

**Zonguldak Taşkömürü Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriklerinin Belirlenmesi***Determining the Gas Content of Coals at Zonguldak Hardcoal Basin*Samet Can Özer<sup>1\*</sup>, Ömer Afşin Ergenekon, Olgun Esen, Abdullah Fişne<sup>1</sup>*İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 34469, İstanbul\***\* Sorumlu Yazar: canozzer@itu.edu.tr***Özet**

Kömür kaynaklı metan oluşumu yeraltı kömür madenleri için her zaman en büyük problemlerden biri olmuş ve madencilik tarihi boyunca birçok patlama, yangın ve boğulma gibi ölümcül kazalara sebep olmuştur. Kömür damarlarının gaz içeriğini belirleme çalışmaları, yeraltı madenlerinde iş sağlığı ve güvenliğini sağlamak ve buna bağlı maden planlamasının yapılabilmesinde çok önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmaların başlıca amacı, gaz ve kömür püskürmesi potansiyelini belirlemek ve doğru havalandırma tasarımının yapılabilmesi için yeraltında madencilik yapılan alanlara ne kadar metan emisyonu olduğunun hesaplanabilmesidir. Ancak günümüzde kömür yataklarının metan gazı içeriğine sadece yeraltı madenciliği için önlem alınması gereken bir tehlike olarak değil aynı zamanda bir alternatif enerji kaynağı ve dolayısıyla da atmosfere yayılan bir sera gazı olarak da bakılmaktadır. Bu noktada günümüzde kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Bu makalede, ülkemizde gazlı ocak sınıfına giren ve aşırı metan emisyonuna bağlı sorunların sıkça görüldüğü Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı ocaklarda üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi konusunda yapılan çalışmalar anlatılmış ve bazı sonuçlar verilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Kömür Madenciliği, Metan, Gaz İçeriği.**Abstract**

*Methane occurrence in coal mines has always been caused to fatal occupational accidents like explosions, fires and suffocations throughout the history of mining. Gas content determination plays an important role in mine safety and mine planning. The purpose of gas content determination was to assess gas outburst potentials and to quantify the magnitude of gas emissions into underground working areas so as to make an appropriate ventilation design. However, determining the gas content of coalbeds are not essential only for mine safety, are also essential for the most important parameter of an alternative energy source and a greenhouse gas. At this point determining the gas content of coalbeds has been becoming more of an issue. Some results about determining the gas content of coalbeds by using direct method in TTK (Turkish Hardcoal Enterprise) Mines where problems have been seen constantly regarding excessive methane emissions are given in this paper.*

**Keywords:** Coal Mining, Methane, Gas Content

## 1. Giriş

Kömürleşme olayı, bitkisel organizmaların turba, linyit ve taşkömürü evrelerinden geçerek antrasit ve grafitte dönüşmesi olarak tanımlanmaktadır (Gürdal, 1998). Kömürleşme işlemi sırasında büyük miktarlarda gaz oluştuğu ve önemli bir kısmının kömür ve yan kayaç içerisinde depolandığı bilinmektedir. Kömür içerisinde karbondioksit, azot ve diğer hidrokarbonlar da bulunmasına karşın, depolanan gazın % 90-95'i metandan oluşmaktadır (Kim, 1973, Didari, 1988).

Kömür madenlerinde metan gazının varlığı, madencilik tarihi boyunca önemli can ve mal kaybına yol açan patlama, yangın ve boğulma gibi iş kazalarına neden olmuştur. Konu ile ilgili yeni yöntemler, ekipmanlar ve standartlar geliştirilmesine, havalandırmanın daha iyi planlanmasına ve ocak havasının daha güvenilir biçimde izlenmesine karşın, yeraltı kömür madenciliğinde, aşırı metan emisyonuna bağlı kazalar hâlâ yaşanabilmektedir. Özellikle yüzeye yakın kömür damarlarının tükenmesi nedeniyle üretimin daha derinlere inmesi ve üretimde mekanizasyonun artması metan gazı ile ilgili riskleri de artırmıştır (Ediz ve Durucan, 1998). Ülkemizde metan gazı kaynaklı sorunlar yeraltı kömür madenciliğindeki iş kazaları arasında önemli yer tutmaktadır.

Kömür damarı içindeki gazın büyük bölümü bir denge basıncında kömür damarları ile çevre tabakaları içinde serbest ve gözeneklerin yüzeyine soğurulmuş durumda tutulur. Üretim çalışmaları ile bozulan basınç dengesinden dolayı kömürün gözenek ve çatlaklarında biriken metan gazı ocak ortamına çeşitli şekillerde yayılarak patlama, yangın ve boğulma gibi birçok tehlikeyi de beraberinde getirmektedir. Ayrıca bazı yeraltı madenlerinde, kömür damarı içinde basınç altında depolanan metan gazı aniden arının dayanımını aşarak onu parçalamakta ve büyük hacimlerde metan emisyonlarına sebep olmaktadır (Ökten, 1983). Ani gaz ve kömür püskürmesi olarak tanımlanan bu olaylar yeraltı ocaklarında işletme güvenliğinin en önemli sorunları arasında yer almaktadır.

Yeraltı kömür madenlerinde metan denetimi “Havalandırma ve Metan Drenajı” yöntemleri ile yapılmaktadır. Bu çalışmaların etkin bir şekilde planlanıp yürütülmesi için üretim yapılacak olan panoda karşılaşılabilecek metan emisyonu miktarının önceden tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu amaç için geliştirilmiş olan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Söz konusu tekniklerin uygulanmasındaki en önemli parametre kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğru ve güvenilir bir şekilde belirlenmesidir (Kissell ve diğ., 1973, Didari, 1988).

Jeolojik ve tektonik koşulların aşırı derecede karışık bir yapıyı oluşturduğu Zonguldak Kömür Havzası'ndaki maden ocaklarında metan gazının neden olduğu sorunlar eskiden beri süre gelmektedir. Son yıllarda üretimin daha derin kotlara inmesine paralel olarak kömür damarlarının gaz içeriklerinin artması nedeniyle meydana gelen olaylarda bir artış olmuştur. Günümüze kadar havzadaki işletilebilir kömür damarlarının gaz içeriğini ve gaz yayma karakteristiğini araştıran ve inceleyen sistematik çalışmalar yok denecek kadar azdır. Yapılan az sayıdaki çalışma ise ya görgül analizlere dayanmaktadır ya da eski tarihlerde gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada aşırı metan emisyonuna bağlı sorunların sıkça görüldüğü Türkiye Taşkömürü Kurumu'na bağlı ocaklarda üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi hedeflenmiştir.

## 2. Uygulanan Yöntemin Tanıtılması

Kömür damarlarının yerinde gaz içeriğinin belirlenmesi metan drenaj sistemlerinin planlanması ve gaz emisyonunun önceden tahmin edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Gaz içeriğinin belirlenmesinde kullanılmak üzere geliştirilmiş yöntemler “Doğrudan (direkt) ve Dolaylı (indirekt)” olmak üzere iki başlık altında toplanmaktadır. Ayrıca birçok araştırmacı tarafından geliştirilmiş “Ampirik Eşitlikler” yardımıyla da kömürün gaz içeriğini tahmin etmek mümkündür (Kim, 1977).

