

# KÖMÜR DAMARLARININ YERİNDE METAN BASINCI VE GEÇİRGENLİĞİNİN BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ

İ. Göktay EDİZ(\*)  
Şevket DURUCAN(\*\*)

## ÖZET

*Son yıllarda artan hammadde gereksinimi ve yüzeye yakın madenlerin tüketilmesi, özellikle kömür madenciliğinde daha derinlere inme've daha fazla ilerleme hızıyla, fazla üretim yapma (mekanizasyona giderek) zorunluluğunu ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle de metan emisyon oranında artışlar olmuştur.*

*Çalışılan damarın veya civar kayaçların geçirgenlik özelliklerinin ve gaz basınçlarının bilinmesi, bunların gaz iletme kabiliyetlerinin ve kapasitelerinin belirlenmesinde önemlidir. Bunun bilinmesi metan emisyonu tahmini ile, havalandırma koşullarının düzenlenmesi ve drenaj olayının tasarımında baz oluşturacaktır.*

*Bu tebliğde akışkanların gözenekli ortamdaki akış teorilerine değinilmiş, yerinde geçirgenlik ve gaz basıncının belirlenmesi yöntemleri anlatılmıştır. Yerinde uygulanan bu yöntemler laboratuvarında modellenerek Zonguldak havzası Acılık ve Çay kömürlerinin geçirgenlikleri belirlenmiş ve sonuçlar özetlenmiştir.*

## ABSTRACT

*Recently, increasing demand for raw materials and depletion of ore deposits near surface have resulted in working deeper deposits and increasing the output with higher rates of advance (by means of mechanisation). Consequently, there has been a considerable increase in methane emission.*

*The permeability and methane pressure of coal seams and surrounding strata are important in determining the methane capacity and ability of strata to transmit gas. These will be the base for evaluating methane drainage process and ventilation requirements.*

*This paper introduces the mechanism of fluid flow through porous media and methods of determining permeability and methane pressure in-situ. Laboratory simulation of such methods and permeability results for Acılık and Çay coal samples obtained by laboratory measurements are summarized.*

(\*) Arş. Gör., A.D.MMF Maden BL, ESKİŞEHİR

(\*\*) Dr. öğretim Görevlisi, ODTÜ Maden Müh. BL, ANKARA

(Yeni adresi. Department of Mining Eng., University of Nottingham, UK)

## 1. GİRİŞ

Gözenekli bir maddenin geçirgenliğinin yerinde ölçülen değeri ile, laboratuvar ortamında ölçülen değeri arasında önemli farklar vardır. Laboratuvar örneği herhangi bir süreksizlik türü içermediğinden, ölçülen geçirgenlik değeri gerçek veya yerindeki değerinden çok küçüktür. Ayrıca bir çok durumda, geçirgenliği belirlenecek ortamı temsil eden bir örnek elde edilemeyebilir. Buna ek olarak, kayaçlarda, özellikle sedimenter nitelikli kayaçlarda geçirgenlik, yöne bağımlılık gösterir. Örneğin kömürlerde, tabakalanma düzlemine paralel ve dik doğrultularda geçirgenlik özelliklerinde büyük farklar vardır (1). Bütün bu nedenlerden ötürü geçirgenliğin yerinde ölçülmesi arzulanır.

Bir kömür damarının metan basıncının bilinmesi ile indirekt yöntemle (2), damarın metan içeriği bulunabilir. Bunun için o kömür damarı için hazırlanmış "adsorbsiyon izotermi" kullanılır. Eğer kömür damarının metan basıncını biliyorsak bu izotermilerden metan içeriği bulunur.

## 2. GÖZENEKLİ BİR ORTAMDA GAZLARIN AKIŞ TEORİSİ

Geçirgenlik, uygulanan bir basınç gradyeni altında gözenekli ortamın akışkan akışına karşı gösterdiği direnci karakterize eder. Yani, geçirgenlik gözenekli ortamın akışkan iletkenliğidir ve birbiriyle ilişkili gözeneklerinin bir fonksiyonudur (3) Gözenekli malzemelerin akışkan iletkenliklerini karakterize eden parametreler ilk defa 1856 yılında Darcy tarafından belirlenmiştir (4). Bu nedenle geçirgenliği ölçülebilir değerlerle belirleyen eşitlik "Darcy Yasası" olarak bilinir. Bu yasa, akışkanın gözenekli bir yatak içinden doğrusal olarak geçirilmesinden çıkarılmış ampirik bir ilişkidir. Darcy basit olarak gözenekli bir ortamda akan bir akışkanın görünen hızının uygulanan basınç gradyanıyla ( $dp/dx$ ) doğru, akışkanın viskozitesi ile ters orantılı olarak değiştiğini göstermiş ve gözenekli ortamın geçirgenlik özelliğini ifade eden bir orantılılık sabiti,  $k$ , koymuştur (4).

