

## KÖMÜR DAMARLARININ GAZ İÇERİKLERİNİN TESPİT EDİLMESİ – GENEL BİR BAKIŞ

Özer ÖREN<sup>1</sup>, Mehmet ÖZDEMİR<sup>2</sup>, Cem ŞENSÖĞÜT<sup>3</sup>

### ÖZET

Global dünyada enerjiye olan talebin artışı; kömür orijinli üretim miktarlarının da buna paralel olarak artmasına ve gün geçtikçe daha derin damarlara inilmesine neden olmuştur. Özellikle derin sahalarda yapılan kömür üretimleri, iş sağlığı ve güvenliği konularının daha da önem kazandığı günümüzde, ileride yaşanması muhtemel ani kömür ve gaz püskürmesi gibi facialar için zemin hazırlamaktadır. Önceki dönemlerde de sıklıkla karşılaşılmış bu facia ve trajedileri minimize etmek ve kömür damarının bu tip özelliklerine göre gerek üretim gerekse de havalandırma planlarını oluşturmak adına, kömür damarının gaz içeriğini belirlemek hayati önem taşımaktadır. Yapılan bu çalışmada; genel olarak kömür damarlarının gaz içeriğini tespit etmede kullanılan yöntemler üzerinde bilgiler verilmiş ve geçmişten günümüze kadar ülkemizde ve dünyada envanterlere girmiş gaz ve kömür püskürmesi olayları ile ilgili bilançolara değinilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Ani Gaz Püskürmesi, Kömür, Kömür Gaz İçeriği

### ABSTRACT

Global increase in the demand of energy has resulted in a parallel increase of coal originated production together with causing the extraction of coal from deeper horizons. Coal production, at today's increasingly awareness issues towards the occupational health and safety, realized specifically in deeper seams establishes a ground for possible disasters such as instantaneous coal and gas outburst in the future. It is vitally important to ascertain the gassiness of the coal seams for minimizing the tragedies encountered very often in the past by means of composing production and ventilation plans according to the specifications of coal itself. In the present work, the methods used to define the gas content of coal seams in general together with gas and coal outburst events taking place in the world and Turkey found in the inventories in a chronological order.

**Keywords:** Coal, Coal Gas Content, Instantaneous Gas Outburst

---

<sup>1</sup> Arş.Gör.Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43270, Kütahya, e-mail:ozer.oren@dpu.edu.tr

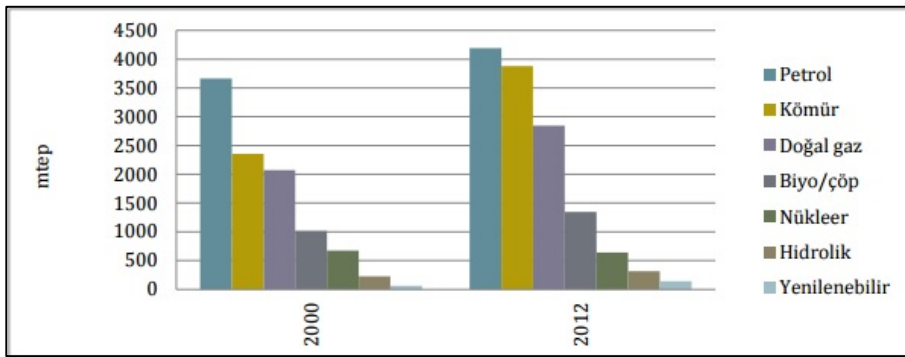
<sup>2</sup> Arş.Gör., Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43270, Kütahya, e-mail:mehmet.ozdemir@dpu.edu.tr

<sup>3</sup> Prof.Dr., Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, 43270, Kütahya, e-mail:cem.sensogut@dpu.edu.tr

Yazışmaların yapılacağı yazar: Cem ŞENSÖĞÜT, cem.sensogut@dpu.edu.tr

## 1. GİRİŞ

Madencilik, insanlığın varoluşundan itibaren yaşamsal gereksinimlerin karşılanması hususunda hem yeraltı hem de yerüstü kaynakları ile beraber çok kilit bir rol oynamaktadır. Ülkelerin gelişmişlik düzeyinin en önemli göstergesi olan kişi başına enerji tüketiminin temel girdilerinden olan kömür; günümüz dünyasında rüzgâr, güneş, nükleer enerji ve jeotermal gibi alternatif enerji kaynakları ile kıyaslandığında vazgeçilemez olduğunu sürekli ispat etmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın verilerine göre, 2000–2012 yılları arasında dünyadaki enerji arzı sırası ile petrol için %36,4'ten %31,4'e, nükleer enerji için %6,7'den %4,8'e düşerken, doğalgazın payı ufak bir artışla %20,6'dan %21,3'e yükseliş göstermiştir. Bu değerler arasında %23,4'ten %29 düzeyine çıkan artış değeri ile kömür en dikkat çekici istatistiklere ulaşmıştır. Söz konusu değişime ait grafik Şekil-1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. 2000–2012 yılları arası kaynaklara göre Dünya birincil enerji arzı [33].