Kömürün gaz içeriğini belirlemek için geliştirilmiş birçok doğrudan yöntem vardır. Bu yöntemlerin çoğunda kömürün gaz içeriği üç ana bileşene ayrılmaktadır. Bunlar; kayıp gaz (lost gas), desorbe olan gaz (desorbed gas) ve artık gaz (residual gas)’dır. Bu bileşenlerin her biri doğrudan ölçülerek veya tahmin edilerek kömürün toplam gaz içeriği tespit edilmektedir (Diamond ve Levine, 1981, Diamond and Shatzel, 1998). Söz konusu yöntemler temelde aynı prensiplere dayansa da farklı uygulamalara sahiptirler. Bu tür yöntemlerin özünü, kömür damarlarından olası en az gaz kaybı ile örnekler alınması ve bu örneklerden çözülen gaz miktarının belirlenmesi oluşturmaktadır.

Kömür damarlarının gaz içeriğinin doğrudan yöntemle ölçümü konusunda Bertard ve arkadaşlarının (1970) Fransız Kömür Araştırma Merkezi CERCHAR’da yaptıkları çalışmalar bu konuda geliştirilen en temel yaklaşım olarak kabul edilmektedir (Çakır, 1994). Söz konusu çalışmada Bertard ve arkadaşları (1970), desorpsiyon sürecinin erken aşamalarında salınan gaz (kayıp gaz) miktarının zamanın kareköküyle orantılı olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Söz konusu teknikte numunenin kömür damarından kesilmesi ve sızdırmaz bir kap içerisine alınması süresince kaybolan gaz miktarı ( $Q_1$ ), örneklerin kontrollü metan emisyon deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi ile belirlenmektedir. Bulunan bu değer numunenin laboratuvara taşınması sırasında kap içine yayılan ( $Q_2$ ) ve laboratuvarda sızdırmaz değirmende öğütülerek belirlenen artık gaz ( $Q_3$ ) miktarına eklenerek kömürün toplam gaz içeriği saptanmaktadır.

### 2.1. Kayıp Gaz Miktarının ( $Q_1$ ) Belirlenmesi

Kayıp gaz, kömür numunesinin damardan kesilip sızdırmaz bir kap içerisine yerleştirilinceye kadar geçen sürede numuneden yayılan gaz miktarıdır ve toplam gaz içeriğinin bir parçasıdır. Numunenin damardan kesilme anından (desorpsiyonun başladığı an veya sıfır zamanı) sızdırmaz kaba konuluncaya kadar geçen süre kayıp gaz zamanı olarak tanımlanmaktadır. Kayıp gaz miktarı doğrudan ölçülememektedir, ancak desorpsiyon ölçümlerinden hareketle tahmin edilmektedir. Kayıp gaz miktarı Eşitlik (1) yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$(Q_1)_L = Q_a = Q_b \times \frac{t_a^{(1-k_1)}}{t_b^{(1-k_1)} - t_a^{(1-k_1)}} \quad (1)$$

$Q_a$  : Numunenin damardan kesilip sızdırmaz bir kap içerisine yerleştirilinceye kadar geçen sürede yayılan gaz miktarı (cm<sup>3</sup>)

$Q_b$  : Numunenin laboratuvara taşınması sırasında kap içine yayılan gaz miktarı (cm<sup>3</sup>)

$t_a$  : Numune alımıyla numune kabının kapatılması arasında geçen süre (s);

$t_b$  : Numune alımıyla laboratuvardaki  $Q_2$  ölçümü arasında geçen süre (s);

$k_1$  : Desorpsiyon katsayısı; 0,65

Desorpsiyon katsayısı kömür numunesinin desorpsiyon hızındaki değişimin bir ölçüsüdür. kt değeri kömürden desorbe olan gaz miktarının zamana bağlı değişiminden elde edilen veriler ile belirlenmektedir. Söz konusu verilerin tam logaritmik kağıt üzerine taşınması ile elde edilen noktalardan geçen doğrunun eğimi “kt değeri” olarak tanımlanmaktadır. Desorpsiyon hızı arttıkça doğrunun eğimi yani kt değeri de artacaktır. Ökten (1983) Zonguldak Taşkömürü Havzası kömür damarları için desorpsiyon katsayısının  $kt = 0,645 \pm 0,035$  arasında değiştiğini belirlemiştir.

Eşitlik (1) ile belirlenen kayıp gaz değerine sıcaklık ve basınç düzeltmesi Eşitlik (2) ile yapılarak normal şartlardaki kayıp gaz miktarı elde edilmiş olur.

$$(Q_1)_N = (Q_1)_L \times \frac{P_L}{1013,25} \times \frac{273}{T_L} \quad (2)$$

$P_L$  : Laboratuvar atmosfer basıncı (hPa)

$T_L$  : Laboratuvar sıcaklığı (K)

## 2.2. Yayılan Gaz Miktarının ( $Q_2$ ) Belirlenmesi

Yayılan gaz hacmi  $Q_2$  değeri, yeraltında numune alma işlemi tamamlanıp, numune kabının ağzı kapatıldıktan sonra laboratuvarında ölçüm yapılincaya kadar geçen sürede yayılan gazı temsil etmektedir. Yayılan gaz ( $Q_2$ ) miktarı Eşitlik (3) ile hesaplanmaktadır.

$$(Q_1)_N = \frac{(V_{Fl} - V_k) \times (C_{Fl} - C_V)}{100 - C_{Fl}} \times \frac{T_L \times P_V}{T_V \times P_L} \quad (3)$$

$V_{Fl}$  : Numune kabının hacmi (cm<sup>3</sup>)

$V_k$  : Kömür numunesinin hacmi (cm<sup>3</sup>)

$C_{Fl}$  : Numune şişesindeki metan konsantrasyonu (%)

$C_V$  : Ocak havasındaki metan konsantrasyonu (%)

$P_L$  : Laboratuvardaki atmosfer basıncı (hPa)

$T_L$  : Laboratuvar havası sıcaklığı (K)

$P_V$  : Ocak atmosfer basıncı (hPa)

$T_V$  : Ocak havası sıcaklığı (K)

Sıcaklık ve basınç düzeltmesi Eşitlik (2) ile yapılarak normal şartlardaki yayılan gaz miktarı elde edilmiş olur.

## 2.3. Artık Gaz Miktarının ( $Q_3$ ) Belirlenmesi

Artık gaz olarak değerlendirilen bu bileşen, kömür numunesinin sızdırmaz bir değirmende öğütüldüğü süreyi kapsamakta olup, bu sürede yayılan gaz “artık gaz” olarak tanımlanmaktadır. Artık gaz miktarı Eşitlik (4) yardımı ile hesaplanmaktadır.

$$Q_3 = Q_4 \quad (3)$$

Burada;

$Q_3$ : kömürün öğütülmesi sırasında yayılan gaz hacmi (cm<sup>3</sup>)’dir.

Ölçülen bu değere gerekli sıcaklık ve basınç düzeltmesi Eşitlik (2) ile yapılarak normal şartlardaki artık gaz miktarı elde edilmiş olur.