$$v = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dx} \quad [1]$$

Eğer görünen hız,  $v$ , yerine eşiti olan  $Q/A$  yazarsak ve entegre edersek Darcy'nin hacimsel debi olarak eşitliğini elde ederiz.

$$Q = \frac{k \cdot A}{\mu} \cdot \frac{\Delta P}{L} \quad [2]$$

Burada;

- Q** : hacimsel debi, m<sup>3</sup>/s,  
**A** : kesit alan, m<sup>2</sup>,  
**ΔP**: basınç farkı, N/m<sup>2</sup>,  
**L** : örnek ortamın uzunluğu, m,  
**k** : geçirgenlik, m<sup>2</sup> dir.

(2) eşitliği yalnızca sıkışmaz akışkanlar (sıvılar) için ve laminar viskoz akış durumunda kullanılabilir. Sıkışabilir akışkanlar (gazlar) içinse, hacimsel debi basınçla değiştiğinden, eşitlik kütleli debi olarak alınmalıdır. Eğer kütleli debi, G ve yoğunluklar d<sub>1</sub> ve d<sub>2</sub> ise,

$$G = \text{Sabit} = Q_1 \cdot d_1 = Q_2 \cdot d_2$$

Q debisinin ortalama basınçta ölçülen hacimsel debi olarak alınması ve bu ortalama basıncın oldukça yüksek olması ön şartı ile (2) eşitliği Laminer akış durumunda gazlar için de uygulanır (3).  $(P_1 + P_2)/2$  ortalama basınçtaki debi  $\bar{Q}$  olsun. P<sub>2</sub> basınçındaki debi Q<sub>2</sub> ise izotermal şartlarda ideal gaz kanunundan yararlanarak,

$$\bar{Q}_2 \cdot P_2 = Q \cdot \frac{(P_1 + P_2)}{2} \quad [3]$$

Böylece ideal gazlar için Darcy yasası,

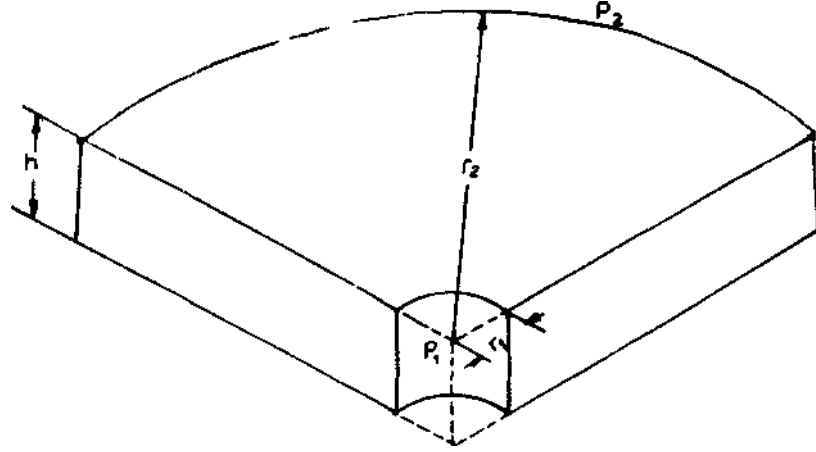
$$Q_2 \cdot P_2 = \frac{k \cdot A}{\mu \cdot L} \left[ \frac{P_1^2 - P_2^2}{2} + \frac{(P_1 + P_2)^2}{2} \cdot \frac{M}{R \cdot T} g \cdot L \right] \quad [4]$$

Şeklini alır (3). Gazlar için gravite etkisi ihmal edilir ve eşitlik basitleştirilirse Darcy'nin gazlar için hacimsel debi bağıntısı bulunur.

$$Q_2 = \frac{k \cdot A}{\mu \cdot L} \cdot \frac{\bar{P}}{P_2} \cdot \frac{\Delta P}{2} \quad [5]$$

Burada,  $\Delta P = P_1 - P_2$  ve  $\bar{P} = (P_1 + P_2)/2$  dir.

