

PAPER DETAILS

TITLE: Derin Yeraltı Kömür Madenlerinde Metan Drenaj Etkinliğinin İncelenmesi: Örnek Bir Uygulama

AUTHORS: Ergin Kahraman, Salih Tire

PAGES: 173-189

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4298606>

Derin Yeraltı Kömür Madenlerinde Metan Drenaj Etkinliğinin İncelenmesi: Polyak Eynez Örneği

Ergin KAHRAMAN^{1*}, Salih TİRE¹

¹ Polyak Eynez A.Ş., İzmir, Türkiye

Sorumlu Yazar/Corresponding Author
E-mail: erginkahraman@yahoo.com

Araştırma Makalesi/Research Article
Geliş Tarihi/Received: 18.10.2024
Kabul Tarihi/Accepted: 01.12.2024

Öz

Artan hammadde talebi ve yüzeye yakın madenlerin tükenmesi, kömür madenciliğinde daha derinlere inilmesini ve mekanize sistemlerle üretim hızının artırılmasını zorunlu hale getirmiş, bu da metan emisyon oranlarının yükselmesine yol açmıştır. Kömür içerisinde bulunan bu tür yanıcı gazlar, madencilik operasyonlarının güvenlik süreçlerini doğrudan etkilemekte olup, özellikle metan gazı, yeraltı kömür madenciliğinde temel bir tehlike kaynağıdır. Ocak güvenliğinin sağlanabilmesi için metan gazının etkin bir şekilde kontrol altına alınması büyük önem taşımaktadır. Hazırlık ve üretim aşamalarında oluşan metan gazının çalışma ortamına karışmadan güvenli bir alana veya yeryüzüne yönlendirilmesi (metan drenajı) kritik bir faaliyettir. Metan drenaj çalışmaları temel olarak yeraltından ve yerüstünden uygulama şeklinde olmak üzere birçok farklı yöntemle yapılabilmektedir. Pratikte, metan drenajının nasıl yapıldığı, dünyadaki uygulama şekilleri ve drenaj işlemine ait maliyetler gibi hususların bilinmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, metan gazının etkin ve güvenli yönetimi için alınması gereken önlemler belirlenmiş, Polyak Eynez A.Ş.'de derin kömür madeninde uygulanan metan drenaj sistemi analiz edilerek teknik değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: İş sağlığı ve güvenliği, Maden havalandırması, Metan drenajı, Yeraltı kömür madenciliği.

Investigation of Methane Drainage Efficiency in Deep Underground Coal Mines: Polyak Eynez Study

Abstract

Increasing demand for raw materials and the depletion of near-surface mines have made it necessary to go deeper into coal mining and increase the production rate with mechanized systems, leading to increased methane emission rates. Such flammable gases in coal directly affect the safety processes of mining operations, and methane gas is a major danger source in underground coal mining. Effective control of methane gas is important to ensure mine safety. Diversion of methane gas generated during the preparation and production stages to a safe area or the surface (methane drainage) without mixing with the working environment is a critical activity. Methane drainage works can be carried out in many different methods, mainly underground and above surface applications. It is important to know how methane drainage is done in practice, its application in the world and the costs of the drainage process. In this study, the necessary measures for the effective and safe management of methane gas have been identified, and the methane drainage system implemented in the deep coal mine of Polyak Eynez A.Ş. has been thoroughly analyzed, followed by comprehensive technical evaluations.

Keywords: Methane drainage, Mine ventilation, Occupational health and safety, Underground coal mining.

Cite as;

Kahraman, E., Tire, S. (2024). Derin yeraltı kömür madenlerinde metan drenaj etkinliğinin incelenmesi: polyak eynez örneği. *Recep Tayyip Erdogan University Journal of Science and Engineering*, 5(2), 173-189. DOI: 10.53501/rteufemud.1569804

1. Giriş

Yeraltı kömür madenciliğinde faaliyetler sırasında karbondioksit, metan, hidrojen sülfür, hidrojen, vb. birçok gaz ile karşılaşılabilir. Metan gazı 0,7168 (kg/m³) yoğunlukta hafif, yanıcı ve patlayıcı bir gazdır (Önce ve Saraç, 2001). Ocaklarda metan gazının miktarı ve yayılımı birçok parametreye bağlı olarak (derinlik, kalori, vb.) artış göstermektedir. Ülkemizde son yıllarda derin madencilğe olan ilgi artış göstermiştir. Daha derin ocaklarda metan emisyonlarında artış görülmektedir.

Kömürün oluşması sırasında metan gazı kömürün bünyesinde oluşmaktadır. Metan gazının ocakta bulunabileceği yerler şu şekilde sıralanabilir (Erbay, 2011):

- Suyun hareketi sonucunda kalan kısımda oluşan metan birikimi,
- Ayak arkası göçüklerde metan birikimi,
- Çalışılan ayakların tavanındaki yukarı çıkan metan birikimi,
- Teknotik fay zonlarında metan birikimi,
- Kimyasal bozunuma uğramış karbon içerikli yapılarda metan birikimi.

Metanın ocak havasına karışması olayı; sızıntı şeklinde, hissedilir gaz geliri şeklinde ve ani degaj şeklinde meydana gelebilmektedir. Ocak ortamına ani degaj şeklinde karışması durumunda ciddi ölümlü kazalara ve kömür tozu patlamalarına yol açabilmektedir. Metan gazının ocak havasına diğer karışma şekillerinde ise; gazın ocak ortamından güvenli bir şekilde tahliye edilemediği durumlarda ocak koşullarındaki madencilik faaliyetlerine de bağlı olarak patlayıcı ortam oluşmasına ve bunun sonucunda ciddi kazalara yol açmaktadır. Metan gazı patlaması şeklinde hem ülkemizde hem Dünyada çok sayıda maden kazası yaşanmıştır.