### 3. Zonguldak Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriğinin Belirlenmesi Çalışmaları

Zonguldak Havzası ülkemizde prodüktif taşkömür rezervlerinin bulunduğu bölgedir. Üretim çalışmalarını zorlaştıran çeşitli engellerin ( karmaşık jeolojik yapı, üretim derinliği artışı vb.) birarada bulunduğu Havza'da en önemli sorunlardan birisi de kömür damarlarının fazla miktarda metan gazı içermesidir. Üretim ve hazırlık çalışmaları sırasında farklı şekillerde ocak havasına karışan bu gaz, çok sayıda madencinin ölümüne, üretimin aksaması ve/veya durmasına, mekine ve teçhizatın zarar görmesine neden olmaktadır.

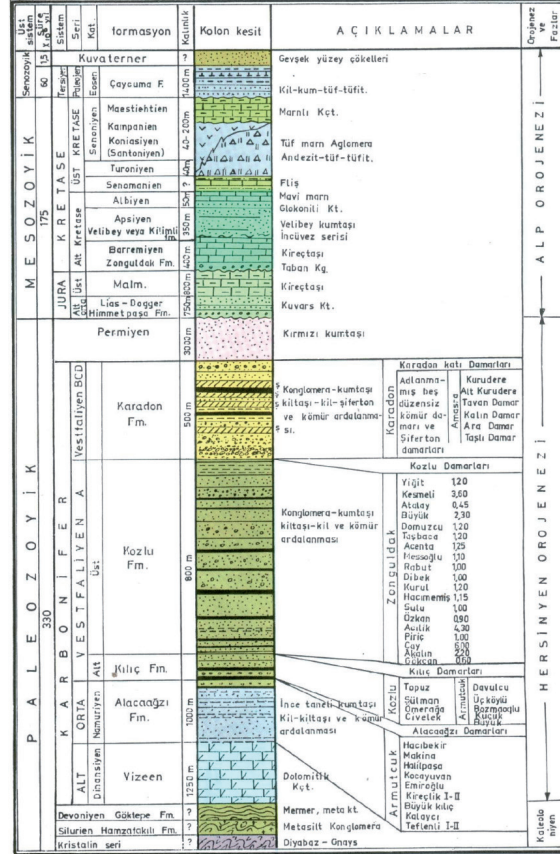
Yukarıda verilen metan gazı kaynaklı sorunlara çözüm getirmek, ortaya çıkabilecek olan kayıpları en alt düzeye indirebilmek (metan denetimi) ancak birbirini tamamlayan iki farklı uygulama ile mümkün olmaktadır. Bunlar, ocakta etkin bir havalandırmanın sağlanması ve kömür damarlarından metan drenajıdır. Heriki uygulamanın da sağlıklı bir şekilde planlanması ve yürütülmesi için ocakta veya panolarda yayılacak metan miktarının belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı söz konusu hedefe yönelik verilerin elde edilmesi olup, öncelikle havzada üretim faaliyetlerinin büyük bir bölümünü gerçekleştiren Türkiye Taşkömürü Kurumu Amasra, Armutçuk, Karadon, Kozlu ve Üzülmöz Müesseselerine bağlı yeraltı maden ocaklarında üretim ve hazırlık çalışmalarının sürdürüldüğü kömür damarlarının gaz içeriklerinin doğrudan yöntemle belirlenmesi hedeflenmiştir.

#### 3.1. Havza ile İlgili Genel Bilgiler

Akdeniz (Antalya) ve Güneydoğu (Diyarbakır) bölgelerindeki çok az miktardaki rezervler hariç tutulursa, Zonguldak Kömür Havzası ülkemizdeki taşkömürü varlığının bulunduğu bölgedir. Havzada üretilen taşkömürü koklaşır ve koklaşmaz olmak üzere iki ayrı kalitededir. Doğrudan metalurjik kok üretimine uygun olan rezervler Kozlu, Üzülmöz ve Karadon Müesseselerin çalışma alanlarında bulunmakta olup, Armutçuk işletmesinde üretilen kömür yarı koklaşabilir özelliğe, Amasra kömürleri ise kısmen koklaşabilir özelliğe sahiptir (Öztürk, 2014).

Havzada kömürlü birimler üst karboniferin Namuriyen katına ait Alacağzı formasyonu ile başlamakta, alt Westfalien A yaşlı Kılıç formasyonu, üst Westfalien A'ya ait Kozlu formasyonu ve Westfalien B-C-D yaşlı Karadon formasyonu ile tamamlanmaktadır. Şekil 1'de Zonguldak Kömür Havzası'nın stratigrafik kesiti verilmiştir.



Şekil 1. Zonguldak Kömür Havzası stratigrafik kesiti.

Havzada bu formasyonlar içinde 46 adet değişik yapı ve özellikte kömür damarı mevcut olup, halen bunlardan ekonomik işletmeciliğe uygun olan 18 damarda üretim faaliyetleri sürdürülmektedir. Havzada üretim ağırlıklı olarak Kozlu formasyonu içerisindeki verimli damarlarda yapılmaktadır.

Havzanın -1200 m derinliğe kadar hesaplanmış jeolojik rezervi yaklaşık 1,354 milyar ton olup, bunun % 42'si görünür rezerv olarak kabul edilmektedir. Kömür damarlarının eğimleri 0 – 90° arasında ve damar kalınlıkları 0,8 – 3,5 m arasında değişmektedir. Armutçuk Müessesesi Büyük damarda kalınlık 12 m'ye kadar çıkmaktadır. Damar eğimlerinin dik ve dike yakın olması ocakların hızla derinleşmesine neden olmuştur. Ortalama üretim derinliği her yıl yaklaşık 12 m artmaktadır. Karadon ve Kozlu ocaklarında sırasıyla -540 ve -630 m derinlikte üretim ve hazırlık çalışmaları sürdürülmekte olup -1000 m'ye derinleştirilen kuyularla derin kömür madenciliğine hazırlık yapılmaktadır. Havzada üretim yapılan müesseseler ile ilgili bilgiler (rezerv, üretim, işçi sayısı, üretim derinliği vb.) Çizelge 1'de özet olarak verilmiştir.

| Müessesese | Rezerv<br>(10 <sup>6</sup> ton) | Üretim<br>(10 <sup>3</sup> ton/yıl) | İşçi Sayısı | Ortalama<br>Üretim Derinliği<br>(m) |
|------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| Amasra     | 407                             | 250                                 | 774         | 236                                 |
| Armutçuk   | 33                              | 252                                 | 1283        | 550                                 |
| Karadon    | 412                             | 806                                 | 3590        | 373                                 |
| Kozlu      | 159                             | 647                                 | 1990        | 488                                 |
| Üzülmöz    | 305                             | 486                                 | 1884        | 200                                 |
| Total      | 1316                            | 2441                                | 9521        |                                     |

**Çizelge 1.** Havzada üretim yapılan müesseseler ile ilgili bilgiler

Havzada 0 – 45° meyilli damarlarda ilerletimli-göçertmeli uzun ayak, yangına müsait damarlarda (Armutçuk ve Kozlu) geri dönümlü – göçertmeli uzun ayak üretim yöntemi uygulanmaktadır. Eğimi 45°den büyük damarlarda pnömatik patlatmalı kazı yöntemi uygulanmakta olup, üretim ara katlı göçertme yöntemi ile yapılmaktadır. Ayrıca Kozlu Müessesesi'nde dik damarlarda oda topuk yönteminin değişik bir uygulaması olan tumba baca yöntemi de uygulanmaktadır. Havzada irili ufaklı çok sayıda fay ve sıklmalar mekanize yöntemlerin uygulanmasını engellemektedir. Üretim halen büyük oranda insan gücüne dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

### 3.2. Numune Alınması

Zonguldak Taşkömürü Havzasında, kömür üretimi yapılan damarların gaz içeriklerinin bilinmesi metan emisyonuna bağlı sorunların önceden tahmin edilmesi ve önlenmesi açısından çok önemlidir. İleride çalışılacak olan daha derindeki damarlar, şu anda üretim yapılan damarlardan daha fazla metan içerecektir ve metan emisyonu havalandırma yoluyla kontrol altında tutulamayacaktır. Bu nedenle, havzada metan drenajını başlatmak gerekli olacak, üretim yapılacak kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi zorunlu hale gelecektir.