Yerinde ölçmelerde, drenaj delikleri çevresindeki akışın radyal şekilde olması nedeniyle, Şekil 1, gazların radyal akışı ile ilgili eşitliği kullanılmaktadır. Darcy'nin radyal akış durumunda gazlar için kullanılan eşitliği aşağıdaki gibidir (5);



Şekil 1. Drenaj deliklerine radyal akış geometrisi ve kullanılan parametreler.

$$Q = \frac{0.703 \cdot k \cdot h \cdot (P_2^2 - P_1^2)}{\mu \cdot T \cdot z \cdot \ln(r_2/r_1)} \quad [6]$$

Eşitlik SI birim sisteminde yazıldığında,

$$Q = \frac{16.10^{-3} \cdot k \cdot h \cdot (P_2^2 - P_1^2)}{\mu \cdot T \cdot z \cdot \ln(r_2/r_1)} \quad [7]$$

Şeklini alır, burada;

- Q** : hacimsel debi, m<sup>3</sup>/s,
- k** : geçirgenlik, m<sup>2</sup>,
- h** : formasyon kalınlığı, m,
- P<sub>2</sub>** : r<sub>2</sub> deki basınç, N/m<sup>2</sup>,
- P<sub>1</sub>** : r<sub>1</sub> daki basınç, N/m<sup>2</sup>,
- μ** : akışkanın vizkozitesi, Ns/m<sup>2</sup>,
- T** : formasyon sıcaklığı, °R,
- z** : gazın sıkışabilirliği, m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>/N/m<sup>2</sup>,
- r<sub>2</sub>** : dış yarıçap, m,
- r<sub>1</sub>** : boru yarıçapı, m dirlir.

### 3. YERİNDE GEÇİRGENLİK VE GAZ BASINCI BELİRLENMESİ YÖNTEMLERİ

#### 3.1. Yöntemlerin Uygulanmasındaki Genel Kabuller

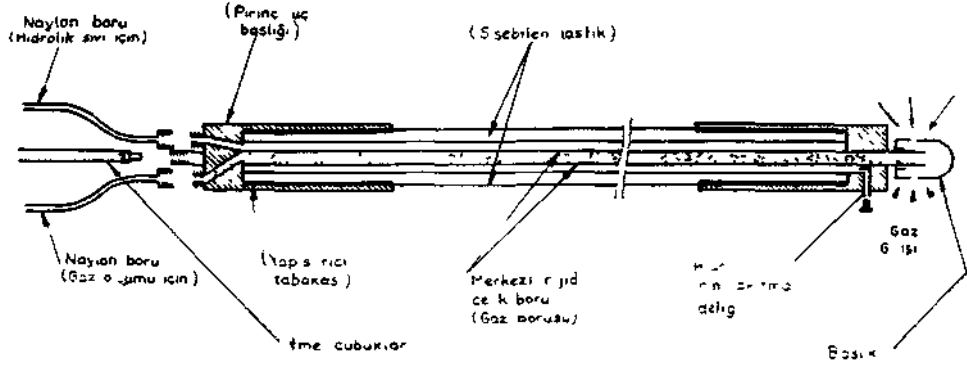
Yerinde geçirgenlik ve gaz basıncı belirleme yöntemleri için genel kabuller şöyledir (6);

- Akış Darcy yasasına uyup, yalnızca tek fazla akış söz konusudur, örneğin yalnızca gaz.
- Gaz üreten tabaka sabit kalınlıkta ve homojen yapıdadır. Bunun anlamı, geçirgenlik değeri belirlenmeye çalışılan formasyon ölçülecek zon boyunca değişmeyen özelliklere sahip olmalıdır.
- Düşünülen, basınç ve sıcaklık değerleri boyunca gazın sıkışabilirliği (compressibility), yoğunluğu ve viskozitesi sabit kalmalıdır.
- Drenaj borusuna doğru olan akışın geometrisi radyal biçimdedir.
- Kararlı akış koşulları mevcuttur.
- Gaz kaynağı sonsuzdur. Hernekadar, bu kaynak için bir limit olduğu kesin ise de, üretilen gaz miktarı, formasyonun içerdiği gaz miktarı ile karşılaştırıldığında çok küçük ise, bu kaynak sonsuzmuş gibi düşünülebilir.

#### 3.2. Yerinde Gaz Basıncı ve Geçirgenlik Ölçme Amacı ile Açılmış, Drenaj Deliklerinin Sıkılanması

Gerek gaz basıncı, gerekse geçirgenlik ölçmeleri için, ölçmenin yapılacağı formasyonda açılan drenaj deliklerinin yeterli ölçüde sıkılanması gerekir. Bu amaç için geliştirilmiş bir sıkılama birimi şekil 2'de verilmiştir (7). Şekilden de görüldüğü gibi, 1 m uzunluğunda, 63 mm dış çapında lastik bir kılıf (hortum) deliğin sıkılanmasını sağlamaktadır. Bu lastik kısım hidrolik basıncı ile 65 mm çapındaki deliğin duvarına doğru genişler. Drenaj deliklerinin sıkılanmasında ana birim, lastik kısmın uçlarını sıkılayan ve merkezi çelik boruya rijid olarak tutturulmuş 2 adet pirinç uç başlıklarından oluşur. Çelik borunun etrafını saran lastik kılıf ise her bir uç başlığına Araldite D, denen kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Merkezi çelik boru da, ölçüm yapılacak bölgeyle bağlantıyı sağlar. Drenaj deliği sıkılama birimleri delik içine itme çubukları yardımıyla sokulur. Bu çubukların her birinin boyları 1.5 m olup, birbirlerine vidalı uç elemanları ile bağlanırlar. Uygulamada, düzgün bir delikte 18 m den fazla derine itmek mümkün olmaktadır. Sıkılama biriminin giriş ucunda iki tane