Ülkemizdeki güncel mevzuata göre ocak ortamında bulunan/ölçülen metan gazının sınır değerleri ve alınması gereken önlemler Tablo 1’de özetlenmiştir (Resmi Gazete, 2013). Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği’nde “Bacalar, ani grizu boşalabilecek yönlerde veya grizu bulunabilecek eski çalışma yerlerinde

devam ettirildiği takdirde, yapısal özellikler göz önünde bulundurularak en az 25 metre boyunda kontrol sondajları yapılması sağlanır. Kontrol sondaj deliklerinde, grizu veya tehlikeli gazların varlığı anlaşılırsa, iş durdurulur; çalışanlar söz konusu yeri terk eder; giriş yeri kapatılır, durum yetkililere derhal haber verilerek gerekli çalışmaların yapılması sağlanır.” ibaresi yer almaktadır.

Tablo 1. Yürürlükteki mevzuata göre metan limit değerleri

Table 1. Methane gas limit values according to current legislation

Değer	Alınacak Aksiyonlar
>% 1	Patlayıcı madde kullanılmaz.
> %1,5	İletkenlerin ve elektrikli aygıtların enerjisi kesilir.
≥ %2	Çalışanlar tahliye edilir. Metan gazının ortamdan uzaklaştırılması ile ilgili çalışmalar yapılır.

Yeraltı kömür madenciliği temel tehlike kaynaklarından biri olan metan gazı ile mücadele çalışmalarında; etkili havalandırma, kontrol sondajı çalışmaları, metan drenajı ve göçük bölgesine azot gazı enjeksiyonu gibi güvenlik bariyerleri bulunmaktadır. Metan drenajı yöntemlerinde temel yaklaşım, metan gazının kaynağından/bulunduğu yerden alınarak, ocak dışına ve/veya sorun olmayacak güvenli alanlara uzaklaştırılmasıdır.

Metan drenaj yöntemi olarak dünyada birçok yöntem uygulanmaktadır. Drenaj sistemleri genel olarak, madencilik öncesinde, madencilik döneminde ve madencilik sonrasında olmak üzere işletmeciliğin her döneminde yapılmaktadır. Genel olarak metan drenaj yöntemleri;

- Yüzeyden delinen düşey kuyularla drenaj,
- Yüzeyden göçük bölgesine delinen kuyularla drenaj,
- Tavan ve tabanlardan yatay deliklerle drenaj,

- Çevreleyen tabakaya doğru delinen çapraz deliklerle drenaj

olarak sınıflandırılmıştır (Aydın ve Kesimal, 2007). Ocak koşullarına göre her bir yöntemin önemli avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Ocaktan uzaklaştırılan/üretilen metan gazının; doğal gazın yerine kullanımı, maden işletmesinde ya da maden işletmesi civarında uygun amaçlarda gazın kullanılması, elektrik üretiminde kullanma ve gazın imhası olarak adlandırılabilir. kullanım şekilleri bulunmaktadır (Aydın ve Karakurt, 2008). Tecrübelere göre 250 m³ % 100' lük saf metan gazı ile 1 MW elektrik üretilebilmektedir. % 30 ve üzeri CH₄ değerlerinde kojenerasyon mümkün olmaktadır (Erbay, 2011).

Bu çalışma kapsamında metan gazının genel özellikleri, metan gazı ile ilgili önleyici uygulamalar ve metan drenaj sistemleri ile ilgili genel bilgiler verilmiş, ülkemizin en derin linyit madeni olan Polyak Eynez A.Ş.' de yeraltında doğrudan drenaj delikleri delinmek suretiyle yapılan metan drenaj sistemi detaylı olarak incelenmiş ve uygulamaya yönelik pratik bilgileri içeren veriler paylaşılmıştır.

2. Metan Gazı ve Metan Drenaj Yöntemleri

Metan gazı kokusuz, yanıcı ve hafif bir gazdır. Sıklıkla yeraltı kömür madenciliğinde karşılaşılan bu gaz, madencilik faaliyetleri neticesinde ocak ortamına gelmektedir. Metan gazı tehlikesi ile ocak ortamında mücadele edilmesi için; iyi bir havalandırma yapılması, uygun patlamazlık sertifikasına (ATEX) sahip ekipmanlar kullanılması, metan drenaj yöntemlerinin uygulanması, yeterli sayıda ve uzunlukta kontrol sondajları yapılması, vb. gibi önlemler alınmaktadır. Bu tekniklerden en önemli risk önleme yaklaşımı sorunla kaynağında mücadele edilmesi yani metanın kömür damarı içerisinden alınarak, daha güvenli alanlara nakledilmesidir.

Metan drenajı, damar içerisine/damara sondaj makinesi ile delikler delinmesi ve uygun tesisat montajı yapılması suretiyle gazın bulunduğu kısımdan pompa ya da emiş ekipmanı aracılığıyla, oluşturulmuş olan basınç farkı ile emilmesi ve güvenli bir şekilde monte edilmiş boru şebekesi yardımıyla ocak dışına ya da güvenli olduğu kabul edilen alana nakledilmesi işlemidir.