Zonguldak Taşkömürü Havzasında kömür damarlarının gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla numune alma işleri Kozlu, Karadon ve Armutçuk Müesseselerinde yoğunlaştırılmıştır. Söz konusu işletmelerde numune alma ile ilgili bilgiler Çizelge 2'de verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi 8 farklı damardan toplam 94 numune alınmış ve gaz içeriği değerleri ölçülmüştür.

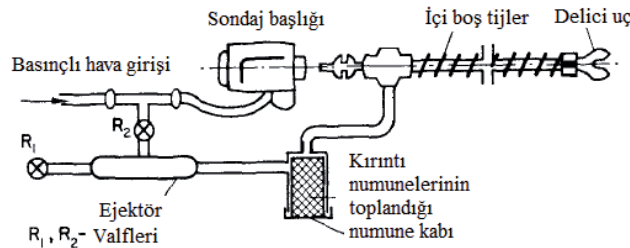
| Damar Adı | Numune Sayısı | Alındığı Yer | Alındığı Kot |
|-----------|---------------|--------------|--------------|
| Acılık    | 28            | Kozlu        | 360          |
|           |               | Gelik        | 460          |
|           |               | Kilimli      | 630          |
| Çay       | 14            | Kozlu        | 460          |
|           |               | Kilimli      | 560          |
|           |               |              | 630          |
| Sulu      | 17            | Kozlu        | 560          |
| Büyük     | 11            | Armutçuk     | 500          |
|           |               | Kozlu        | 560          |
| Domuzcu   | 9             | Kozlu        | 425          |
|           |               |              | 485          |
|           |               |              | 560          |
| Kurul     | 2             | Gelik        | 360          |
| Hacıemiş  | 12            | Kozlu        | 460          |
|           |               | Kilimli      | 560          |
|           |               |              | 630          |
| Unutulmuş | 1             | Kilimli      | 460          |

Çizelge 2. Alınan numunelere ait bilgiler

Bilindiği gibi gaz içeriği belirleme çalışmaları süreklilik arz eden ve birçok jeolojik parametreye veya kömürün fiziksel-kimyasal özelliklerine bağlı olarak değişebilen çalışmalardır. Aynı panodaki kömür damarının doğusu ile batısı arasında bile çok farklı değerler bulunabilmektedir. Kömür damarlarının homojen yapılar olmaması bu durumun başlıca sebebi olsa da, numune alınan yerin uzun süre önce açılmış olması veya yakınında yapılan madencilik çalışmaları (alt-üst kat üretim çalışmaları, rahatlatma veya keşif sondajları vb.) gibi sebeplerle kömür bünyesindeki gazın bir kısmını kaybetmektedir. Bunun dışında faylara olan yakınlık da gaz içeriğini lokal olarak etkileyebilen bir parametredir.

Bu sebeplerden dolayı bu çalışmada numunelerin mümkün olduğunca kesesiye ilerleyen ana hazırlık galerileri ve yeni sürülmekte olan taban yollarının arınlarından alınmasına dikkat edilmiştir.

Numune alma işlemi için, içi boş sondaj tijlerinin içerisinden vakum yapabilecek ejektöre sahip bir sondaj makinesi kullanılmıştır. Sondaj düzeneği ana hatlarıyla Şekil 2’de gösterilmiştir. Bu ekipmanın en büyük avantajı, kesin olarak istenilen derinlikten numune alabiliyor olması ve kayıp gaz zamanını oldukça azaltmasıdır.



Şekil 2. Numune alma işleminde kullanılan sondaj düzeneği.



Acılık damarı numuneleri 3 farklı işletmeden alınmıştır, bunlar Kozlu, Kilimli ve Gelik işletmeleridir. Ancak Çay, Sulu, Domuzcu ve Hacımemiş damarları çoğunlukla Kozlu İşletmesinde çalışılabilmiştir. En derin yatay sondajlar Armutçuk İşletmesinde gerçekleştirilmiş olup, bunun en önemli nedeni bu işletmedeki “Büyük” olarak adlandırılan kömür damarının kalınlığıdır. Kozlu İşletmesinde yaşanan en büyük sorun damarların çok dik ve ince olmasıdır. -630 katıyla en derin kotta çalışabildiğimiz işletme Kozlu İşletmesi olmuştur.

### 3.3. Yayılan Gaz Miktarının Ölçülmesi

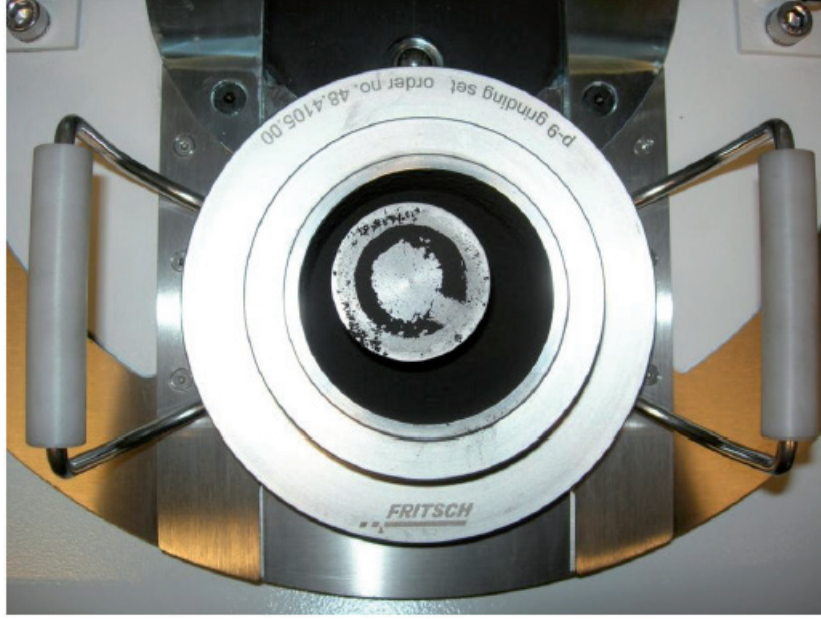
Alınan numuneler 1000 cm<sup>3</sup> hacmindeki sızdırmaz numune kapları ile laboratuvara taşınmış ve kap içinde yayılan gazın hacminin ölçülmesi işlemine geçilmiştir. Numune kabında gerçekleşen yayılım, % 100'lük bir metan ölçerden (Şekil 3) geçirilerek örnek kabının içindeki metan yüzdesi belirlenmiştir.



Şekil 3. Yayılan gaz miktarının ölçülmesi.