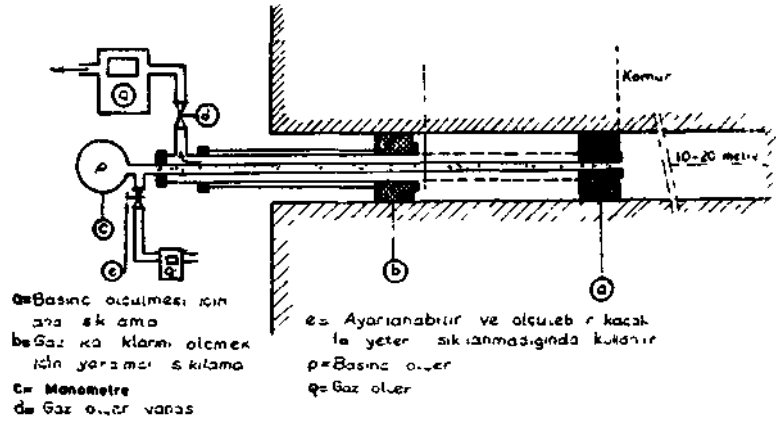
bağlantı vardır. Bunlardan birisi hidrolik akışkan girişi için, diğeri ise izole edilmiş formasyon ile ilişkili olup, gaz çıkışı içindir. Küçük ve etle kullanılabilen hidrolik bir pompa, sıkılama biriminin şişirilmesinde kullanılır. Hidrolik devredeki hava küçük bir delik yardımıyla sıkılama itilmeden önce atılır. Basınç hattı bir vana ve manometre yardımıyla ayarlanır ve değerlendirilir.



Şekil 2. Bir drenaj deliğinin sıkılanması detayı.

### 3.3. Damar Gaz Basıncının Belirlenmesi

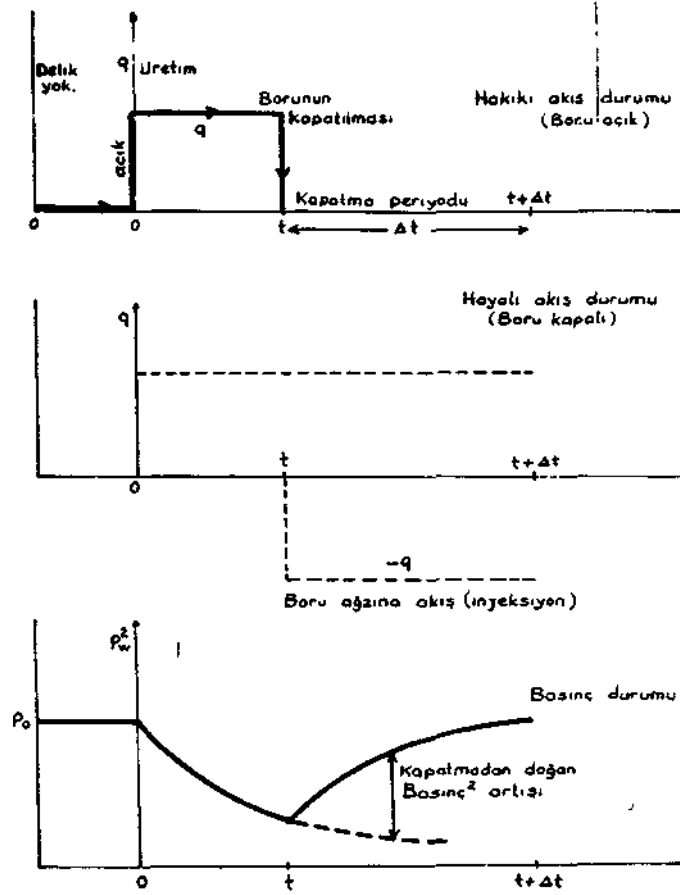
Şekil 3'de görülen düzende hazırlanmış drenaj borusunda gerekli sıkılama işlemi yapıldıktan sonra borudan bir süre gaz üretimi yapılır, daha sonra boru ağzına yerleştirilmiş bir vana yardımıyla kapatılır. Drenaj borusunun damar içindeki ağzına doğru, gaz basıncı ölçülecek kısımdan olan injeksiyondan ötürü burada basınç artar. Bu basınç artışı, boru ağzına yerleştirilmiş olan bir manometre yardımıyla belirlenir. Drenaj deliğinde gaz basıncının dengelenmiş değeri bize tabaka içindeki metan basıncını verir. Şekil 3'deki sistemde kullanılan iki ayrı sıkılama birimi yardımı ile, varsa, gaz kaçaqları belirlenebilmektedir (8).