Enerji arzı için bu boyutlarda önemli olan kömürün üretimi yeraltı madenciliği açısından büyük risklere sahip bir iş koludur. Özellikle oluşumu itibari ile sayısız fizikokimyasal süreçten geçen kömürün yapısında insan sağlığını olumsuz yönde etkileyebilecek CO, CO<sub>2</sub>, metan ve hidrokarbonlar ile H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi zehirleyici ve boğucu gazlar bulunmaktadır. Saklı kalan bu gazların büyük bir miktarı biyolojik bozulmaya maruz kalan organizmaların çökeldikleri derinliğin artmasına bağlı olarak oluşmuştur. Araştırmalarda; kömürleşme sürecinde 1 ton kömür ile birlikte hacmi 2300 m<sup>3</sup>'e kadar ulaşan oranlarda gaz birikiminin olduğu ifade edilmektedir [19]. Kömür içerisinde birikmiş halde ve belirli basınçlarda bulunan bu gazlar, madencilik faaliyetleri sonrasında kömür yapısından ani gaz ve kömür püskürmesi şeklinde ortamı terk edebilmekte ve bu olay neticesinde ciddi can ve mal kayıplarının yaşandığı kazalar meydana gelebilmektedir [32]. Söz konusu bu kazaların önüne geçebilmek adına, ani gaz püskürmesi mekanizmasını ve bu mekanizmayı etkileyen faktörleri bilmek, ayrıca söz konusu kömür damarının gaz içeriğini niceliksel olarak belirlemek son derece önemlidir.

## 2. ANİ GAZ PÜSKÜRME Sİ MEKANİZMASI VE SÜRECİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Ani gaz püskürmesi; yeraltı kömür ocaklarında üretim ve hazırlık çalışmaları sırasında; jeolojik ve tektonik nedenler ile basınç altında sıkışmış olarak bulunan gazların ani olarak ocak açıklıklarına kömürle veya çevresinde bulunan kayaçla beraber püskürerek açığa çıkması işlemi olarak tanımlanmaktadır [34].

Maden ocaklarında meydana gelen gaz ve kömür patlamaları, yeraltı madenciliğinin işleyişini negatif yönde etkileyen unsurlar arasındadır. Gaz patlamaları birkaç metre küp hacimden binlerce metre küp hacimlere kadar yayılım gösterebilmektedir. Gaz içeriği genelde metan, karbondioksit ve diğer karışımlardan oluşmaktadır. Patlamalarda kömür, daha çok pulverize ve akışkan haldedir [3].

Bir gaz püskürmesinde etkin olan faktörler, her maden ocağında farklılıklar gösterebilse de, aşağıda belirtilmiş dört unsur bunların en önemlileri ve çoğunlukla kabul görenleridir [21].

- Gaz içeriği,
- Jeolojik yapılar,
- Gerilme koşulları ve
- Malzeme özellikleri

Kömür damarının ve çevre kayaçların jeolojik ve tektonik yapısı ani gaz püskürmesinin yerini belirler. Fay gibi jeolojik parametrelerin azlığı püskürmenin oluştuğu derinliği bile azaltabilir. Özellikle gerilme, püskürmeyi başlatmada etkindir. Ayrıca gerilmelerin büyüklüğü kayacın kırılmasına ve pulverize halde yüksek şiddetli patlamaların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Gaz içeriği ise olayda açığa çıkan enerjiyi ve malzemeyi ötelemede etkili olmaktadır. Bahsedilen bu dört etmenden gaz içeriği, jeolojik yapı ve malzeme özelliklerinin ölçümü ve tahmini kolay olmasına rağmen gerilme ölçümlerinin gerçekleştirilmesi, faal halde olan yeraltı madenlerinde zorlu ve imkânsıza yakındır [21]. Gaz birikimi sonucu oluşan püskürme; kömür damarı içerisinde serbest halde bulunan gazın kazı işlemi neticesinde önündeki engelin kalkması ve kömürü kazı boşluğuna doğru ötelenmesi olarak tanımlanırken; kayaç basıncına dayandırılan kuram ise, meydana gelen püskürmeleri üst kısımdaki katmanların ağırlığına ve bu katmanların damar ve tavan taşı üzerinde yarattığı gerilime bağlamaktadır [30]. Yeraltı şartlarında basınç kemeri teorisine göre üretim panolarında ayak önündeki kömürden ileri doğru gidildikçe, kömür damarı üzerine gelen basınç maksimum değerine ulaşmış belirli bir mesafeden sonra ise yerçekimsel basınç değerlerine ulaşmaktadır. Dolgu ve göçük üzerindeki basınçlar ise arından uzaklaştıkça kömürlü zona göre daha az artmakta, fakat ilerledikçe yerçekimsel basınç değerlerine ulaşmaktadır [18]. Böylelikle oluşan basınç artışlarının ani gaz püskürmelerini tetiklediği düşünülmektedir.