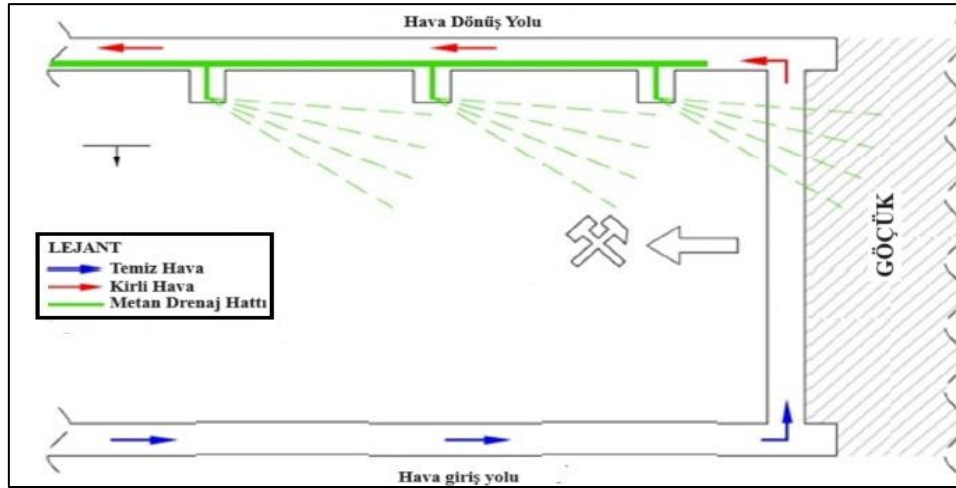
Metan drenajı uygulaması yapılmasının,

- Üretim aksamalarının azaltılması,
- Havalandırma maliyetlerinin düşürülmesi,
- Ocak gazları yönünden çalışma şartlarının iyileştirilmesi,
- İşletilebilecek olan rezervin artırılması,
- Kömür tozu patlamalarına metan etkisinin ortadan kaldırılması,
- Ani metan ve kömür püskürme olaylarının engellenmesi,
- Drene edilen gazın kullanılabilmesi halinde diğer avantajlar (küresel ısınmaya etkisinin azaltılması, enerji üretimi nedenli kar elde edilmesi), vb.

avantajları bulunmaktadır.

Metan drenaj çalışmalarında yeraltından ve yerüstünden farklı yöntemler kullanılmaktadır. Metan drenaj yöntemleri; yüzeyden delinen düşey kuyularla drenaj, yüzeyden göçük bölgesine delinen kuyularla drenaj, tavan ve tabanlardan yatay deliklerle drenaj ve çevreleyen tabakaya doğru delinen çapraz deliklerle drenaj olmak üzere 4 farklı şekilde yapılabilmektedir.

Ülkemizde genellikle U tipi havalandırma tekniğinin kullanıldığı geri dönüşlü uzun ayak kazı yöntemleri kullanılmaktadır. Geri dönüşlü bir uzunayakta yeraltından taban yollarından uygulanan bir metan drenaj şebekesi Şekil 1'de gösterilmiştir. Polonya' da yapılan bir inceleme çalışmasında U tipi havalandırılan bu şekildeki uzunayaklarda ortalama metan drenaj verimliliği % 41,2 olarak tespit edilmiştir (Szczak vd., 2018).



Şekil 1. Dönümlü çalışan uzunayakta metan drenaj uygulaması örneği (Szlazak vd., 2014' den değiştirilmiştir).

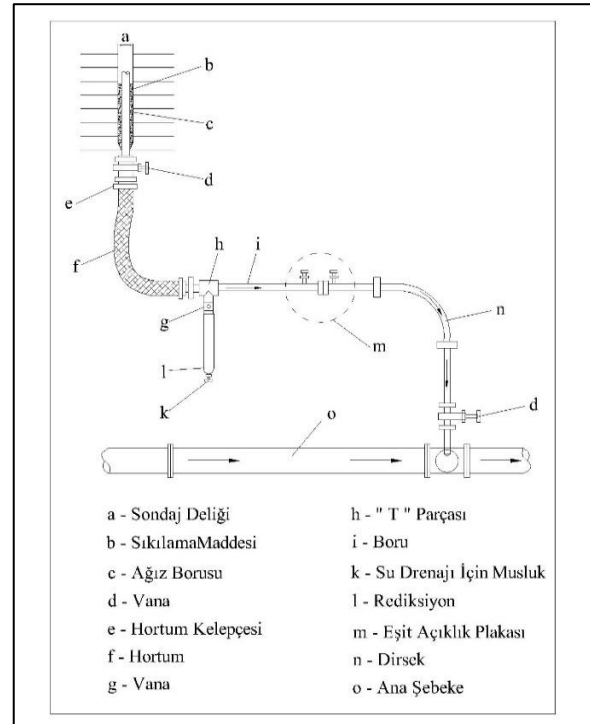
Figure 1. Example of methane drainage application on a rotating longwall (Modified from Szlazak et.al., 2014).

2.1. Yeraltından Metan Drenaj Çalışmaları

Metan gazı yeraltında kömürün iç yüzeylerinde bir denge basıncı ile adsorbe edilmiş durumdadır. Madencilik faaliyetlerine bağlı olarak (ayak ilerlemesi, hazırlık kazısı, vb.) tabakaların kırılmasıyla bu denge durumu bozulmaktadır. Bu durumda birçok etkileyici faktörün etkisi ile metan gazı çalışılan damardan, ayak arkası göçük bölgesinden, çalışılmakta olan damarın alt veya üstündeki damar veya tabakalardan ocak havasına karışmaktadır. Ocak havasına karışan bu gazın kaynağından emilerek, uzaklaştırılması için metan drenaj şebekesi kurulumu gerekmektedir.

Metan drenaj şebekesi kurulumu;

- Sondaj deliklerinin delinmesi,
- Deliklerin sızdırmazlıklarının sağlanması,
- Ocak içi boru şebekesinin kurulması
- Suyun tahliyesi için düzenek kurulması
- Ölçme izleme çalışmaları için düzenek kurulması
- Emici pompa ya da sistemin kurulması
- Deliklerin şebekeye bağlanması (Şekil 2), vb. çalışmalardan oluşmaktadır.



Şekil 2. Yeraltında metan drenaj düzeneği (Önce ve Saraç, 2001).

Figure 2. Installation of underground methane drainage network (Önce ve Saraç, 2001).

Yeraltı metan drenaj şebekesi/sistemleri ile ilgili bazı güvenlik hususları aşağıda derlenmiştir:

- Metan gazına ulaşmak ve onu herhangi bir metan drenaj sistemi ile uzaklaştırmak için gereken sondaj yapılmadan önce, çıkabilecek gazın içinde toplanabileceği ve güvenli bir şekilde dışarı atılabileceği bir boru sistemi hazırlanması için

düzeltilmeler yapılmış olmalıdır (ÇSGB, 2016).