Şekil 3. Gaz basıncı ve gaz kaçaqlarının belirlenmesi.

### 3.4. Gaz Geçirgenliğinin Belirlenmesi

Kömür damarlarının yerinde gaz geçirgenlikleri "Basınç Yükselme Testleri" (Pressure Build-Up) ile belirlenmektedir. Bir Basınç Yükselme Testinde, geçirgenliği belirlenecek olan formasyona kadar delik delinir ve drenaj borusunda o bölgenin sıkılması yapılır. Boru belli bir  $t$  süresince, sabit bir debi ile üretime açılır ve sonra kapatılır. Daha sonra delikteki basıncın artışı, zamanın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Zamana bağlı olarak ölçülen bu basınç artışı, formasyonun geçirgenliğinin hesaplanmasına olanak sağlar. Bu proses Şekil 4'de şematik olarak özetlenmiştir (6), (9). Kapatma süresi içinde, zamanın bir fonksiyonu olarak artan basınç şu şekilde tanımlanabilir (9).



Şekil 4. Basınç yükseltme testlerinde zaman-basınç-debi ilişkileri.

$$P_w^2 = P_0^2 - \frac{1637 \times \mu \times c \times T \times Q}{k \times h \times \log(t + \Delta t / \Delta t)} \quad [8]$$

Eşitlik SI birim sisteminde verilirse,

$$P_w^2 = P_0^2 - \frac{71.44 \times \mu \times c \times T \times Q}{k \times h \times \log(t + \Delta t / \Delta t)} \quad [9]$$

Burada;

$P_w$  : Drenaj borusu ndaki gaz basıncı,  $N/m^2$

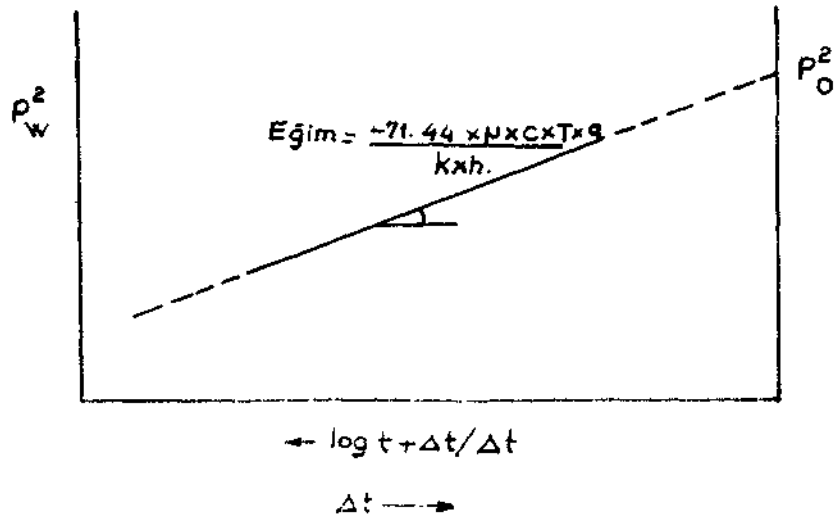
$P_{oi}$  : Damar gaz basıncı,  $N/m^2$ ,

$A t$  : Kapatma periyodu, dakika,

$t$  : Kuyunun açık kaldığı süre, dakika,

$c$  : Sıkışabilirlik sabitidir.

(8) eşitliğindeki  $P_w^2$  değerleri  $\log(t + A t / A t)$  değerlerine karşı çizildiğinde, düz bir doğru elde edilir (Şekil 5). Bu doğrunun eğimi,



Şekil 5. Basıncı yükselme eğrisi.



$$M = - \frac{71.44 \times \mu \times c \times T \times Q}{k \times h} \quad [9]$$

olur ve geçirgenlik,

$$k = - \frac{71.44 \times \mu \times c \times T \times Q}{M \times h} \quad [10]$$

eşitliğinden bulunur.