Ani gaz püskürmesinin oluşumuna dair geçmişten günümüze kadar farklı mekanizmalar öne sürülmesine karşın; söz konusu olayın ana nedeni olarak gaz birikimi ve kayaç basıncı olmak üzere iki faktör altında toplanmaktadır. Gaz püskürmelerine ait bu iki nedeni temel alan farklı teoriler öne sürülmüştür. Bu teorileri Yuva ya da Cep Teorisi, Dinamik Teori ve Çok Faktörlü Teori olmak üzere üç ana başlık altında toplamak mümkündür [14], [6].

Yuva ya da Cep Teorisi'ne göre; damar içerisindeki yuvalarda çok ince halde bulunan kömür tozu ile gaz; madencilik faaliyetleri sırasında yuvalara yaklaşılmaması durumunda arın basıncının etkisi ile birlikte püskürmelere neden olmaktadır [12].

Dinamik Teori ya da diğer ismi ile Kaya Basıncı Teorisi; madencilik aktiviteleri sonucu arın çevresinde oluşan kaya basıncının, üretim yerinin ötelenmesi ile birlikte kömür damarının dayanıklılığını azalttığını ve püskürme için elverişli koşulları sağladığını ifade etmektedir [12]. Ayrıca ocak çevresindeki hareketliliğin de gaz püskürmelerine neden olduğu özellikle patlatma işlemlerinden sonra gaz püskürmesi olaylarına rastlanıldığı da vurgulanmaktadır [7].

Çok Faktörlü Teori ise; püskürmeye neden olan etmenleri tek bir başlık altında toplamaktan ziyade, söz konusu olayın çıkış noktasını kömür ve kayacın yapısal özellikleri, damarın içerdiği gaz miktarı gibi birden fazla faktörün etkisine dayandırmaktadır [12].

Öne sürülen teoriler ne olursa olsun, genel olarak ani gaz ya da kömür püskürmesinin gerçekleşebilmesi için aşağıdaki koşulların meydana gelmesi gerekmektedir [25]:

- Kömür damarı içerisinde yeterli bir gaz konsantrasyonuna sahip bir zon bulunmalıdır,
- Gaz ve kömür arasındaki bağlantı kayaç basıncı aracılığıyla ortadan kalkmalıdır,
- Püskürme için gerekli olan gaz basıncı yeterli bir hıza erişmelidir,
- Meydana gelen yüksek basınçlı zonun yeterli büyüklükteki bir yüzeyden yeterli bir uzaklıkta olması gereklidir,
- Aynı şekilde püskürmenin oluşabilmesi için kömürün gerekli gaz geçirgenliğine ve parçalanma derecesine sahip olması şarttır.

Yukarıda bahsi geçen koşulları etkileyen birden fazla faktör bulunmaktadır. Bu faktörler zaman zaman kömür damarının yapısal ve jeolojik özellikleri olabildiği gibi, damar çevresinde bulunan kayacın nitelikleri de ani püskürme mekanizmasını hızlandırıcı bir rol üstlenebilmektedir. Genel olarak gaz püskürmesi yüksek gaz içeriği, gaz desorpsiyon oranı ve gerilim derecesine sahip hızlı üretilen kömür damarlarında oluşmaktadır. Bunların dışında kömür geçirgenliği, madenin derinliği ve kömürün ince taneli olması da gaz püskürmesinde etkili olan diğer faktörler olarak sıralanabilmektedir [22]. Belirli spesifik özelliklere sahip olan kömür damarlarının gaz püskürmesine daha yatkın olduğu da araştırmacılar tarafından tespit edilmiştir. Bu şartları aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür [21]:

- Gaz içeriği (metan) > 8 m<sup>3</sup>/t,
- Permeabilite < 2 md,
- Mekanik dayanım < En düşük asal gerilme.

Bu etmenler arasında özellikle kömür damarının jeolojik yapısı büyük bir önem arz etmektedir. Jeolojik faktörler; kömür damarının geometrik özellikleri ve oluşum mekanizmasını belirleyen parametreler ile yine damarın ve komşu kayaçların tektonizma davranışları olarak ikiye ayrılmaktadır [12]. Geçmiş dönemlerde yapılan çalışmalarda; üretim derinliğinin artması ile birlikte kömürün gaz depolama kapasitesinin ve damar üzerine binen kaya basıncının da arttığı belirtilmiştir [20]. Bunun dışında kömür damar kalınlığının aniden artması gaz içeriği ve basıncının da buna bağlı olarak artmasına ve kömürün elastisite modülünün azalarak kırılabilirliğinin yükselmesine neden olabildiği ifade edilmiştir [36]. Kömür bünyesinde bulunan yüksek vitrinit ve inertodetrinit gibi litotiplerin de püskürme için gerekli olan gazın depo edilmesini kolaylaştırdığı araştırmacılar tarafından ortaya konulmuştur [3]. Farklı bir araştırmada da kömürdeki vitrinit yansıma ve sabit karbon değerlerinin artması ile birlikte, metan içeriğinin doğru orantılı olarak arttığı ifade edilmiştir [16]. Ayrıca kömürleşme derecesine göre az olandan çok olana doğru derece arttıkça kömürün gaz adsorpsiyonu artmakta, gaz içeriği ve püskürme miktarı çoğalmaktadır [24].