### 3.4. Artık Gaz Miktarının Ölçülmesi

Numune kabından çıkarılan kömür tartılarak ağırlığı belirlenmiş ve öğütme işlemine alınmıştır. Öğütme işlemi Şekil 4'de gösterilen halkalı değirmen ile gerçekleştirilmiştir. Öğütme işlemlerinden sonra değirmende gerçekleşen yayılım dereceli su ölçğine aktarılmış ve o örneğe ait gaz yayılımının hacmi ölçülmüştür. Ayrıca bu aşamada laboratuvardaki atmosfer basıncı ve ortam sıcaklığı da belirlenmiştir.



Şekil 4. Öğütme işleminin gerçekleştirildiği halkalı değirmen.

### 3.5. Numunelerin Kısa Kimyasal Analizleri

Kömürlerin kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, kömür damarlarının karakterizasyonu ve oluşumu sırasında kazandığı çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri yansıması ve temiz kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu çerçevede havzada gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla alınan kömür örneklerinin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerleri belirlenmiştir. İncelenen kömür örneklerinin kısa analizleri TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Laboratuvarında, ASTM D-3172 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Kül miktarının belirlenmesi amacıyla yaklaşık bir gramlık öğütülmüş numune oda sıcaklığındaki fırına yerleştirilmiş ve sıcaklığı dakikada 8°C artışla 815°C'ye yükseltilmiştir. 1 saat bu sıcaklıkta bekletildikten sonra fırından çıkartılan numuneler deksikatör yerleştirilerek soğuması beklenmiştir. Fırına verilmeden önce hassas terazi ile tartılmış olan numuneler tekrar tartılır ve aradaki farktan kül miktarları belirlenmiş olur. Nem miktarının belirlenmesi için etüv 106°C'ye ısıtılır ve tartılan yaklaşık 1 gramlık numune ağzı açık bir şekilde etüve yerleştirilir. İsaat bekletildikten sonra ağzı kapatılarak çıkarılır ve oda sıcaklığına gelince tartılır. Uçucu maddenin belirlenmesi için daha önce 815°C'ye ısıtılan kül fırını 900°C'ye ısıtılır. Gereken

sıcaklığa ulaşan fırına, önceden tartılmış olan yaklaşık 1 gramlık 2 adet numune yerleştirilir ve 7 dakika bekletilir. 7 dakika sonunda çıkartılıp soğumaya bırakılan numuneler yeniden hassas terazide tartılarak numunelerin uçucu madde içeriği belirlenir. Sabit karbon değerleri ise nem, kül ve uçucu madde miktarları toplamının 100'den çıkarılması ile bulunmuştur.

#### 4. Sonuçlar

Zonguldak Kömür Havzasında işletilebilir kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi amacıyla TTK'na bağlı Kozlu, Karadon ve Armutçuk Müesseselerinde yeraltından yapılan yatay sondajlardan numuneler alınmıştır. Kozlu, Gelik, Kilimli ve Armutçuk olmak üzere 4 işletmede 54 sondaj yapılmıştır. Sondaj uzunlukları maksimum 24 m'dir. Sondajlardan genellikle her 2 m'de bir numune alınmış ve gaz içeriği belirlenmiştir. Bu çalışmalarda Kozlu Müessesesinde 7 adet farklı damardan 35 adet, Karadon Müessesesi Gelik İşletmesinde 4 farklı damardan 6 adet numune ve Kilimli İşletmesinde 4 farklı damardan 10 adet numune, Armutçuk Müessesesi'nden ise tek damardan 3 adet numune alma işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu numune alma çalışmaları kapsamında toplamda 330 adet farklı kömür numunesinin gaz içeriği belirlenmiştir. Ancak numune alma çalışmalarında çok sayıda numune alınmasına karşın, kül içeriği %20'nin altında olan ve yeterli derinlikten alınabilen numuneler geçerli sayılmıştır.

Kömür numunelerinin kimyasal özelliklerinin, kömürleşme derecesinin ve temiz kömürün gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla kısa analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu çerçevede havzada gaz içeriğinin belirlenmesi amacıyla alınan kömür örneklerinin nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerleri belirlenmiştir. İncelenen kömür örneklerinin kısa analizleri TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı Laboratuvarında, ASTM D-3172 standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kısa analiz sonucu elde edilen değerlerin değişim aralığı Çizelge 3'de verilmiştir.

| Damar Adı | Orjinal Baz (%) |              |               |               | Kuru - Külsüz Baz (%) |               |
|-----------|-----------------|--------------|---------------|---------------|-----------------------|---------------|
|           | Nem             | Kül          | UM            | SK            | UM                    | SK            |
| Acılık    | 0,61 - 1,84     | 4,90 - 20,81 | 18,86 - 27,71 | 51,08 - 71,23 | 21,42 - 34,42         | 65,58 - 78,58 |
| Çay       | 0,87 - 1,21     | 8,09 - 26,09 | 21,32 - 25,22 | 49,55 - 66,34 | 27,05 - 32,94         | 67,06 - 72,95 |
| Sulu      | 0,86 - 1,46     | 3,83 - 20,74 | 22,61 - 26,23 | 52,58 - 68,83 | 25,25 - 33,02         | 66,98 - 74,75 |
| Büyük     | 1,05 - 1,61     | 3,69 - 19,08 | 24,80 - 35,59 | 54,01 - 64,66 | 31,05 - 38,53         | 61,47 - 68,95 |
| Domuzcu   | 0,96 - 1,61     | 7,73 - 22,84 | 23,62 - 31,68 | 48,01 - 67,04 | 26,05 - 39,75         | 60,25 - 73,95 |
| Kurul     | 1,62            | 5,42 - 6,25  | 26,56         | 65,57 - 66,40 | 28,57 - 28,83         | 71,17 - 71,43 |
| Hacimemiş | 0,91 - 1,43     | 5,22 - 22,94 | 21,61 - 28,97 | 54,25 - 67,50 | 27,22 - 32,86         | 67,14 - 72,78 |
| Unudulmuş | 1,38            | 6,59         | 26,77         | 65,26         | 29,09                 | 70,91         |

Çizelge 3. Kömür damarlarının kısa kimyasal analizleri

Numunelerin orijinal bazdaki nemi, kül, uçucu madde ve sabit karbon değerlerindeki değişimler sırasıyla % 0,61 – 1,84, % 3,69 – 26,09, % 18,86 – 35,59 ve % 48,01 – 71,23'dür.

Kül değerleri oldukça farklılık göstermesine karşın, nem ve uçucu madde değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Örneğin farklı damar ve işletmelerden alınan kömür numunelerinin orijinal bazda nem değerleri ortalama %1,17 ±0,22 ve uçucu madde miktarları ortalama 25,87 ±3,11 civarında iken kül değerleri aynı sondaj deliği içinde bile oldukça farklı çıkmış ve %3,69 ile %26,09 arasında değişkenlik göstermiştir.

Kömürlerin sınıflandırılmasında ASTM/DIN vb. Standartlar kullanılmaktadır. Bu çalışmada kömür numuneleri ASTM ve DIN standartları kullanılarak, kısa analiz sonuçlarının kuru külsüz bazdaki değerleri yardımıyla sınıflandırılmıştır. ASTM standardına göre kömür numuneleri yüksek uçuculu-B bitümlü kömür ile yüksek uçuculu-A bitümlü kömür aşamasındadırlar. DIN standardına göre ise numuneler “Gazlı-Alevli” ve Gazlı” sınıfına girmektedirler.