### 3.4.1. Basınç Yükselme Testleri için Bir Örnek

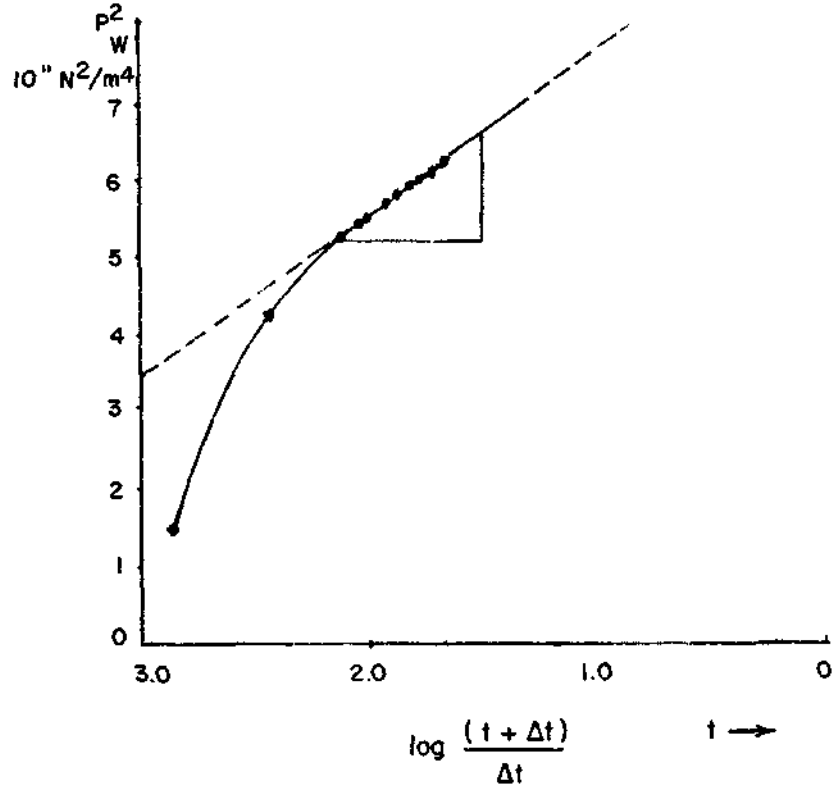
E.F. Wolstenholme (6) tarafından İngiltere'deki "freland Colliery" kömür ocağında yapılan geçirgenlik ölçümlerinden elde edilen veriler şöyledir:

Formasyon sıcaklığı 535°R, gazın viskozitesi 10<sup>-5</sup> N. s/m<sup>2</sup>, formasyon kalınlığı 3.048 m dir. Drenaj borusunun kapatılmadan önce toplam açık tutulduğu süre 765 dakikadır. Toplam 11 ölçme noktası 2'şer dakikalık zaman aralıklarıyla seçilmiştir. Aşağıdaki çizelge bu zaman aralıklarına karşılık gelen, basınç artışlarını göstermektedir.

Çizelge 1— Wolstenholme Tarafından Yapılan Basınç Yükselme Test Ölçüm Sonuçları

Süre $\Delta t$ dakika	Basınç $P_w$ (10 <sup>3</sup> N/m <sup>2</sup> )	$P_w^2$ (10 <sup>11</sup> (N/m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup> )	$\log \frac{765 + \Delta t}{\Delta t}$
1	385	1.482	2.88
3	661	4.369	2.41
5	730	5.329	2.18
7	744	5.535	2.04
9	757	5.730	2.03
11	764	5.836	1.84
13	771	5.944	1.77
15	778	6.062	1.71
17	785	6.162	1.65
19	799	6.384	1.60
21	806	6.496	1.56

Dördüncü sütun,  $t = 765$  dakika alındığında  $\log (t + \Delta t / \Delta t)$  hesaplamalarını göstermektedir. Bu değerler  $P^2$  değerlerine karşı çizilerek Basınç Yükselme Eğrisi elde edilir (Şekil 6).



Şekil 6. örnek geçirgenlik ölçmeleri için basınç yükselme eğrisi.

Şekildeki eğrinin eğimi  $1.8 \times 10^{11} \text{ N/m}^2/\log \text{ cycle}$  olarak bulunur. Drenaj borusundan, kapatılmadan önce elde edilen gazın debisi  $2.35 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  dir. Bu veriler yardımıyla (10) eşitliği kullanılarak,

$$k = \frac{71.44 \times 10^{-5} \times 1 \times 535 \times 2.35 \times 10^3}{1.8 \times 10^{11} \times 3.048}$$

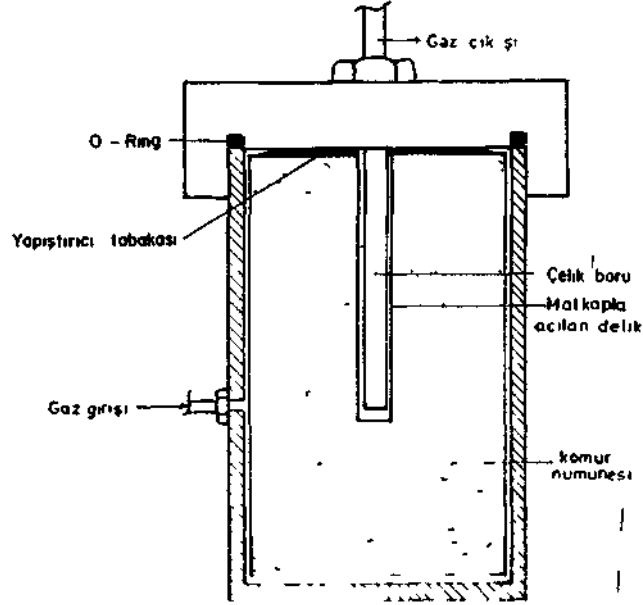
$k = 1.63 \times 10^{-15} \text{ m}^2$  olmaktadır.