### **3. KÖMÜRÜN GAZ İÇERİĞİNİN TESPİT EDİLMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER**

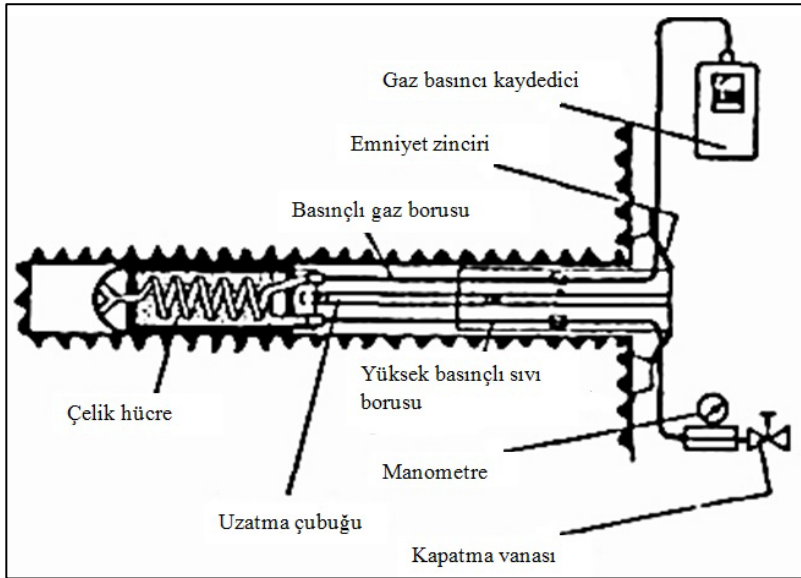
Ani gaz ya da kömür püskürmesine neden olan etmenlerin başında kömürün içerdiği gaz

miktarı gelmektedir. Bundan dolayı kömürün gaz içeriğinin tespit edilmesi ileriki dönemlerde söz konusu ocak veya ocaklarda yaşanması muhtemel kazaların önüne geçilmesi adına hayati bir önem taşımaktadır. Bu bağlamda kömür damarlarının gaz içeriğini belirlemek adına kullanılan yöntemleri dolaylı, doğrudan ve görgül yöntemler olmak üzere üç ana kısımda incelemek mümkündür [10].

### 3.1. Dolaylı Yöntemler

Bu yöntemde, kömür damarını temsil edecek şekilde alınan numuneler üzerinde sabit sıcaklık altında adsorpsiyon-desorpsiyon deneyleri yapılmakta ve mevcut kömür damarı için adsorpsiyon izotermi oluşturularak damarın orijinal gaz basıncı tahmin edilmektedir [12]. Damarın gaz basıncı yeraltında açılan yatay bir sondaj deliği ile ölçülebildiği gibi, yeryüzünden indirilen düşey bir sondaj deliği ile de bu ölçüm yapılabilmektedir. Şekil 2’de yatay sondaj ile açılan bir delikten yapılan gaz ölçüm düzeneği ile ilgili ayrıntılar görülmektedir [11].

Yeraltında açılan yatay deliğe bir boru yerleştirilerek kömür içerisindeki uç kısmı dışında sızdırmazlık sağlanmaktadır. Bu boru, delik ağzında bir manometreye bağlanmak sureti ile damar içerisindeki gaz basıncı ölçülmektedir. Düşey deliklerden gaz basıncı ölçülmesinde ise "Drill Stem Test" gibi sondaj tekniklerinden yararlanılmaktadır [11].



Şekil 2. Yeraltında yatay sondaj ile gaz içeriğinin belirlenmesi.

### 3.2. Doğrudan Yöntemler

Kömürün gaz içeriğini belirlemek için kullanılan birçok yöntem olmasına karşın, özellikle günümüzde doğrudan yöntemler olarak adlandırılan metotlar daha yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Yöntemin esası; ocak ve laboratuvar ortamında direk olarak ölçülebilen veya tahmin edilebilen kayıp gaz (lost gas), desorbe gaz (desorbed gas) ve artık gaz (residual gas)

değerlerinin toplanarak damarın gaz içeriğini belirlemeye dayanmaktadır [26]. Toplam gaz içeriğinin bahsedilen bu elemanlarını belirlemek için yıllar içinde farklı araştırmacılar tarafından değişik yaklaşımlar öne sürülmüş olsa da ([17], [35], [29], [5], [31], [28]), Bertard vd. (1970) tarafından Fransız Kömür Araştırma Merkezi CERCHAR’da yaptıkları çalışmalar sonraki uygulamalar için temel teşkil etmektedir [4]. Aşağıda toplam gaz içeriğinin belirlenmesinde kullanılan bileşenler ana hatları ile özetlenmiştir:

### 3.2.1. Kayıp gaz miktarı (Q1)

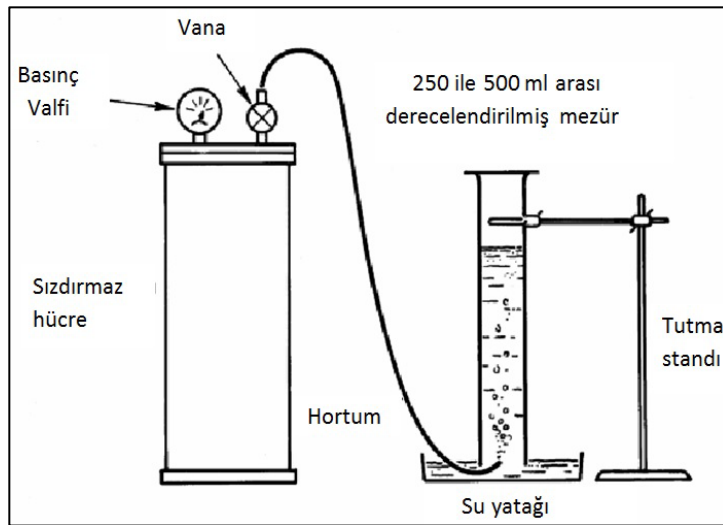
Kayıp gaz miktarı örneğin damardan kazılıp sızdırmaz kap içerisine alınmaya kadar olan süre zarfında kömür numunesinden açığa çıkan gazı ifade etmekte olup, bu gaz miktarı toplam gaz miktarının bir bölümünü oluşturmaktadır [8]. Kayıp gazın değeri direk olarak ölçülememekle birlikte, desorpsiyon ölçümlerinden tahmin yolu ile çıkarılmaktadır [12].

### 3.2.2. Desorbe (Yayılan) gaz miktarı (Q2)

Kömür damar gaz içeriğinin ikinci bileşeni olan ve “yavaş” yayılan gaz olarak ifade edilen desorbe gaz miktarı (Q2); sızdırmaz kap içerisinde ocaktan laboratuvara getirilen kömür örneklerinden ulaşım süreci boyunca açığa çıkan gazı ifade etmektedir [27].

### 3.2.3. Artık gaz miktarı (Q3)

Üçüncü ve son bileşen olan artık gaz miktarı (Q3) ya da diğer adı ile “hızlı” yayılım gazı ise; laboratuvara getirilen kömür numunesinin değirmende yaklaşık olarak 150 ~ 200 µm boyutlara gelinceye kadar ki süreç içerisinde bünyesinden yayılan gaz miktarını ifade etmektedir. Burada gas desorpsiyon ölçümlerinin atmosferik basınçta gerçekleştirilmesine dikkat edilmelidir [27], [2]. Toplam gaz içeriğinin tespit edilmesi kullanılan yöntem açısından farklılıklar içerirse de, genel olarak bahsi geçen bileşenlerin belirlenmesinde de Şekil 3’te temsili olarak gösterilen düzeneklerden faydalanılmaktadır [9].



Şekil 3. Doğrudan gaz hacim ölçme aparatları.

### 3.3. Görgül Yöntemler

Doğrudan yöntemler ile elde edilmiş sonuçları baz alarak geliştirilmiş olan görgül yöntemler; kömür damarı gaz içeriğini tespit etmek adına deney ve ölçüm sayısını azaltmayı ve bu sonuçları ampirik bağlantılar ile ifade etmeyi amaçlamaktadır [10], [2]. Bilgisayar destekli program kullanımlarının artması ve yeraltı şartlarının modellenmesi yönünde atılan olumlu adımlar, görgül yöntemlerin uygulama sahasını günümüzde üst seviyelere çıkartmıştır. Fakat geliştirilen model ve bağlantıların spesifik bölgelere odaklı olması, söz konusu yaklaşımların farklı bölgelerde kullanılması yönünde ciddi şüphelere neden olabilmektedir [11].

## 4. ANI GAZ PÜSKÜRMESİNE KARŞI ALINABİLECEK TEDBİRLER

Kömür madenciliğinin en önemli sorunlarından biri olarak kabul edilen ani gaz ve kömür püskürmeleri geçmişten günümüze kadar dünyanın farklı bölgelerinde ciddi can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Tablo 1’de gerek ülkemizde gerekse de dünyada kayıt altına alınmış ani gaz püskürmesi vakaları ve bu vakalara ait bilançolar gösterilmektedir [13]. Bu denli önemli bir sorunu bertaraf etmek ve ileriki dönemlerde yaşanması muhtemel kazaların önüne geçebilmek adına, maden ocağının hazırlık aşamasından kazı sürecine kadar gerekli tedbirleri hayata geçirmek son derece büyük bir önem arz etmektedir.

Kömür ve gaz püskürmesinin oluşmasında öncelikle bu olaya eğilimli bölgelerin belirlenmesi ve bu bağlamda acil eylem planlarının oluşturulması büyük önem taşımaktadır. Bunun için makroskopik gözlemler, olayda rol oynayan etkenlerin araştırılması (ettinger sorpsiyon/desorpsiyon indeksi,  $\Delta P0-60$  indeksi,  $\Delta P$ express indeksi, Polonya desorbometresi, kt indeksi, gaz emisyon v-indeksi ve hargraves emisyon indeksi), gaz içeriğinin belirlenmesi, gaz akış indeksi-g, kırıntı geliri-s, damar kalınlığı değişim indeksi-Mm, V30 indeksi ve kömür darbe dayanım indeksi gibi unsurların araştırmalarda ön planda tutulması gerekmektedir [12].