Zonguldak Taşkömürü Havzasında kömür üretimi kalınlıkları 0,7 – 30 m arasında değişen yaklaşık 20 işletilebilir kömür damarında gerçekleştirilmektedir. Bu damarlar arasında üretim ve hazırlık faaliyetlerinin yoğun bir şekilde sürdürüldüğü damarlar Acılık, Çay, Sulu, Büyük, Tavan, Kalın, Milopero, Akdağ, Kurul, Hacımemiş, Nasufoğlu, Unudulmuş ve Domuzcu’dur. Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen gaz içeriği ölçüm çalışmaları söz konusu damarlardan Acılık, Çay, Sulu, Büyük, Domuzcu, Kurul, Hacımemiş ve Unudulmuş damarlarında yoğunlaştırılmıştır. Elde edilen değerlerin istatistiksel analiz sonuçları Çizelge 4’de özet olarak verilmiştir.

| Damar Adı | Gaz İçeriği<br>(m <sup>3</sup> /ton) |       |      |      |                 |       |       |      |
|-----------|--------------------------------------|-------|------|------|-----------------|-------|-------|------|
|           | Orijinal Baz                         |       |      |      | Kuru Külsüz Baz |       |       |      |
|           | Min.                                 | Max.  | Ort. | Std. | Min.            | Max.  | Max.  | Std. |
| Acılık    | 5,13                                 | 11,54 | 7,14 | 1,81 | 5,97            | 13,11 | 13,11 | 2,08 |
| Çay       | 3,71                                 | 8,76  | 5,89 | 1,57 | 4,96            | 9,63  | 9,63  | 1,62 |
| Sulu      | 4,58                                 | 10,49 | 8,50 | 1,42 | 5,13            | 11,91 | 11,91 | 1,55 |
| Büyük     | 5,01                                 | 10,86 | 8,17 | 2,72 | 5,34            | 11,75 | 11,75 | 2,76 |
| Domuzcu   | 4,32                                 | 7,88  | 6,73 | 1,11 | 4,77            | 9,07  | 9,07  | 1,37 |
| Kurul     | 8,58                                 | 8,62  | 8,60 | -    | 9,23            | 9,36  | 9,36  | -    |
| Hacımemiş | 6,19                                 | 14,66 | 9,94 | 2,31 | 7,80            | 16,98 | 16,98 | 2,59 |
| Unudulmuş | -                                    | -     | 2,49 | -    | -               | -     | 2,71  | -    |

Çizelge 4. Zonguldak Havzası Kömür Damarlarının Gaz İçeriği Sonuçları

Damarların orijinal bazda ortalama gaz içerikleri 2,49 m<sup>3</sup>/t ile 9,94 m<sup>3</sup>/t arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Unudulmuş ve Hacımemiş damarları için elde edilmiştir. Acılık, Çay ve Sulu havzada en fazla üretim çalışması yapılan damarlardır. Bu damarların orijinal bazda ortalama gaz içeriği değerleri sırasıyla 7,14 m<sup>3</sup>/t, 5,89 m<sup>3</sup>/t ve 8,50 m<sup>3</sup>/t, kuru külsüz bazda ise 8,13 m<sup>3</sup>/t, 7,03m<sup>3</sup>/t ve 9,63 m<sup>3</sup>/t olarak belirlenmiştir.

Büyük damarın orijinal ve kuru külsüz bazda ortalama gaz içeriği 8,17 m<sup>3</sup>/t ve 8,89 m<sup>3</sup>/t olarak tespit edilmiştir. Büyük damarı için Kozlu ve Armutçuk Müesseselerinden numune alınmıştır. Kozlu Müessesesinden alınan numunelerin ortalama gaz içeriği orijinal bazda 5,48 m<sup>3</sup>/t iken, Armutçuk Müessesesinden alınan numunelerin ortalama gaz içeriği 9,18 m<sup>3</sup>/t olarak belirlenmiştir. Büyük damarının bu işletmede çok kalın olması ve en uzun yatay sondajın Armutçuk Müessesesi Büyük damarında gerçekleştirilmesi damarın gaz içeriğinin yüksek çıkmasında etkili olmuştur.

Kurul ve Unudulmuş damarları için birer adet numune alma işlemi gerçekleştirilebilmiştir. Buna göre Karadon Müessesesinde Kurul damarından alınan numunelerde ortalama gaz içeriği 8,60 m<sup>3</sup>/t ve Unudulmuş damarından alınan numunelerde ortalama gaz içeriği 2,49

m<sup>3</sup>/t olarak belirlenmiştir. Kurul damarından alınan numuneler taban yolu arınından alındığı için yüksek, Unudulmuş damarından alınan numuneler ise bacadan (ayaktan) alındığı için oldukça düşüktür ve gerçekçi değildir.

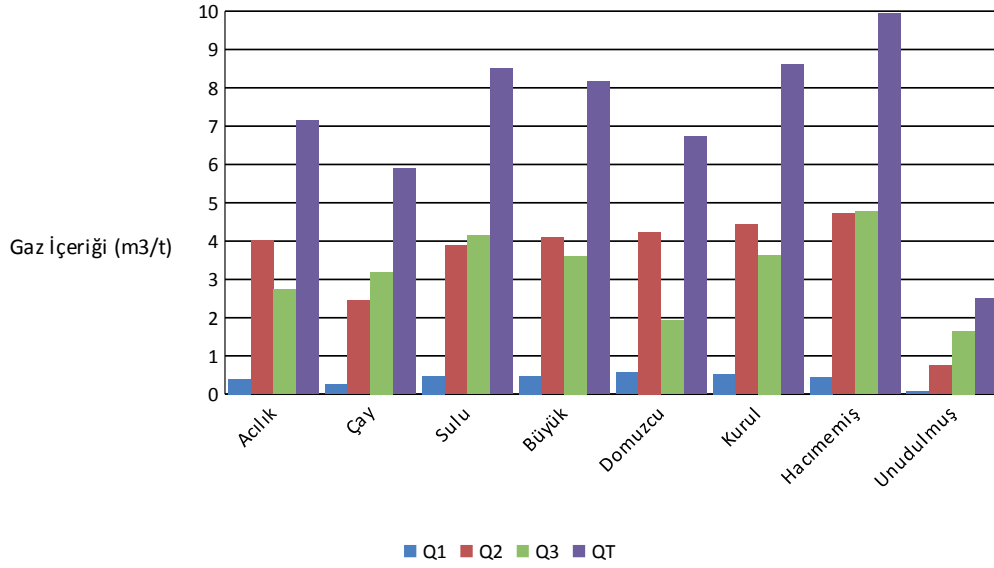
Çay ve Domuzcu damarı için ortalama gaz içeriği değerlerinin düşük çıkmasında numune alınan lokasyonların etkisi vardır. Çay damarı numuneleri çok uzun zaman önce açılmış olan 111063405 no.lu hazırlık galerisinden, Domuzcu numuneleri ise -425/-485 kotları arasında oluşturulan panodan alınmıştır.

