

KÖMÜRLERİN ELEKTRİKSEL DİRENÇ VE KAPASİTELERİNİN ÖLÇÜMÜ

Measurements of Electrical Resistances and Capacities of Coals

Ö.Serdar YILDIRIMⁿ
M.Saim SARAC^{r)}

OZET

Bu çalışmada kömürün direnç ve kapasite özellikleri araştırılmıştır. Çalışmanın amacı Türkiye kömürlerinin bir kısmının direnç ve kapasite değerlerini belirlemektir. Bu amaçla ülke içi ve dışından 37 adet farklı kömür örneği kullanılmıştır. Ölçümler için bir deney seti oluşturulmuştur. Ölçümlerden direnç ve kapasite değerlerinin basınca bağlı olarak değişimleri belirlenmiştir. Bu değişimden faydalanarak her bir örnek kömürü temsil edecek medyan değerler elde edilmiştir. Medyan değerler ile kömürün tane boyutu arasındaki ilişkisi de ayrıca araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Kömür, Direnç, Kapasite

ABSTRACT

In this study, resistance and capacity properties of the coal are investigated. The aim of this study is to determine resistance and capacity values of Turkish coal samples. For this purpose 37 coal samples taken from Turkey and abroad, were used. For testing purposes an experimental set-up was settled. The resistance and capacity variations with the pressure were determined. The median values that represent each coal sample are obtained. The relationship between the particle size and median values are also examined.

Keywords: Coal, Resistance, Capacity

ⁿ Dr., Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı.Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, servildirim@selcuk.edu.tr

^{r)} Prof. Dr., SDÜ, Müh-Mim.Fak., Maden Müh. Böl., Kampus, İsparta

1. GİRİŞ

Kömürün elektriksel özelliklerinden, dielektrik katsayısı ve elektrik iletkenliği, kömür işletmeciliğinde, kömür temizleme işlemlerinde, proliz ve koklaştırma işlemlerinde önem taşımaktadır (Pişkin, 1988; Arıkol ve Özdoğan, 1994). Ancak bu çalışma; kömür işletmeciliğinde önemli bir problem olan kendiliğinden yanmaya yöneliktir. Bir sonraki aşamada amaç, kömürün direnci ve kapasitesi ile kendiliğinden yanma arasındaki ilişkiyi araştırmaktır.

Kömür yarı iletken bir malzeme olarak nitelenebilir. Antrasit 1×10^4 ohm cm özgül direnci ile tam bir yalıtkan olarak davranırken, bitümlü kömürlerde bu değer 10^5 - 10^{12} ohm cm'dir. Altbitümlü kömürler de yarı iletken gibi davranırlar. Kömürleşmeye bağlı olarak direnç değerleri Çizelge 1'de verilmektedir (Berkowitz, 1985; Arıkol ve Özdoğan, 1994).

Kömürleşme derecesi arttıkça, yani uçucu madde oranı azaldıkça, özellikle %87 (daf) C oranından sonra iletkenliğin arttığı belirlenmiştir (Pişkin, 1988). Buna karşın en yüksek direnç değerinin %80-92 (daf) C içeren kömürlerde gözlemlendiğini ortaya koyan çalışmalar bulunmaktadır (Berkowitz, 1985; Arıkol ve Özdoğan, 1994). Uçucu maddenin elektriksel

özellikler üzerindeki etkisi tam olarak açıklanamamıştır. İlişki özelliği taşımayan bazı veriler uçucu madde artışı ile direnç değerinde hafif bir azalma olduğunu ortaya koymaktadır (Tschamler ve De Ruyter, 1963; Arıkol ve Özdoğan, 1994). Mineral madde içeriği de elektriksel özellikleri etkilemektedir (Dindi ve ark., 1989; Arıkol ve Özdoğan, 1994). Basınç ise, 9,9 MPa'nın üzerinde elektriksel özellikleri etkilerken, tane boyutu da benzer bir etki göstermektedir (McCabe ve Boley, 1945; Arıkol ve Özdoğan 1994).