Püskürmeye eğilimli bölgelerde kömür üretiminden önce sondajlar yapılmalı, gaz boşluklarda toplanmalı ve daha sonra boşlukta toplanan bu gazın drene edilerek püskürme olayını tetikleyecek şartların azaltılması sağlanmalıdır. Ani gaz püskürmesinden şüphe edilen ocaklarda martopikör kazısı yapılmamalı, kazı alanı ve dönüş yolunda hiçbir personel bulundurulmamalıdır [34].

Kömür ve gaz püskürmesinin olduğu ve olma ihtimali yüksek bölgelerde oksijen yetersizliğine maruz kalabilecek personel için sığınma odaları veya oksijen istasyonları tasarlanmalı ve maden üretim noktalarına uygulanmalıdır. Metan ölçüm dedektörleri maden sahasının püskürmeye yatkın bölgelerine yerleştirilmeli, her vardiyada kontrol yapılmalı ve gözlem odalarında sınır değerler baz alınarak uyarı sistemleri oluşturulmalıdır.

Tablo 1. Dünyadaki Kömür Gaz Püskürmesi Bilançosu.

Ülke	Bölge	Püskürme Çeşidi (Kömür/Kaya)	Zaman	Vaka Sayısı
Almanya	Ruhr ve Aachen	Kömür+Kaya (CH <sub>4</sub> )	1903-2010	419
Avustralya	Sidney ve Bowen	Kömür(CH <sub>4</sub> +CO <sub>2</sub> )	1895-2010	>730
Belçika	Güney Kömür Sahası	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1847-1965	487
Bulgaristan	Balkan	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1933-1989	>250
Çek Cumhuriyeti	Ostrava, Slany, Oslavany	Kömür+Kaya (CH <sub>4</sub> +CO <sub>2</sub> )	1894-2004	626
Çin	Genel	Kömür+Kaya (CH <sub>4</sub> )	1951-2012	>20.000
Fransa	Genel	Kömür+Kaya (CH <sub>4</sub> +CO <sub>2</sub> )	1899-1989	>6.814
Güney Afrika	Highveld	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1993-1994	5
İngiltere	West Wales	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1901-1981	250
İspanya	Asturian	Kömür(CH <sub>4</sub> )	2009-2010	5
Japonya	Hokkaido ve Kyushu	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1926-1986	920
Kanada	Nanaimo, Crows Nest Canmore, Sidney	Kömür+Kaya (CH <sub>4</sub> +CO <sub>2</sub> )	1903-1984	>548
Kazakistan	Karaganda	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1956-2012	55
Macaristan	Mecsek	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1894-1989	600
Polonya	Upper Silesia	Kömür(CH <sub>4</sub> +CO <sub>2</sub> )	1894-1995	>2.000
Romanya	Anima-Resica	Kömür(CH <sub>4</sub> )	-	20
Rusya	Genel	Kömür+Kaya (CH <sub>4</sub> )	1943-1990	646
Tayvan	Genel	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1972-1986	61
Türkiye	Zonguldak	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1969-2013	89
Ukrayna	Donetsk	Kömür+Kaya (CH <sub>4</sub> )	1951-2001	5866
Yeni Zelanda	Mount Davy	Kömür(CH <sub>4</sub> )	1997-1999	21

Her maden ocağının kömür ve gaz püskürmesi dâhil diğer bütün tehlikeler için bir tahliye planı olmalı, sürekli tatbikatlar yapılmalı ve simülasyonlar ile olayın sonuçlarının daha görsel ve anlaşılır hale gelmesi sağlanmalıdır.

Ayrıca vardiya başına en az iki defa kontrol yapılmalı ve olasılığı yüksek olan bölgelerde başyukarı açılması gaz birikiminin çalışma alanında toplanmasına sebep vereceğinden baş aşağı şeklinde üretim yapılmalıdır. Kömür ve gaz püskürmesi olayları daha çok fay zonları ve diğer süreksizliklerin olduğu lokasyonlarda meydana geldiğinden şüpheli bölgelerde en az damar kalınlığının iki katı kadar topuk bırakılmalıdır [34].

Delik delme sırasında kömür ve gaz püskürmesi riski var ise, sondaj makineleri sabit hale getirilmeli ve uzaktan kumandalı olarak idaresi yapılmalıdır. Sondaj makinesi ile püskürme zonunun etkisini azaltan rahatlatma sondajları yapılırken teçhizatın en az 20 metre yakınına kadar hiç kimse yaklaşmamalıdır. Ayrıca sondaj yapılırken ayna tarafı ve çevresi için metan dedektörü bulundurulmalıdır [34].

Patlatmalardan sonra, açığa çıkan gazlar ve gaz püskürmesini tetikleyecek koşullar oluşmaması için yeraltı maden ocaklarında havalandırma sistemleri, galerilere yeterli havayı vermeli ve havalandırma programları ile basınç kayıpları, şok kayıpları, hava debileri, vantilatörler, ocak gazları ve ilgili etmenler sürekli kontrol edilmelidir.