Acılık havzada en fazla üretim çalışması yapılan damarlardan biri olması nedeniyle farklı işletmelerden ve kotlardan numune alma imkânı bulunabilmiştir. Buna bağlı olarak Acılık damarının orijinal bazda gaz içeriği -360 kotunda ortalama 6,85 m<sup>3</sup>/ton, -460 kotunda ortalama 6,06 m<sup>3</sup>/ton (Karadon Müessesesinden alınan numuneler) ve -630 kotunda ise ortalama 9,26 m<sup>3</sup>/ton (Kozlu Müessesesinden alınan numuneler) olarak tespit edilmiştir. Benzer sonuçlar Sulu damarı içinde elde edilmiştir. Söz konusu damarın orijinal bazda gaz içeriği -560 kotunda ortalama 6,81 m<sup>3</sup>/ton ve -630 kotunda ortalama 8,87 m<sup>3</sup>/t olarak tespit edilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği üzere derin ve bakir sahalara ilerlendikçe damarların gaz içeriği artmaktadır. Havzada bulunan Acılık haricindeki damarlarda, kotlara göre dağılım yaparak istatistiksel inceleme yapmak mümkün olmamıştır. Her ne kadar diğer damarların da farklı kotlarından numuneler alınsa da istatistiksel analiz yapacak rakamlar oluşmamıştır. Bu damarlar için çoğunlukla Kozlu Müessesesi -630 kotundan numune alma işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan çalışmalarda en düşük değerlerin ayaklardan alınan numunelerden elde edildiği görülmüştür. Bunun sebebi pano oluşturulurken açılan tavan-taban yolları ve ayak sayesinde birçok serbest yüzey alanının ortaya çıkması ve gazın bu serbest yüzeylerden desorbe olmasıdır. En yüksek değerler ise kesesiye ilerleyen ana hazırlık galerileri ve yeni sürülmekte olan taban yollarının arınlarından elde edilmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri de gaz içeriği belirleme çalışması için yapılacak numune alma işleminin yeni açılmış yüzeylere uygulanmasıdır. Açılan yüzey ne kadar eskiyse o kadar düşük değer elde edilecek ve buna bağlı olarak da yanlış yorumlama yapılabilecektir.

Bölüm 2’de anlatıldığı gibi kömür damarının toplam gaz içeriği ( $Q_T$ ), numunenin kömür damarından kesilmesi ve sızdırmaz bir kap içerisine alınması süresince kaybolan gaz miktarı ( $Q_1$ ), numunenin laboratuvara taşınması sırasında kap içine yayılan miktarı ( $Q_2$ ) ve laboratuvarda sızdırmaz değirmende öğütölerek belirlenen artık gaz miktarı ( $Q_3$ ) bileşenlerinden oluşmaktadır.

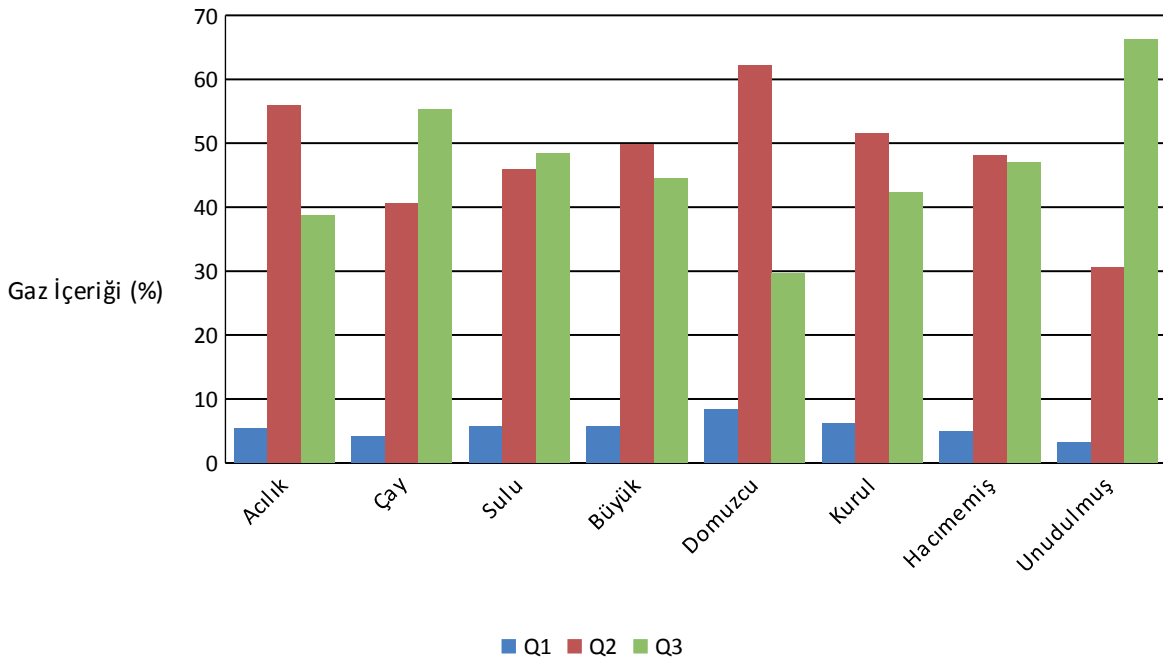
Bu çalışma kapsamında gaz içerikleri belirlenen kömür damarlarının toplam gaz içeriğini oluşturan bileşenlerin ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  ve  $Q_T$ ) orijinal bazda ortalama değerleri Şekil 5’de gösterilmiştir. Kayıp gaz miktarı olarak tanımlanan  $Q_1$  bileşeni, gaz içeriği belirlenen damarlar için 0,08 m<sup>3</sup>/t ile 0,57 m<sup>3</sup>/t arasında değişmektedir.  $Q_2$  ve  $Q_3$  bileşenleri ise söz konusu damarlar için sırasıyla 0,76 m<sup>3</sup>/t – 4,72 m<sup>3</sup>/t ve 1,65 m<sup>3</sup>/t – 4,77 m<sup>3</sup>/t arasında değişmektedir.



Şekil 5. Kömür damarlarının toplam gaz içeriğini oluşturan bileşenlerin ortalama değeri.