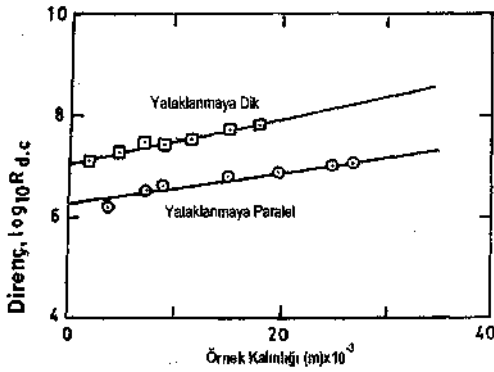
Özdirenç, jeolojik süreçlerden alterasyon, çözülme, kırılma, tuz çözeltileri girişi ile azalmakta, karbonatlaşma, silisleşme ile yükselmekte, başkalaşım ise hem azaltmakta hem de artırmaktadır (Word 1990; Schön, 1996). Dielektrik katsayısı, kömürleşme derecesine güçlütce bağımlıdır. % 88 C içeren kuru bitümlü kömürde minimum dielektrik sabiti 3,5 olarak gözlenmiştir. Dielektrik sabiti, %92 C'lu antrasitte ve %70 C'lu linyitte yaklaşık 5 değerini almaktadır (Speight, 1983; Arıkol ve Özdoğan, 1994).

Bütün elektriksel özellikler, nem içeriğine sıkıca bağlıdır. Suyun dielektrik sabiti yaklaşık 81 ve direnci yaklaşık 10^6 ohm cm'dir. Dielektrik sabiti kömürdeki su miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

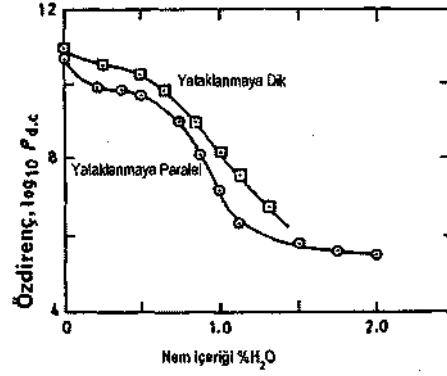
Çizelge 1. Çeşitli Kömürlerin Özgül Direnç Değerleri, (Berkowitz, 1985; Speight, 1983)

Kömür	Konum	Direnç (ohm cm)	Elektron Uyarma Enerjisi (eV)
Antrasit			
Kuru	(//)	$7-90 \times 10^3$	
Kuru'	(^)	$17-34 \times 10^3$	
94,2%(daf)	(//)	$4,97 \times 10^4$	0,34
	(^)	$6,09 \times 10^4$	
95,0%(daf)	{İD	$0,70 \times 10^3$	0,27
	(^)	$0,71 \times 10^3$	
96,0%(daf)	{İD	3,73	0,17
	(^)	6,43	
Bitümlü			
Kuru	{İD	$0,004-360 \times 10^8$	
Kuru	(^)	$3,1-530 \times 10^8$	
Kahverengi kömür			
Kuru		$10^{10} \times 10^{13}$	
20-25%H ₂ O		10^4	
(//) Tabakalanma düzlemine paralel			daf:Kuru Mineral Maddesiz
(^) Tabakalanma düzlemine dik			

Su miktarının artışı ile elektriksel iletim ve dielektrik sabiti artmaktadır. Ayrıca mineral madde içeriğinin artışı, dielektrik sabitinin artmasına neden olmaktadır (Van Krevelen, 1961; Arıkol ve Özdoğan, 1994). Tiwary ve Mukhdeo, (1993), Hindistan Harijam kömürü üzerinde yapmış oldukları çalışmada direnç ve öz direncin, örnek kalınlığı ve nem içeriği ile değişimlerini Şekil 1 ve Şekil 2'deki gibi elde etmişlerdir. Öz direnç, kömürün %0,6'dan fazla nem içermesi durumunda anlamlı olarak etkilenmektedir. Gökay ve Özkan (2000), su içeriğinin kayalarda da elektriksel dirençte azalmaya neden olduğunu, bu azalmanın ağırlıkça %0,5'den fazla nem içeriğinden sonra, pek fazla etkili olmadığını belirlemişlerdir.