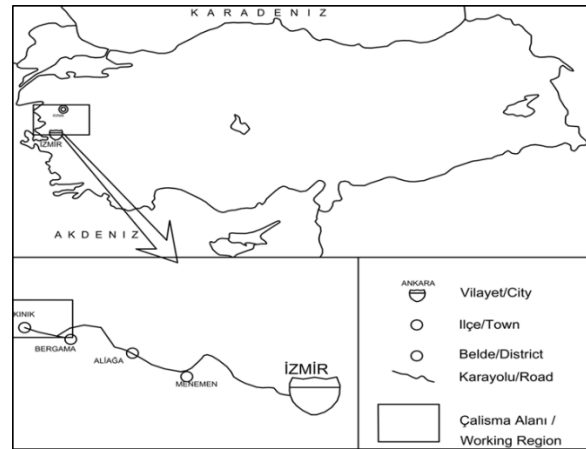
- Hiçbir metan sondajı, delikten ani metan çıkışını önlemek için deliği tıkayacak bir koruma sistemi olmadan yapılmamalıdır (ÇSGB, 2016).
- Permeabilitenin düşük olduğu damarlarda, metan drenajının büyük çoğunluğu kömür üzerindeki rahatlama zonunda kalan yan kayaç içerisinden yapılmaktadır. Avrupa’da yaygın olarak drenajın % 25-30’ u damar içinden, % 75-70’ i yan kayaç içerisinden yapılmaktadır (Erbay, 2011).
- Çin yasalarına göre; kömür üretimine başlamadan önce çalışılacak olan damarların gaz içeriğinin 8 m³/ton, gaz basıncının ise 0,74 MPa’ nın altına indirilmesi zorunludur (Erbay, 2011).
- Yeraltından yapılan metan drenajında en verim alınabilen metan drenaj sondajları/delikleri ayak ilerleme yönünde tavana yapılan deliklerdir.
- Sondaj deliğinin çapının artması ile drene edilen gaz geliri artmaktadır.
- Drenaj deliklerinde ağız borularının sızdırmazlığının iyi bir şekilde sağlanması ve her deliğe doğru emme basıncı uygulanması önemlidir.
- Metan drenaj şebekesindeki suyun drene edilebilmesi için uygun noktalara su toplama devreleri kurulmalıdır (Yerebasmaz, 1987).
- Drene edilecek miktar için uygun ölçüde boru şebekesi seçimi yapılmalıdır.
- Şebekenin bakım ve kontrolü iyi yapılmalı, içeriye hava kaçakları engellenmelidir.
- Şebekenin güvenli bir şekilde işletimi için şebeke içinde metan değerinin % 25’ den daha fazla olmasına dikkat edilmelidir. Bunun için düzenli olarak şebekeden geçen gaz miktarı ölçülmelidir.
- Metan drenaj şebekesinin uygun şekilde topraklanması sağlanmalıdır.
- Metan drenajı deliklerinde kömür damarı içindeki su drene edildiği için bu kısımlarda toz haline gelen kömürün oksidasyona uğrama ihtimali bulunmaktadır. Bu yüzden metan drenaj sisteminin kendiliğinden yanma yönünden de ciddi şekilde denetlenmesi yapılmalıdır. Oksijen değerinin % 6’ nın üzerine çıktığı durumda delikler

kapatılmalıdır (Cliff vd, 2004).

3. Polyak Eynez A.Ş. Yeraltı Metan Drenaj Sistemi Uygulaması

3.1. Polyak Eynez Kınık Yeraltı Linyit İşletmesi

Polyak Eynez Kınık Linyit İşletmesi, İzmir İli’ nin Kınık İlçesi, Elmadere Mahallesi’ nde bulunmakta olup, Soma linyit havzasında faaliyet göstermektedir. İşletme sahası, Bergama İlçesine 31 km, Soma İlçesine 36 km ve Kınık İlçesine 12 km mesafede bulunmaktadır (Şekil 3). Yeraltı işletmesinde arkadan göçertmeli dönlümlü üretim yöntemi ile tam mekanize kazı sistemi (LTCC) uygulanarak yeraltından linyit kalitesinde tüvenan kömür üretimi yapılmaktadır. İşletmede yeraltına 3 adet erişim açıklığı (1 adet 3600 m uzunluğunda desandre ve 2 adet 850 metre derinliğinde kuyu) bulunmaktadır. Madencilik faaliyetleri yürütülen kömür damarının kendiliğinden yanmaya yatkınlığı fazladır. Yeraltı işletmesinde düzenli olarak yeraltı suyu drenajı yapılmaktadır.

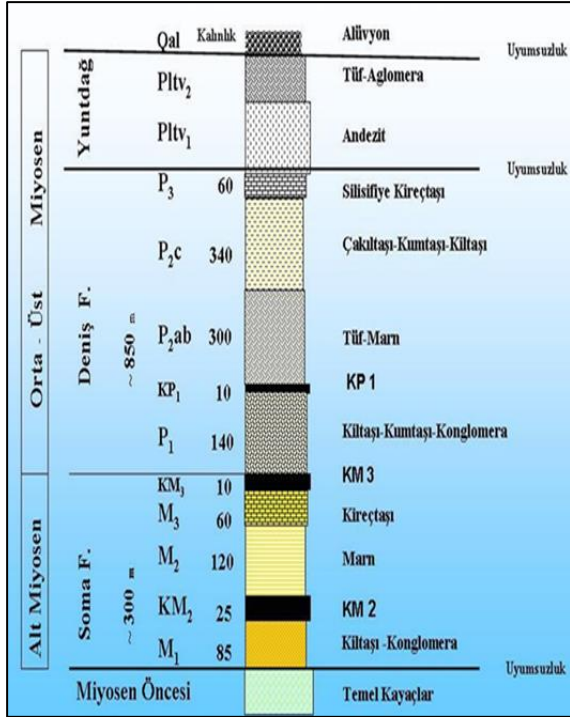


Şekil 3. Yer bulduru haritası.