Bazı ülkelerde ani gaz püskürmelerinin meydana geldiği bölgeler su ile doygunlaştırılarak olayın etkisi azaltılmaktadır. Bu işlemin ana amacı; kırıkların ve çatlakların su ile doldurularak gazların bu bölgelerden püskürmesi ve olayın meydana gelmesini engellemektir [15], [1].

Maden ocakları için günümüz madencilik programları ile üretim ve hazırlık aşamalarında iki veya üç boyutta gerilme analiz testleri ve bunların ilgili noktalara etkisinin bulunması ve değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu program ile gerilme analizleri sayesinde şüphelenilen gaz püskürme noktaları için risk analizleri yapılabilir.

Yetkili bir kişi tarafından iş güvenliği tedbirleri ile tehlikeli bölgeler derecelendirilmeli, personel bu bölgeler hususunda uyarılmalı ve gerekli tedbirler alınarak olayın meydana gelme olasılığı azaltılmalıdır.

Önemli bir diğer husus ise madencilik çalışmalarının ve tehlike arz eden bölgelerin üretim haritalarında açık bir şekilde gösterilmesi ve her değişikliğin ilgili haritaya işlenmesidir.

## 5. SONUÇ

Gaz ve kömür püskürmesi olayı, birçok faktörün etkisinde gerçekleşebilen ve meydana geldiğinde domino etkisi yaratan bir doğa faciasıdır. Bu konu ile ilgili gerekli tedbirlerin alınması, söz konusu eğitimlerin maden ocağında görevli personele özenle ve titizlikle aktarılması ve ocak içerisindeki şartların periyodik olarak kontrol edilmesi gerekmektedir. Dünya genelinde artan enerji ihtiyacının gelecek dönemlerde de kendini daha fazla hissettireceği düşünüldüğünde, özellikle ülkelerin enerji politikalarında stratejik bir öneme sahip olan kömür ve kömüre dayalı madencilik faaliyetlerinin daha derin damarlara inilmesi ve kazanılması yönünde bir ivme kazanacağı açıktır. Özellikle kömür kaynaklı metan oluşumunun madencilik her döneminde dramatik kazalara ve ölümlere neden olduğu ve kömür damarının içinde depo halde bulunan bu gazların atmosferik ölçekte sera gazı emisyon değerlerini de arttırdığı bilinmektedir. Ayrıca söz konusu gazların günümüz teknolojik gelişmeleri de dikkate alındığında alternatif bir enerji kaynağı olarak ta kullanılabilecek olması, kömür damarının gaz içeriğini tespit etmenin gerekliliğini net bir şekilde ortaya koymaktadır. Gün geçtikçe artan iş sağlığı ve güvenliği bilinci ve buna bağlı olarak oluşturulan yönetmelik ve mevzuatlar açısından da konunun önemine dikkat çekilmiştir. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nin 12.5.1. maddesi (a), (b) ve (c) bentlerinde bu durum belirtilmiş ve gaz içeriklerinin belirlenmesi zorunlu hale getirilmiştir [23]. Bu bağlamda kömürün gaz içeriğini ve ani gaz püskürmesi potansiyelini belirlemek ve maden ocağına ait üretim planlarını şekillendirmek ileriki periyotlarda yaşanması muhtemel olan kazaların önüne geçilmesi adına farkındalık yaratacaktır.

## KAYNAKLAR

[1] Aguado M.B.D., Nicieza C.G., 2007, Control and prevention of gas outbursts in coal mines: Riosa–Olloniego coalfield - Spain, International Journal of Coal Geology, 69,253-266.

[2] Barış, K., Oskan, M., Didari, V., 2015, TTK Armutçuk Müessesesi büyük damar gaz içeriğinin doğrudan ölçme yöntemiyle belirlenmesi, Madencilik, 54/2,3-12