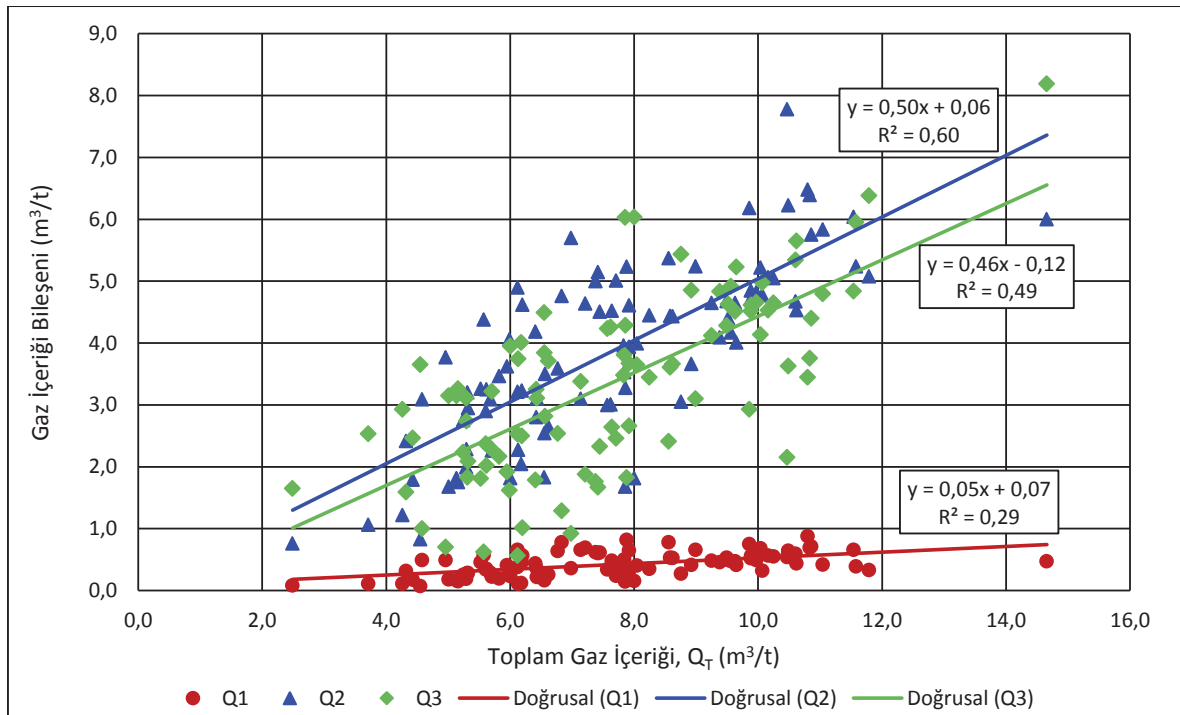
Gaz içeriği bileşenlerinin kömür damarlarının toplam gaz içeriğine oranı Şekil 6'da verilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi  $Q_1/Q_T$  oranı % 3,2 ile % 8,3 arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Unudulmuş ve Domuzcu damarları için elde edilmiştir. Diğer damarlar için  $Q_1/Q_T$  oranı yaklaşık olarak % 5 düzeyindedir. Bu değerler kayıp gazın toplam gaz içeriği içindeki oranının oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Bu durum numune alma çalışmalarında kayıp gaz zamanının oldukça düşük tutulduğunu ve başarılı bir numune alma çalışması yapıldığını göstermektedir. Çünkü kayıp gaz miktarı ( $Q_1$ ) doğrudan ölçülememektedir, ancak desorpsiyon ölçümlerinden hareketle tahmin edilmektedir. Bu yüzden kayıp gaz miktarı toplam gaz içeriğinin en az güvenilir bileşenidir. Kayıp gaz miktarını doğru bir şekilde tahmin edebilmek için en önemli parametrelerden biri kayıp gaz zamanının mümkün olduğunca minimumda tutmaktır. Kayıp gaz zamanının büyük olması, toplam gaz içeriği içinde kayıp gazın oranının artmasına neden olacak ve güvenilir bir tahmin yapmayı güçleştirecektir.

$Q_2/Q_T$  oranı % 30,5 ile % 62,1 arasında değişmektedir. Söz konusu değerler sırasıyla Unudulmuş ve Domuzcu damarları için elde edilmiştir. Diğer damarlar için  $Q_2/Q_T$  oranı % 40,6 ile % 55,9 olarak tespit edilmiştir.  $Q_3/Q_T$  oranı ise söz konusu damarlar için % 29,7 ile % 66,3 arasında değişmektedir. Bu değerler  $Q_2/Q_T$  oranının tersine Domuzcu ve Unudulmuş damarları için elde edilmiştir. Diğer damarlar için  $Q_3/Q_T$  oranları % 38,7 ile % 55,2 arasında değişmektedir. Söz konusu değerlerden de anlaşılacağı üzere  $Q_2$  ve  $Q_3$  bileşenleri toplam gaz içeriğine hemen hemen eşit düzeyde katkı yapmaktadırlar.



Şekil 6. Gaz içeriği bileşenlerinin toplam gaz içeriği içindeki oranları.

Gaz içeriği bileşenlerinin ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ) ve kömür damarlarının toplam gaz içeri ( $Q_T$ ) ile ilişkisi araştırılmış elde edilen sonuçlar Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Gaz içeriği bileşenlerinin ( $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ ), toplam gaz içeri ( $Q_T$ ) ile ilişkisi.

Kayıp gaz miktarı ile toplam gaz içeriği arasında pozitif bir ilişki olmasına karşın korelasyon oldukça düşüktür. Bu durumun yukarıda açıklandığı gibi kayıp gaz zamanın düşük tutulmasında kaynaklandığı düşünülmektedir.  $Q_2$  ve  $Q_3$  ile toplam gaz içeriği arasında ise pozitif ilişkiler

bulunmaktadır. Bir başka ifade ile artan  $Q_2$  ve  $Q_3$  değerlerine karşın toplam gaz içeriğinin de artış gösterdiği söylenebilir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenmiştir. “Zonguldak Taşkömürü Havzası’nda Kömür Damarlarının Gaz İçerikleri İle Gaz Yayma Karakteristiklerinin Belirlenmesi” adlı 113M460 No.lu projeye sağladıkları ekonomik destekten ve her konudaki yardımlarından dolayı TÜBİTAK yetkililerine ve mühendislik araştırma grubu sekreterliği elemanlarına teşekkürlerimizi sunarız.

### **Kaynaklar**

ASTM D3172-13, 2013. Standard Practice for Proximate Analysis of Coal and Coke, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Bertard, C., Bruyet, B., Gunther, J., 1970. Determination of Desorbable Gas Concentration of Coal (Direct Method). International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. 7(1), 43–50.

Çakır, A., 1994. TTK Karadon İşletmesi -303/360 Büyük Damarının Gaz İçeriğinin ve Gaz Yayma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak.

Diamond, W. P., Levine, J. R. 1981. Direct method determination of the gas content of coal: procedures and results. US Bureau of Mines. pp. 36.

Diamond, W. P., Schatzel, S. J., 1998. Measuring the gas content of coal: a review. International Journal of Coal Geology. 35(1), 311–331.

Didari, V., 1988. Metan Denetimi Gereksinimlerinin Ampirik Tekniklerle Belirlenmesi. Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Ediz, I. G., Durucan, Ş., 1998. Kömür ocaklarında metan gazı oluşumu ve birikimi. Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri. Özgün Ofset, İstanbul, 223–242.

Gürdal, G., 1998. Kömürde Gaz Depolanmasını Kontrol eden Parametreler. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora tezi, İstanbul.

Kim, A. G., 1973. The composition of coalbed gas: U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines.

Kim, A. G., 1977. Estimating methane content of bituminous coalbeds from adsorption data: Department of the Interior, Bureau of Mines.

Kissell, F. N., McCulloch, C. M., Elder, C. H., 1973. The direct method of determining methane content of coalbeds for ventilation design: U.S. Dept. of Interior, Bureau of Mines.

Ökten, G., 1983. Zonguldak Taşkömürü Havzasındaki Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi Olaylarının İncelenmesi ve Olaya Eğilimli Zonların Belirlenebilirliğinin Araştırılması. (Doktora), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Öztürk, M., 2014. Taşkömürü Havzası Damar Gaz İçeriklerini Tespit Çalışmaları. TTK İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı, Yayın No. 71.