Figure 3. Location map.

3.2. Sahanın Metan İçeriği

Sahanın genel stratigrafik kesiti Şekil 4’de verilmiştir. Sahada üretim faaliyetleri KM-2 damarında yapılmaktadır. Sahada kömür üretim çalışmalarına başlamadan önce metan varlığının belirlenmesi ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Sahada faaliyetlerin devam etmesine bağlı olarak, güncel metan gazı emisyonu ile ilgili çalışmalara devam edilmektedir.



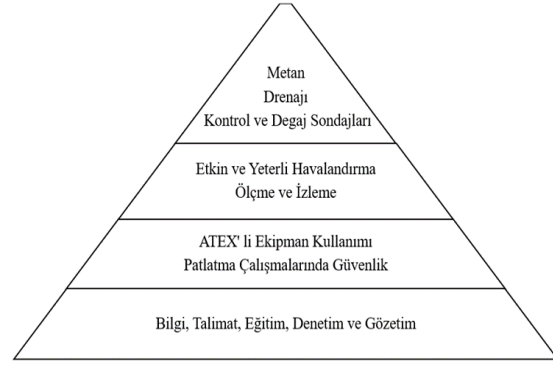
Şekil 4. Genel stratigrafik kesit (Kutay vd., 2019).
Figure 4. General stratigraphic section (Kutay vd., 2019).

Yapılan güncel çalışmalara göre sahada kömür damarındaki metan içeriği max 4,2 ton/m³ olarak belirlenmiştir (Fişne ve Rend, 2020).

3.3. İşletmede Metan Gazına Karşı Güvenlik Bariyerleri

Yeraltında metan gazı kaynaklı tehlike ve risklerin yönetimi hususunda işletmede alınmış güvenlik önlemleri genel olarak Şekil 5’de şematik olarak verilmiştir.

İşletmede; metan gazı emisyonları dikkate alınarak ocak havalandırma projesi yapılmış, gerekli fan ve ekipmanları tedarik edilmiş ve metan drenaj sistemi altyapısı kurulmuştur. Hem metan drenaj altyapısının kurulması için hem de arınlarda etkili bir şekilde kontrol sondajı/degaj sondajı yapılabilmesi için işyerinde gerekli sondaj makinesi ekipmanları tedarik edilmiştir. Yasal gerekliliklerin çok üzerinde farklı amaçlarla kontrol sondajları yapılmaktadır.



Şekil 5. Metan gazına karşı güvenlik bariyerleri.
Figure 5. Safety barriers against methane gas.

İşyerinde 300 m³/s kapasiteli, 2500 Pascal basınç farkı yaratabilecek, 1100 kW gücünde ana fan, yedek fan ve jeneratör altyapısı kurulmuştur. Aynı şekilde galerilerin havalandırması için yeterli güç ve özellikle tali fanlar bulunmaktadır. İşyerinde Trollex marka sabit gaz izleme sistemi sensörleri kullanılmaktadır. Bunun yanında anemometre, psikometre, manometre, barometre, vb. gibi bütün havalandırma ölçüm ekipmanları işyerinde bulunmaktadır. Ayrıca, gaz kromatografisi de kurulmuştur ve düzenli olarak analizler yapılmaktadır. Galerilerde min 0,5 m/s’ den az olmayacak şekilde ve gerektiği kadar hava arınlara iletilmektedir. Gönderilen hava miktarı metan konsantrasyonu göz önünde bulundurularak, gerektiği durumlarda artırılmaktadır. Ocak yollarında metan birikmesine neden olabilecek boşluklar bulunmamaktadır. Metan birikmesini önlemek ve bu konuda gerekli önlemleri almak üzere gerekli ölçme ve izlemeler yapılmaktadır.

Yeraltında kullanılan bütün malzemeler uygun patlamazlık sertifikasına (ATEX) sahip olacak şekilde tedarik edilmiştir (Grup 1). Kontrol ve bakımlarını yapan kişilerde bu konuda eğitim ve yetkinliğe sahiptirler. Metan değeri %1,5’ e ulaşması durumunda bütün elektrikli ekipmanların enerjisini kesmektedir. Bu kapsamda düzenli olarak test ve kontroller yapılmaktadır.

Patlatma çalışmalarında grizu emniyetli dinamit ve bakır kovanlı elektrikli kapsüller kullanılmaktadır. Ateşleme ekipmanı olarak metanometreli manyeto kullanılmaktadır. Bu sayede, daha güvenli bir şekilde patlatma süreci yönetilmektedir.

Çalışma alanlarında bütün iş amirlerinde metan, oksijen, karbonmonoksit, hidrojen sülfür ve gerekli görülen diğer gazları ölçebilen portatif gaz ölçüm cihazları bulunmaktadır. Çalışanlara metan gazı, metan gazının tehlikeleri, riskler ve alınacak önlemlerle ilgili eğitimler verilmiş olup, bu bilgilendirmeler periyodik olarak yenilenmektedir.

İşyerinde ayak arkası göçük kısmına azot gazı enjekte edilmektedir. Bu sayede göçük bölgesinde patlayıcı ortam oluşma tehlikesi engellenmekte ve kendiliğinden yanma olayı ile mücadele edilmektedir. Bunun için gerekli tesis altyapısı kurulumu (azot jeneratörü, sıvı azot tesisi ve boru tesisi) yapılmıştır.

İşyerinde gelişmiş bir yerüstü gaz izleme merkezi ve bu merkezde yeraltı ocak gazlarını izleyen en az 2 personel olmak üzere, bir vardiyada en az 3 personel bulunmaktadır. Gaz izleme sisteminden alınan verilerin analizinde yapay zeka teknolojisi kullanılmaktadır. İşyeri Acil Eylem Planı ve Havalandırma Yönergesi ve bu konularda hazırlanmış olan prosedür esaslarına göre ocak gazları izlenmekte (Şekil 6) ve gerekli aksiyonların alınması sağlanmaktadır.