#### 4. LABORATUVAR ÇALIŞMALARI

Yerinde gaz geçirgenliği ve metan basıncı ölçmelerinde kullanılan yöntemler laboratuvar şartlarında modellenerek, Zonguldak havzası kömürlerinin radyal geçirgenlikleri (karot numuneleri tabakalanma düzlemine paralel doğrultuda alındığı içm tabakalanmaya dik geçirgenlik) belirlenmektedir. Çalışmalar başlangıç aşamasında olup, elde edilen sonuçlar literatürde görülen sonuçlarla uyum içersindedir (10)(11)

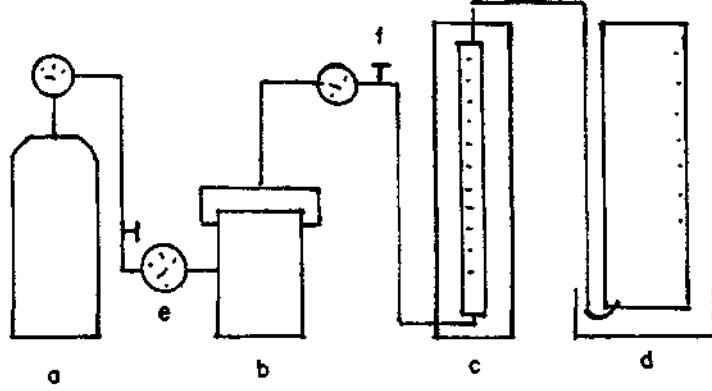
##### 4.1. Laboratuvar Ölçme Düzeni ve Sonuçlar

Geçirgenlik ölçmelerinde karşılaşılan en önemli iki sorun, karotların hazırlanması ve geçirgenlik ölçme kabının gerekli sızdırmazlığının sağlanmasıdır. 41 mm çapında alınan, kömür karotları  $L/D = 2$  olacak şekilde boyutlandırıldıktan sonra, eksenine boyunca matkapla 6 mm çapında,  $3/2 L$  boyunda bir delik açılmaktadır. Geçirgenlik ölçümünde kullanılan kap Şekil 7'de görülmektedir. Radyal geçirgenlik ölçüm amacını için hazırlanmış kaptaki, amaca uygun olmak üzere manometre ve vana ile ayarlanıp, değerlendirilen bir gaz girişi ve gaz çıkışı vardır. Kömür içindeki drenaj borusu 5 mm dış çaplı bir boru ile temsil edilmektedir. Gaz çıkışı bir flowmetre ve hacim ölçerle irtibatlandırılarak, ölçümler yapılmaktadır. Ölçme düzeni Şekil 8'de görülmektedir.



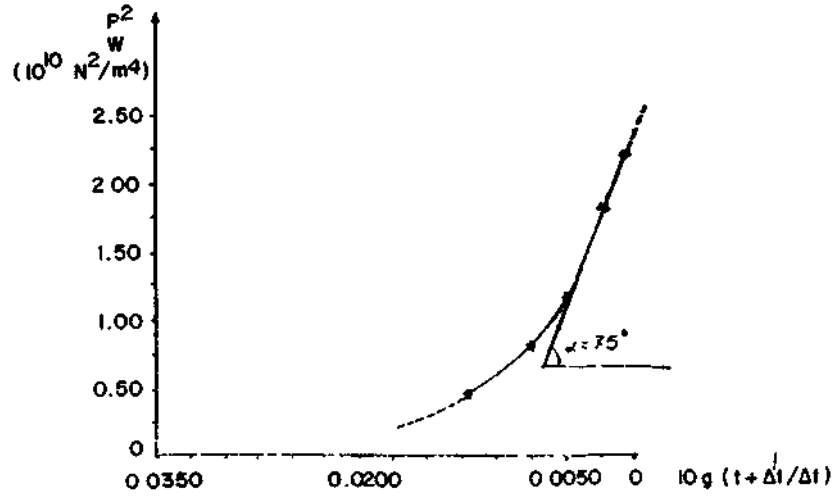
Şekil 7 Kömür geçirgenlik belirleme kabı

- a Metan tüpü  
b Deney kabı  
c Flowmetre  
d Hacim ölçer  
e Manometre  
f Vana



Şekil 8. Laboratuvar geçirgenlik ölçüm düzeni

Değişik basınç farkı değerlerindeki hacimsel metan debisi ve toplam metan hacmi bulunduğunda, eşitlik (7) kullanılarak, radyal geçirgenlikler bulunur. Benzer şekilde, basınç yükselme testinden elde edilen veriler eşitlik (10) kullanılarak, radyal geçirgenlik değerleri bulunabilmektedir. Acılık 1 numunesi için, veriler yardımıyla çizilen, basınç yükselme eğrisi Şekil 9'da görülmektedir. Aşağıda, bu çalışmalardan elde edilen sonuçlar verilmiştir.