- [3] Beamish, B.B., Crosdale, P.J., 1998, Instantaneous outbursts in underground coal mines: an overview and association with coal type. *International Journal of Coal Geology*, 35, 27–55
- [4] Bertard, C., Bruyet, B., Gunther, J., 1970, Determination of desorbable gas concentration of coal (direct method). *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science*, 7,43-65
- [5] Chase, R.W., 1979, A comparison of methods used for determining the natural gas content of coalbeds from exploratory cores, US Department of Energy, METC/CR-79/18, 257 pp.
- [6] Chen, K.P., 2011, A new mechanistic model for prediction of instantaneous coal outbursts — Dedicated to the memory of Prof. Daniel D. Joseph, *International Journal of Coal Geology*, 87,72-79
- [7] Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB), 2011, Yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği rehberi, 43, s.138
- [8] Diamond, W.P. and Schatzel, S.J., 1998, Measuring the gas content of coal: a review, *International Journal of Coal Geology*, 35,311-331
- [9] Diamond, W.P., Schatzel, S.J., Garcia, F., Ulery, J.P., 2001, The Modified Direct Method: A Solution for Obtaining Accurate Coal Desorption Measurements. *Proceedings International Coalbed Methane Symposium*, Tuscaloosa, Alabama,331-342.
- [10] Didari, V., Çakıra, A., 1996, TTK Karadon işletmesi büyük damarında metan gazı içeriğinin incelenmesi, *Madencilik*, 35/3,27-37
- [11] Didari, V., Ökten, G., 1989, Taşkömürünün içerdiği gaz miktarının ölçülmesinde uygulanan yöntemler, *Madencilik*, 28/1,17-23
- [12] Esen, O., 2013, Türkiye Taşkömürü Kurumu Ocaklarındaki Ani Gaz Ve Kömür Püskürmesi Olaylarının Değerlendirilmesi ve Olayları Etkileyen Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, Türkiye
- [13] Fisne, A., Esen, O., 2014, Coal and gas outburst hazard in Zonguldak Coal Basin of Turkey and association with geological parameters, *Natural Hazards*, 74,1363-1390
- [14] Guan, P., Wang, H., Zhang, Y., 2009, Mechanism of instantaneous coal outbursts, *Geology*, 37,10,915-918
- [15] Jackson, L.J., 1984, Outbursts in coal mines, Technical Report, No: ICTIS/ TR25, Int. Energy Agency Coal Res., London. 55 pp.
- [16] Karmakar, B., Ghosh, T., Ojha, K., Pathak, A.K., Devraju, J., 2013, Effects of chemical composition and petrography of coal for coalbed methane evaluation with special

reference to in-situ gas content, 10th Biennial International Conference & Exposition, Kochi, India

[17] Kissell, F.N., C.M. McCulloch, C.H. Elder, 1973, The Direct Method of Determining Methane Content of Coalbeds for Ventilation Design, U.S. Bureau of Mines, Report of Investigations 7767, 17 p.

[18] Köse H., Kahraman B., 2009, Kaya Mekaniği Ders Kitabı, 4. Baskı, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fakültesi Basım Ünitesi, İzmir, Türkiye

[19] Kural, O., 1998, Kömür Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş.

[20] Lama, R.D., Bodziony, J., 1998, Management of outburst in underground coal mines, International Journal of Coal Geology, 35,83–115

[21] Lama, R.D., Saghafi, A., 2002, Overview of gas outbursts and unusual emissions, Proceedings of Coal Operators' Conference, University of Wollongong, Australia, pp. 74–88

[22] Li, G., Saghafi, A., 2014, Comparing potentials for gas outburst in a Chinese anthracite and an Australian bituminous coal mine, International Journal of Mining Science and Technology, 24,391-396

[23] Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 2013, T.C. Resmi Gazete, 28770, 19.09.2013

[24] Ökten, G., 1983, Zonguldak Taşkömür Havzasındaki Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi Olaylarının İncelenmesi ve Olaya Eğilimli Zonların Belirlenebilirliğinin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ, İstanbul, Türkiye

[25] Ökten, G., Kural, O., 1976, Ani gaz ve kayaç püskürmelerinin oluşumu, Madencilik, 15/3,14-18

[26] Özer, S.C., Ergenekon, Ö.A., Esen, O., Fişne, A., 2015, Zonguldak taşkömürü havzası kömür damarlarının gaz içeriklerinin belirlenmesi, MT Bilimsel-Yeraltı Kaynakları Dergisi, 4,7,51-66

[27] Saghafi, A., 2016, Determination of the gas content of coal, Proceedings of Coal Operators' Conference, University of Wollongong, Australia, 347-356

[28] Saghafi, A., Williams, D.J., Roberts, D.B., 1995, Determination of coal gas content by quick crushing method, CSIRO Investigation Reports, CET/IR391R, 9 pp.

[29] Smith, D.M., Williams, F.L., 1981, A new technique for determining the methane content of coal, Proceedings 16th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference, New York, 1272-1277

[30] Sorbbe, J., Kocal, K., 1978, Ani metan ve kömür püskürmeleri, Madencilik, 17/3,25-34

[31] Standards Association of Australia, 1991, Australian Standards AS 3980: Guide to the determination of desorbable gas content of coal seams-direct method, North Sydney, NSW

[32] Şensöğüt, C., Barış, K., 2015, Kömür Damarlarının Gaz İçeriğinin Belirlenmesi - Örnek Bir Uygulama, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30,1,223-229

[33] Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ), 2015, Kömür Sektör Raporu (Linyit) 2014.

[34] Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK), 2009, Türkiye Taşkömürü Kurumu Ani Gaz Ve Kömür Püskürmesi (Degaj) Olaylarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Yönergesi

[35] Ulery, J.P., Hyman, D.M., 1991, The modified direct method of gas content determination: application and results, Proceedings the Coalbed Methane Symposium, The University of Alabama, Tuscaloosa, 489-500

[36] Zhai, C., Xiang, X., Xu, J., Wu, S., 2016, The characteristics and main influencing factors affecting coal and gas outbursts in Chinese Pingdingshan mining region, Natural Hazards, 82,507-530.