Şekil 6. Yerüstü gaz izleme merkezi.

Figure 6. Surface gas monitoring center.

3.4. C-01 Panosunda Yeraltından Metan Drenaj Uygulaması

3.4.1. Genel

İşletmede metan drenaj uygulamasına ilk defa Mayıs 2021 döneminde C-01 panosunda başlanmıştır. U tipi havalandırma sistemi kullanılan ocakta tavan ve tabanlardan yatay deliklerle drenaj ve çevreleyen tabakaya doğru delinen çapraz deliklerle metan gazı drenajı uygulaması şeklinde bir sistem kullanılmaktadır. Daha sonra, C-00, C-02, CK-01, CK-02 ve C-03 panoları için ocak içi metan drenaj sistemi kurulumları yapılmıştır. Mevcut durumda (2024) üretim çalışmaları devam eden CK-02 ve C-03 panosunda metan drenajı sistemi kurulu haldedir.

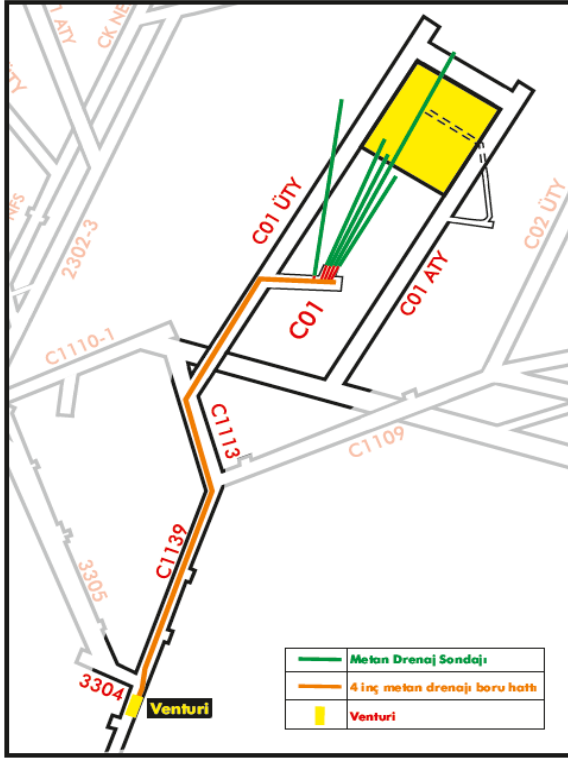
C-01 panosuna ilişkin bazı bilgiler Tablo 2’de ve C-01 panosu metan drenaj şebekesini gösterir temsili-ölçeksiz plan Şekil 7’de verilmiştir.

Tablo 2. C-01 panosuna ilişkin bazı veriler
Table 2. Some datas for panel C-01

No	Parametre	Açıklamalar
1	Pano boyu	197 m
2	Ayak uzunluğu	98 m
3	Üretim yöntemi	LTCC
4	Ortalama kömür kalınlığı	10 m
5	Üretim başlangıç-bitiş tarihi	07.04.2021-18.02.2022
6	Toplam ayak çalışma süresi	318 gün

C-01 panosu metan drenaj sistemi uygulaması; drenaj deliklerinin hazırlanması, boru şebekesinin kurulması, emici sistemin (venturi) kurulumu, deşarj noktasında güvenlik önlemlerinin alınması, sistemin kontrolü ve işletimi aşamalarından oluşmaktadır.

Sistemin kurulumunda kullanılan ekipman ve malzemelere ilişkin bazı bilgiler Tablo 3’de verilmiştir.



Şekil 7. C-01 panosu yeraltından metan drenaj şebekesi temsili-ölçeksiz resim.

Figure 7. Representative-scale drawing of underground methane drainage network in panel C-01.

3.4.2. Sondaj Makinesi İle Drenaj Deliklerinin Hazırlanması

İşletmede metan drenaj çalışması öncesi en verimli drenajın hangi şekilde elde edildiğine ilişkin ön testler yapılmıştır. Bu testler kapsamında alt taban ve üst taban yollarından kömür damarı içerisine yatay delikler delinmesi, kömür damarının üzerine çıkacak şekilde taban yollarından çapraz delikler delinmesi, vb. çalışmalar yapılmıştır. Ocakta pratik uygulamalardan elde edilen gözlemler sonucu en uygun metan drenaj tekniğinin kömür damarının 20-30 m üzerinde yan kayaç (marn) içerisinde elde edildiği gözlemlenmiştir. Deliklerin daha kolay delinebilmesi için üst taban yolundan ayağa 206 m uzaklıktan tavan taşına çıkacak şekilde eğimli 55 m uzunlukta eğimli galeri kazısı yapılmıştır. Açılan bu galeri içerisinden göçük bölgesini ve fay zonlarını hedefleyen dolayısıyla ayak önü kırıklanma bölgesini de içine alan farklı açılı ve istikamette 165-221 m arasında değişen 5 adet sondaj yapılmıştır. Yapılmış olan sondajlara

ilişkin detaylı bilgiler Tablo 4’de verilmiştir.

