals Engineering **17**, 93-96.

Oki, T. , Yotsumoto, H., Owada, S., 2004; "Calculation of degree of mineral matter liberation in coal from sink-float separation data", Minerals Engineering **17**, 39-51

Osborne, D.G., 1988; "Coal Preparation Technology", Graham&Trotman Ltd.

Salama, A.I.A., 1998; "Coal Washability Characteristics Index Utilizing The M-Curve And The CM-Curve" Int. J. Miner. Process. **55**, 139-152.

Anon (a), 1998; "Aydın Linyit Kömürlerinin Piyasaya Verilecek Ürün Özellikleri Açısından Değerlendirilmesi", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Döner Sermaye Proje Raporu.

Anon (b), 1990; "Demir Çelik Üretiminde Kok Özellikleri ve Sıvı Demir Üretimine Optimizasyonu", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Döner Sermaye Proje Raporu.

Anon (c), 1990; "Seyitömer Havzası Kriblaj Tesislerinin Optimizasyonu ve Kapasite Arttırılma İmkanlarının Etüdü", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Döner Sermaye Proje Raporu.

Anon (d), 2004; "TKİ-GELİ Yeniköy İşletmesi Hüsamlar Ocağı Kömürlerinde CaCO₃ İçeriğinin Yıkama Yoluyla Azaltılabilirliğinin Etüdü", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Döner Sermaye Proje Raporu.

Anon (e), 2005; "TKİ-GELİ Eskişehir ve Tınaz Ocakları Kömürlerinde Yıkanabilirlik Etüdü", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Döner Sermaye Proje Raporu.

Anon (f), 1992; "Tunçbilek Kömürünün Çevre ve Hava Kirliliğine Olan Etkilerinin Etüdü", Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Döner Sermaye Proje Raporu.

FARKLI KÜL ORANLARINDAKİ KÖMÜRLERİN YIKANABİLME ÖZELLİĞİNİN TESBİTİNDE M-CM METODUNUN KULLANIMI

1. Yazar
Vedat ARSLAN

Doç. Dr.
Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
Maden Müh. Bölümü
35100, Bornova, İZMİR

e-mail: vedat.arslan@deu.edu.tr
tel: 0.232.3883139
fax: 0.232.3738289

2. Yazar
Mevlüt KEMAL

Prof. Dr.
Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak.
Maden Müh. Bölümü
35100, Bornova, İZMİR

e-mail: mevlut.kemal@deu.edu.tr
tel: 0.232.3883139
fax: 0.232.3738289

İletişime Geçilecek Yazar:

Vedat ARSLAN