Şekil 1. Direncin, örnek kalınlığı ile değişimi (Tiwary ve Mukhdeo, 1993)



Şekil 2. Öz direncin, nem içeriği ile değişimi (Tiwary ve Mukhdeo, 1993)

2. MALZEME VE YÖNTEM

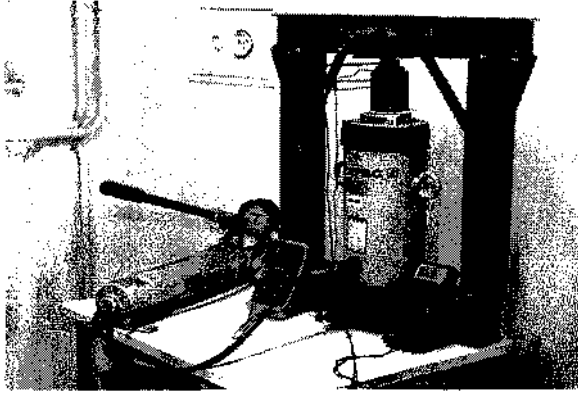
Bu çalışmada, Türkiye'nin farklı havzalarından ve ayrıca yurtdışından elde edilen kömür örnekleri kullanılmıştır. Ömeklem kütlesi Çizelge 2'de verilmektedir. Ömeklem kütlesini oluşturan 37 kömür örneği, kırma, öğütme ve eleme ile yedi farklı tane boyutuna sınıflandırılmıştır.

Kömürlerin elektriksel direnç ve kapasite ölçümleri için bir deney seti oluşturulmuştur. Deney seti standart düzenek şeklindedir.

Çizelge 2. Ömeklem Kütlesi

Örnek No	Örnek	Örnek No	Örnek
1	Ermenek/Karaman	20	Sorgun/Yozgat
2	Aydın	21	Soma/Manisa
3	Oltu/Erzurum	22	İstanbul
4	Oltu/Erzurum	23	Sibirya/B.D.T.
5	Zonguldak	24	B.D.T.
6	Soma/Manisa	25	Soma/Manisa
7	Oltu/Erzurum	26	İstanbul
8	Ermenek/Karaman	27	Eyüp/İstanbul
9	Soma/Manisa	28	Eyüp/İstanbul
10	Beypazarı/Ankara	29	İstanbul
11	İthal	30	G.O.P./İstanbul
12	İskenderun	31	Malkara/Tekirdağ
13	Ermenek/Karaman	32	Malkara/Tekirdağ
14	İlgın/Konya	33	GO.P./İstanbul
15	Elbistan/Kahramanmaraş	34	Eyüp/İstanbul
16	Beyşehir/Konya	35	Soma/Manisa
17	Beypazarı/Ankara	36	Eyüp/İstanbul
18	Göynük/Bolu	37	Şırnak
19	Tunçbilek/Kütahya		

Bu deney seti genel olarak; 1 gr kömür tozunun yerleştirildiği hücre, sıkıştırma pistonu, göstergesi ve hücreye bağlı iki adet multimetreden oluşmaktadır. Söz konusu deney seti Şekil 3'de verilmektedir (Yıldırım, 2002).



Şekil 3. Direnç ve kapasite ölçüm seti

Her bir örnek için direnç ve kapasite ölçümleri, yedi ayrı tane boyutunda gerçekleştirilmiştir. Her bir tane boyutunun ise artan basınç altında direnç ve kapasite ölçümleri yapılarak söz konusu özelliklerin gelişimi belirlenmiştir.

Kömürün basınç dayanımı 1,98-99 MPa, çekme dayanımı ise 0,39-4,95 MPa arasında değişmektedir (Eskikaya, 1988). Deneylerin basınç altında gerçekleştirilme nedeni kömürün yerinde bir basınç altında oluşu ve kırılmanın ise çekme dayanımının aşılmasına dayanmasındandır. Deneylerde ulaşılan son basınç, kırılma oluşturacak çekme gerilmesine yakın değerdedir.

Kapasite ve direnç ölçümü 1 gr kömürtozu ile gerçekleştirilmektedir. Hücre içine 1 gr kömürtozunun yerleştirilmesinden sonra hücre, sıkıştırma pistonuna yerleştirilmektedir. Hücrenin iç yanal yüzeylerinin elektriksel olarak yalıtılması amacıyla, hücre içi fiber ile kaplanmıştır. Bu durum, ölçümler esnasında elektrik akımının kömür üzerinden geçmesini sağlamaktadır. Kömürtozu içeren hücre, sıkıştırma pistonu ile çerçevesi arasına yerleştirilmekte ve sıkıştırma pistonuna uygulanan kuvvet ile hücre, piston ve çerçeve arasında sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırma ile elde edilen basınç bir göstergeden kontrol edilmektedir. Her 10 bar basınç artışında sette bulunan iki multimetre ile söz konusu basınç altındaki elektriksel direnç ve kapasite değerleri okunmaktadır. Bu esnada uygulanan kuvvetten dolayı hücre içindeki kömürtozu düşey olarak sıkıştırılmakta ve ulaşılan kalınlık kumpas