Tablo 3. Metan drenaj şebekesi kurulumu bileşenleri ile ilgili bilgiler

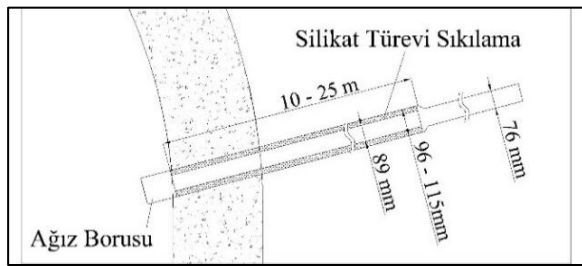
Table 3. Information on components of methane drainage network installation

Açıklamalar	Biri	Mikt
	m	ar
Drenaj delikleri (sondaj)	m	748
Ventüri (emici)	adet	1
4" (DN 100) boru	m	690
4" flanş	adet	20
Bant askı zinciri	m	300
Mapa	adet	600
M 20*110 civata	adet	1000
M 20*110 somun	adet	1000
4" takviyeli conta	adet	115
PQ Boru	adet	80
4" 90° boru	adet	10
2" ağır hava hortumu	m	50
2" küresel vana	adet	10
İç dişli 2" 90° dirsek	adet	10
2" ikiz nipel galvanizli	adet	10
2" manşon galvanizli	adet	10
2" döküm hortum kelepçe	adet	20
2" hortum başlık nipel	adet	10
1/2" küresel vana PN25	adet	5
3/4" ağır hava hortumu	m	20
3/4" döküm kelepçe	adet	2
3/4" hortum bağlantı nipel	adet	
Mullenbach başlık		2
Sızdırmazlık malzemesi (kimyasal-silikat)	kg	620
2m' lik enjeksiyon çubuğu	adet	10
36' lık enjeksiyon pakeri	adet	10

Tablo 4. C-01 panosu metan drenaj sondajları
Table 4. Methane drainage system drilling for C-01 panel

No	Sondajın Adı	Sondaj Uzunluğu (m)	Sondajın Açısı (°)
1	ÜTY Kılçık_46+12	180,5	+12
2	ÜTY Kılçık_26+13	189	+13
3	ÜTY Kılçık_41+11	221	+11
4	ÜTY Kılçık_38+9	165	+9
5	ÜTY Kılçık_35+10	173	+10
	Toplam	928,5 m	

Bu deliklerin ayakta herhangi bir oksidasyona yol açmaması için marn formasyonu içerisinde sonlandırılmıştır. Delik delme çalışmaları Tablo 5’de teknik özellikleri verilen Neuhauser P120 marka/model sondaj makinesi ile yapılmıştır. Sondaj ağızları kaçak yapmayacak şekilde geçirimsiz hale getirilmiştir. Sondaj deliklerinin ilk 10 metresi borulanmış, silikat uygulaması ile sızdırmazlığı sağlanmış (Şekil 8) ve sızdırmazlık testi yapılmıştır.



Şekil 8. Drenaj sondajlarının ağız kısmının şematik görünüşü (Kahraman ve Kayabalı, 2022).
Figure 8. Schematic view of the mouth of a drainage borehole (Kahraman and Kayabalı, 2022).

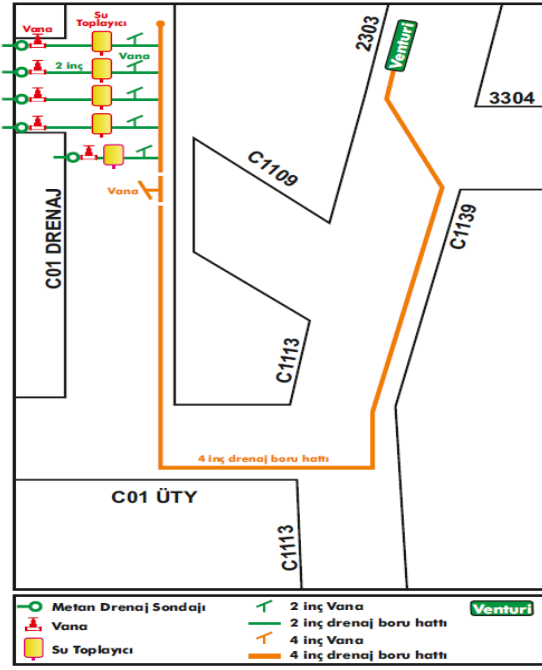
Tablo 5. Sondaj makinesi teknik özellikleri (Neuhauser, 2005)

Table 5. Technical specifications of the drilling rig (Neuhauser, 2005)

No	Parametre	Açıklamalar/ Teknik Özellikler
1	Delici motor hızı	330 rpm
2	Delici motor gücü	13,2 kW
3	Hız	4 m/min
4	Kuvvet	6000 daNm
5	Gerekli basıncı	hava 4 bar
6	Hava tüketimi	20 m ³ /dak
7	Su tüketimi	20-100 lt/dak

3.4.3. Boru Şebekesinin Kurulması

Galeri cidarlarında güvenlik yönünden uygun olduğu tespit edilen galeri bölgelerinden (tavana yakın, elektrik kablolarından ve nakliyat sisteminden uzak) geçecek şekilde boru şebekesi kurulumu yapılmıştır. Boru şebekesi 4” dikişsiz çelik borulardan oluşturulmuştur. Kullanılan boruların et kalınlığı 6,3 mm olup, ST-37 çelikten imal edilmiş ve 40 bar basınca dayanıklıdır. Borular birbirlerine eklendikleri kısımlarda sızdırmazlığı sağlamak için contalarla irtibatlandırılmıştır ve flanşlar üzerindeki bütün civatalar monte edilmiştir. Boru şebekesi elektriksel yönünden topraklanmıştır ve topraklamanın bütünlüğü için boruların ek yerlerinde özel atlatmalar yapılmıştır. Boru şebekesi belli aralıklarla galerideki tahkimat ünitelerine özel zincirlerle sabitlenmiştir. Borular üzerinde sarı renkli metan gazı bilgilendirme ve tehlike etiketlemeleri yapılmıştır. Demir boru şebekesi ile delikler arasında kısa mesafeli bağlantılarda özel hortumlar kullanılmıştır. Boru şebekesinin maden planı üzerinde konumlandırılmış hali Şekil 9’da ölçeksiz bir şekilde verilmiştir (Polyak Eynez, 2021).



Şekil 9. C-01 panosu metan drenaj boru şebekesi.
Figure 9. Methane drainage pipe network for C-01 panel.