Şekil 9. Acılık Kömürü için basınç yükselme eğrisi.

**Çizelge 2— Çay ve Acılık Kömüleri İçin Laboratuvarda Bulunan Radyal Geçirgenlik Değerleri**

Yöntem	Kömür damarı	Numune 1	Numune 2
Darcy Radyal	ÇAY	$3.328 \times 10^{-15}$	$2.534 \times 10^{-15}$
Akış Eşitliği	ACILIK	$2.368 \times 10^{-14}$	$6.576 \times 10^{-15}$
Basınç Yükselme	ÇAY	$3.913 \times 10^{-14}$	$5.77 \times 10^{-14}$
Testi	ACILIK	$3.039 \times 10^{-14}$	$3.85 \times 10^{-14}$

## 5. SONUÇLAR

Yeraltı kömür madenlerinde metan emisyonunun kontrol altına alınabilmesi amacıyla uygulanan, metan drenaj yöntemlerinin tasarımında, oluşacak metan emisyonunun tahmini, önemli bir yer tutmaktadır. Metan emisyonunun önceden tahmini yöntemlerinde, başlıca veriler, kömür damarlarının geçirgenliği ve metan içerikleri olmaktadır, indirekt yöntemle metan içeriği belirlenmesinde, kömür damarlarının yerinde gaz basınçlarının bilinmesi gerekmektedir.

Laboratuvarda yapılan modelleme çalışmaları, yerinde ölçmelerin başarı ile gerçekleştirilebileceğini göstermiştir. Bulunan geçirgenlik değerleri, daha önce farklı yöntemlerle belirlenen, geçirgenlik değerleri ile uyum göstermektedir.

Zonguldak Havzasında metan drenajı ile ilgili çalışmaların başlatılabilmesi için, havzadaki kömür damarlarının yerinde geçirgenlik ve metan basınçlarının belirlenmesi araştırmalarının gerçekleştirilmesi zorunludur.

## KAYNAKLAR

1. DURUCAN, Ş., "Zonguldak Havzası Acılık ve Çay Kömürlerinin Gerilme - Geçirgenlik özellikleri", TMMMOB Maden Müh. Odası, Bilimsel ve Teknik 8. Kongresi, Şubat 1983, Ankara
2. ETTINGER, I.L., LIDIN, G.D., DIMITRIEV, A.M. and ZHUPAKHINA, E.S., "Systematic Handbook for determination of the Methane Content of Coal Seams From the Seam Pressure of the Gas and the Methane Capacity of the Coal", Moscow, 1958, NCB Trans. No. A1606/SEH.
3. COLLINS, R.E., "Flow of Fluids Through Porous Materials", Reinhold Publishing Corp., Newyork, 1961.
4. HUBBERT, H.C., "Darcy's Law and the Field Equations of the Flow Underground Fluids", Trans. AIME, Petroleum Branch, Vol. 207, 1956, pp 222-239.
5. SLIDER, H.C., "Practical Petroleum Reservoir Engineering Methods", Petroleum Publishing Comp., Tulsa, 1976.
6. WOLSTENHOLME, E.F., "A Study of the Movement of Firedamp within the Floor Strata of a Coal Seam Liable to Outbursts", Ph. D. Thesis, University of Nottingham, 1968.

- 7 DUNMORE, R., "An Investigation into Flow Paths of Coal Seam by Injecting Tracer Gas Ahead of a Longwall Face", NCB, MRE, Technical Momerandum No. 147, 1963.
- 8 ITZ, G N and MAAS, W, "Laboratory Measurements of Methane Adsorbtion by Coal", NCB Trans No. A 1729/ME.
- 9 DAVID A.T., ERTEKIN, T, "Gas Well Testing", IHRDC, Boston, 1982.
- 0 YEREBASMAZ, G , "An Investigation into the Flow of Methane Through Coal Samples", M Phil, Thesis, University of Nottingham, 1981.
1. ÜÜRUCAN, S , "An Investigation into the Stress Permeability Relationship of Coals and Flow Patterns Around Working Longwall Faces", Ph. D. Thesis, University of Nottingham, 1981.