yardımıyla ölçülmektedir. Sıkıştırılmış kömürün kalınlığı, hücre dış yanal yüzeyine ve hücre pistonuna dik olarak monte edilmiş iki adet sabit çubuk yardımıyla kumpas ile ölçülmektedir. Bu ölçüm, hücre (alt) sabit çubuğun yanal yüzeyden 6 cm uzaktaki konumunda gerçekleştirilmektedir.

Deney setinden elde edilen kapasite değerleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla dielektrik katsayısına dönüştürülmektedir (Atalay, 1985; Çetin, 1993).

$$C = \frac{\epsilon_r \epsilon_0 A}{d}$$

Burada;

C: Kondansatörün sığası (F),

ϵ_r : Yalıtkanlık relatif dielektrik katsayısı,

ϵ_0 : Vakumun dielektrik katsayısı: $8,857 \times 10^{-12}$ F/m

d: Levhalar arası uzaklık (m),

A: Levha alanı (m^2), $70^* = 3,3257 \times 10^{-4} m^2$ 'dir.

Relatif Dielektrik katsayısı yukarıdaki eşitlik gereğince;

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot d}{\epsilon_0 \cdot A} \quad \langle 2 \rangle$$

olur.

Ancak eşitlikteki kapasite değeri; kömürtozu ve hücrenin kapasite değerlerinin toplamıdır. Hücre kapasite değeri boş ölçümlerde 0 olarak belirlenmiştir. Bu durumda Eşitlik 3'de verilen relatif dielektrik katsayısı sadeleştirildiğinde Eşitlik 4 elde edilmektedir (Atalay, 1985; Çetin, 1993).

$$\epsilon_r = \frac{C \cdot 10^{-12} \cdot H \cdot 1(T^3)}{8,85710^{-12} \cdot 3,325710^{-4}} \quad \text{TM}$$

$$\epsilon_r = \frac{C}{2,9455} \quad (4)$$

Deney setinde elde edilen elektriksel direnç değerleri kullanılarak, aşağıdaki eşitlikler yardımıyla öz direnç değerleri elde edilmektedir.

$$R = \frac{P}{s} \quad (5)$$

Burada ;

Burada ;

R: Direnç (Q)

p : Ozdirenç (Q. m)

(. : boy (m)

s: Kesit (m²)

r: Hücre içi yarıçapı 10,2915 mm

S: 711[^]=3,3257x10^{^4} m²'dir.

Ozdirenç ise yukarıdaki eşitlik gereğince;

$$P = - \wedge \text{'dir} \quad (6)$$

Ancak Eşitlik 5 ve 6'da belirtilen R kömürtozunun değeri olmalıdır. Deneyler esnasında elde edilen R değeri; kömürtozu ile hücre direncinin toplamıdır (R_r). Bu nedenle sadece boş hücre direnç değeri ölçülmüş ve R_n değeri 2,5 Q olarak belirlenmiştir. Kömürün direncinin megaohm derecesinde olması nedeni ile hücre boş direnci ihmal edilebilecek kadar küçüktür. Bu durumda Eşitlik 6'da verilen ozdirenç eşitliği;

$$\frac{(RT-RJ.3.-3257.10^{-4})}{H.10^{-3}} \quad ,$$
$$\frac{(R_r-2.5).3.3257.10^{-4}}{H.10^{-3}} \quad (a)$$
$$P = \frac{R T - \circ - 33257}{H} \quad (9)$$

şeklinde yeniden ifade edilebilir.Burada;
H: Kömürtozu kalınlığı (mm)'dir.

Elektriksel direnç ve kapasite ölçümlerine ilişkin tipik bir örnek Ermenek linyit kömürleri için Çizelge 3'de verilmektedir. Bu verilere bağlı olarak ise elde edilen basınç ile kapasite-direnç değişimleri de Şekil 4'de sunulmaktadır.

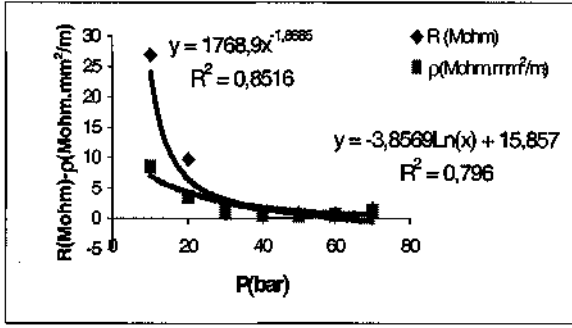
3. BULGULAR

Ömeklem kütesini oluşturan 37 kömür örneği malzeme ve yöntem bölümünde belirtildiği üzere; kırma, öğütme ve eleme ile yedi farklı tane boyutuna sınıflandırılmıştır. Her bir sınıfın direnç, kapasite, ozdirenç ve dielektrik değerleri ölçülmüştür. Söz konusu bu değerlerin basınç ve birbirleri ile olan ilişkileri istatistiksel olarak incelenmiştir. Burada sunulan her bir tane boyutuna ait direnç, kapasite, ozdirenç ve dielektrik katsayısı eğrilerinde, 40 bar basınca karşılık gelen direnç ve kapasite değerlerinin medyan değer olması, ayrıca eğrilerdeki asimlot davranışın başlangıç noktası olduğu açıkça gözlenmektedir (Şekil 4a-b). Bu nedenle ömeklem kütesinde her bir kömürün eğrisini sayısal olarak tanımlayan değer 40 bar basınca karşılık gelen değer olarak kabul edilmiştir. Bu seçimde, kömürtozunun minimum patlama konsantrasyonunun belirlenmesinde kullanılan Hertzberg ve Lee kriterleri etkin olmuştur ve seçim, yöntem açısından benzerdir (Mintz,1990 ;Saraç ve Yıldırım, 1998).

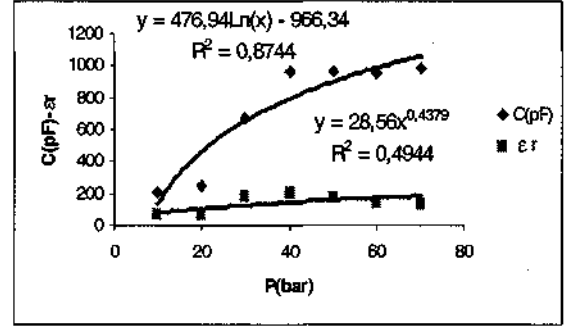
Yukarıda belirtilen yöntemle, her örnek kömüre ait yedi fraksiyonun medyan tane boyutu, direnç kapasite, ozdirenç, relatif dielektrik katsayıları belirlenmiştir. Bu çalışmada tipik bir örnek olarak verilen 1 nolu örnek kömürün, yedi ayrı tane boyutlu fraksiyonlarından elde edilen medyan değerler Çizelge 4'de verilmektedir. Medyan tane boyutu ile ortalama medyan direnç, kapasite ve bağlı değişkenlerin değişimi ise Şekil 5'de sunulmaktadır. Medyan tane boyutu, medyan direnç, kapasite ve bağlı değişken serilerinin aritmetik ortalaması ile her bir örnek kömürün ortalama medyan direnç, kapasite ve bağlı parametreleri elde edilmiştir. Bu değerler her bir kömürü elektriksel olarak karakterize etmesi açısından anlam taşımaktadır. Ortalama medyan değerler Çizelge 5'de verilmektedir.

Çizelge 3. Basınca bağlı olarak direnç, kapasite, ozdirenç ve dielektrik katsayılarının değişim değerleri (Polat Madencilik A.Ş.-Ermenek Kömürü;-38 \xm).

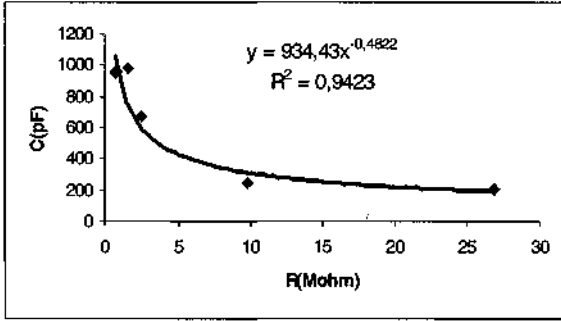
P (bar)	H (mm)	R (MQ)	C (pF)	p (Mohm.mnVVm)	E _r
10	1,05	26,85	207	8,5043	73,7905
20	0,90	9,80	246	3,6213	75,1655
30	0,80	2,50	673	1,0393	182,7873
40	0,65	0,880	960	0,4502	211,8486
50	0,55	0,782	967	0,4729	180,5636
60	0,45	0,777	949	0,5742	144,9839
70	0,40	1,550	987	1,2887	134,0350



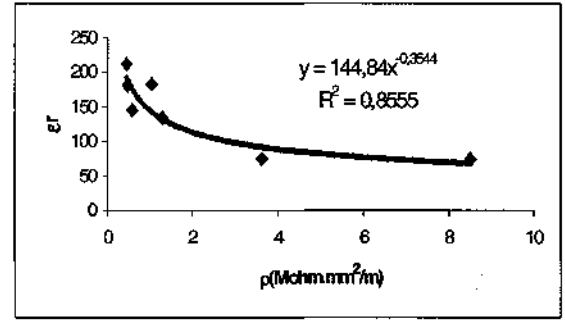
a) 1



b)2



c)3

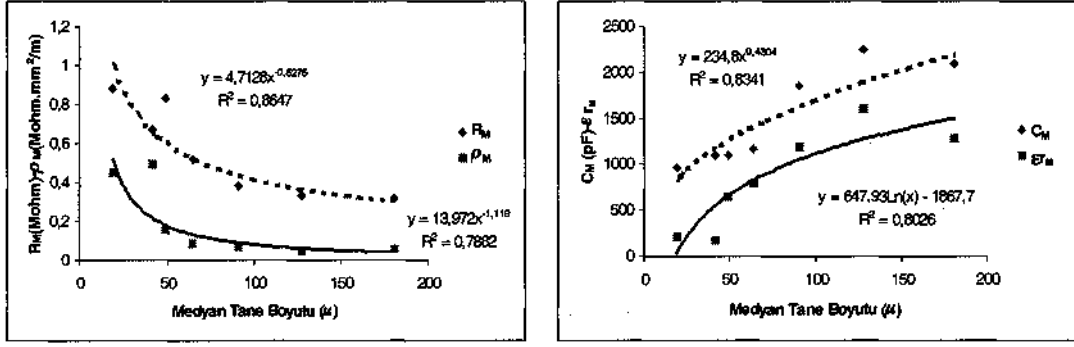


d)4

Şekil 4. Ermenek linyit kömürüne ait basınç ile kapasite-direnç ve bağlı diğer parametrelerin değişimi a- Basınç(P) ile direnç(R) ve öz direnç(ρ) değişimi b- Basınç(P) ile kapasite(C) ve dielektrik katsayısının (εr) değişimi c-Direnç(R) ile kapasite (C) değişimi d-Öz direnç (ρ) ile dielektrik katsayısı (εr) değişimi

Çizelge 4. Ermenek Linyit Kömürü (Örnek 1) İçin Elde Edilen Medyan Direnç, Kapasite ve Bağlı Diğer Parametrelerin Tane Boyutuna Göre Değişimi

Tane Boyutu M	Medyan Tane Boyutu (H)	P>M (MQ)	CM (PF)	PM (Qmm ² /m)	εrM
-38	19,0	0,880	960	0,4500	211,8460
-45+38	41,5	0,666	1096	0,4920	167,4410
-53+45	49,0	0,830	1100	0,1570	653,5390
-75+53	64,0	0,520	1160	0,0860	787,6420
-106+75	90,5	0,380	1850	0,0665	1193,3458
-150+106	128,0	0,330	2250	0,0523	1604,1419
-212+150	181,0	0,320	2090	0,0591	1277,2025
Ortalama		0,560	1500	0,1947	842,1657



Şekil 5. Ermenek linyit kömürüne ait medyan direnç(Rm), kapasite (Cm) ve bağlı parametrelerin, medyan tane boyutuna bağlı olarak değişimi

Çizelge 5. Örnek Kömürlerin Ortalama Medyan Değerleri

Örnek No	ROM (MQ)	COM (PF)	pOM (Qmm2 / m)	erOM
1	0.560	1500.857	0.1940	842.165
2	0.694	4575.429	0.1610	2769,367
3	0,044	1282, .140	0.0100	6873,924
4	0.891	1198.286	0.1750	679,950
5	1073,857	158,000	208,681	91,643
6	7.744	2008,857	1.4970	1166,203
7	2.851	702,285	6,3510	322.101
8	0,114	10282.14	0,0200	6692.133
9	0.759	4666.857	0,1310	2917,482
10	0.054	179444,300	0,0110	105701,300
11	5,036	328,285	0,8010	228.535
12	5,910	415,428	1,0290	280.260
13	2.938	790,571	0.4350	547,821
14	2.706	508.382	0.4840	381.254
15	3,270	524,571	0.5690	328.231
16	7.800	226,000	1.3310	152.690
17	1,704	1595,571	0,3170	985,838
18	3,578	1971,429	0,6100	1284.609
19	9,394	631,571	1,7160	385,253
20	2,133	7792,857	0,3880	4854,514
21	2,029	5628,571	0,3510	3791.726
22	0,763	48057,140	0.1280	32017.070
23	5.457	432.714	0.9040	299.499
24	2,428	922.857	0,4050	621,705
25	0,031	103042.900	0.0060	60933.430
26	0,006	88870,000	0,0010	63476,100
27	0,002	218457,100	0,0005	122916,4
28	0,081	29693.390	0,0140	18731.820
29	0.004	290714.300	0,0009	143926,100
30	0.014	122442.900	0,0040	59864.200
31	0.006	249000.000	0,0010	103729.200
32	0.001	180842,900	0,0004	87132.330
33	0,019	37485,710	0,0040	16083,030
34	0.010	62100,000	0,0020	27110,120
35	0,024	78985.710	0,0060	34955,500
36	0.368	4017.143	0,0730	2128.787
37	208.857	186.857	44.793	103.903

Rom:Ortalama medyan direnç, Com: Ortalama medyan kapasite, pom: Ortalama medyan öz direnç,erom: Ortalama relative dielektrik katsayısı

4. SONUÇ

Kömürün direnç ve kapasite değerleri, bazı kömür kullanım ve kömür temizleme işlemleri ile ölçümlerde kullanılmaktadır.

Ölçümler, kömürün medyan tane boyutunun artışının elektriksel dirençte, özdirençte, kapasitede ve dielektrik katsayısında azalmaya deden olduğunu göstermektedir.

Örneklerin ortalama medyan dirençleri 0,001-9,394 MQ, ortalama medyan özdirençleri 0,0004-1,716 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ arasında değişmektedir.

Ortalama medyan kapasite 328,285-290714,300 pF arasında, ortalama relative dielektrik katsayısıda 228,535-143926,100 arasında değer almaktadır.

KAYNAKLAR

Arıkol M. ve Özdoğan S.,1994; Physical properties of coal.Coal,Kural O. (éd.), 83-85

Atalay T., 1985; Madenciler İçin Elektroteknik, H.Ü.,Zonguldak Mühendislik Fakültesi Yayını.

Çetin R., 1993; Malzeme Bilgisi-I, S.Ü. Müh.-Mim. Fak., Makina Mühendisliği Yayını.

Eskikaya Ş.,1998; Kömürün Mekanik Özellikleri ve Dayanımı.Kömür.Kural O.,(éd.),101

Gökay M. K. ve Özkan İ., 2000; Su İçeriğinin Kayaçların Dayanımı ve Elektriksel İletkenliğine Etkisi, V. Ulusal Kaya Mekaniği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 145-151.

Pişkin S.,1988; Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri,Kömür,Kural O(ed.), 68

Saraç S.M. ve Yıldırım O.S., 1998; Kömürtozu Patlamaları, Osman Gazi Üniversitesi, Tekam Yayınları, TN98-001-SY.

Schön H. J., 1996; Physical Properties of Rocks: Fundamentals and Principles of Petrophysics, 379-478.

Tiwary N. S. and Mukhdeo, 1993; Measurement of Electrical Resistivity of Coal Samples, Fuel, 72, (8), 1099-1102.

Yıldırım, O.S., 2002; Kömürde Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığın, Elektriksel, Renksel ve Termogravimetrik Açından Modelienmesi, SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.