3.4.4. Metan Drenaj Deliklerine Su Tahliye Sistemi Kurulumu

Sondaj deliklerinden gelen suyun tahliye edilmesi gerekir. Suyu tahliye edilmemiş deliklerden metan akışı daha az olmaktadır veya akış durmaktadır. Bunun için deliklerden gelen suyun alınması amacıyla boru şebekesinin delik ağzına yakın ve galeri tabanına daha yakın kısmında su tahliye sistemi yapılmaktadır (Şekil 10).



Şekil 10. Metan drenaj boru şebekesinden su tahliye sistemi.
Figure 10. Water evacuation system from methane drainage pipe network.

3.4.5. Metan Emiş Sisteminin Kurulması

Deliklerden metan gazının emilmesi için gerekli

basınç farkı “ventüri” adı verilen basınçlı hava yardımı ile çalışan ekipman ile sağlanmaktadır. Venturinin uygulama fotoğrafı Şekil 11’de verilmiştir. Şebekede venturi montajı kuyu dibine bağlanan ana hava dönüş galerisine bağlanmıştır. Bu kısımda insan ve ekipman hareketi çok azdır. Emilen/atılan metanı seyreltebilecek düzeyde bir hava bu bölümden geçmektedir (yaklaşık 7500 m³/dak). Venturinin bulunduğu kısımlar yerden en az 2 metre yükseklikte olup, elektrik ekipmanlarının bulunmadığı güvenli bir alanda konumlandırılmıştır. Venturiye kontrolsüz erişimin engellenmesi için ekipmanın etrafına muhafaza yapılmıştır. Venturiden gelen metan ile birlikte ortamdaki metan gazının değerinin ölçümü için uzaktan izleme için sabit gaz izleme sensörü konumlandırılması yapılmıştır. Venturi çıkışlarının bulunduğu kısma en az 2 adet portatif yangın söndürme tüpü konumlandırılmış ve yangın dolabı kurulumu yapılmıştır. Bu kısımlar yerüstü izleme merkezinden kamera ile izlenebilmektedir.



Şekil 11. Venturi sisteminin boru şebekesine monte edilmiş hali.

Figure 11. Venturi system mounted on the pipe network.

3.4.6. Sistemin Güvenli İşletimi Çalışmaları

Sistemin güvenli işletimi için ölçme ve izleme altyapısı (ölçüm ekipmanları, sistemleri, vb.) kurulmuştur. Polyak Eynez A.Ş. Metan Drenaj Sistemi Prosedürü hazırlanmış, bu kapsamda talimatlar ve kontrol formları hazırlanmıştır. Hazırlanmış prosedürde uluslararası uygulamalar da dikkate alınarak, deliklerin işletilmesi için sondaj delikleri içerisinde ölçülen değerlerde metan oranının % 30 değerinin üzerinde olması ve/veya Oksijen gazı oranının % 8 değerinin

altında olması sınır değeri olarak belirlenmiştir. Metan drenaj sisteminin ayakta ya da emiş yaptırılan bölgede herhangi bir oksidasyona yol açmaması için karbonmonoksit değerlerinin de takip edilmesi kararlaştırılmıştır. Metan drenaj sistemini takip edecek ayrı bir işyeri birimi/bölümü oluşturulmuştur (Polyak Eynez, 2021).

Ocak ortamında her gün metan drenaj deliklerinin gaz içeriği hacimce %100 ölçüm yapabilen çoklu portatif gaz ölçüm cihazları ile kontrol edilmektedir. Yine, portatif gaz ölçüm cihazlarında ölçülen değerlerde hata olup olmadığının teyit edilmesi için metan drenaj sisteminden hava/gaz numuneler alınarak, gaz kromatografisinde karşılaştırmak suretiyle süreç yönetilmektedir (Şekil 12). İşyerindeki gaz kromatografisinde, oksijen, karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen, helyum, etan, etilen, asetilen, azot ve propan gazları analiz edilebilmektedir. Yapılan gaz analizlerinde, metan drenaj şebekesi ile birlikte ocaktaki diğer zararlı gazların da (karbondioksit, hidrojen, vb.) emildiği/uzaklaştırıldığı ve hava kalitesine olumlu bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Bunun yanında, basınç farkı ölçer el aletleri ile deliklere uygulanan emme basıncı (eşit açıklık plakalarından) ve venturiden çekilen basınç değerlerini ölçülmektedir (Şekil 13). Ölçülen basınç farkı değerleri Şekil 14’ de verilmiş olan grafik üzerinden işlenerek, borudan gaz akışı (lt/s) hesaplanmaktadır. Hesaplanan gaz akışı ile portatif gaz ölçüm cihazı ile ölçülmüş olan boru içindeki metan oranı birlikte değerlendirilerek, şebeke ile drene edilen metan debisi (m^3/dak) olarak hesaplanabilmektedir.

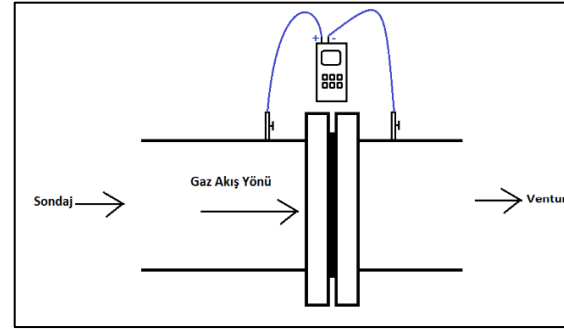
Yine, şebeke/boru içerisinde geçiren havanın akış hızı da ölçülmektedir. Boru içinden akış verisi üzerinden veya ölçülen basınç farkı verisinin abak üzerinden değerlendirilmesi ile

şebeke içerisindeki akışın (metan drenajının) debisi ölçülebilmektedir.



Şekil 12. Gaz kromatografî ölçümleri (Kahraman, ve Rend, 2023).

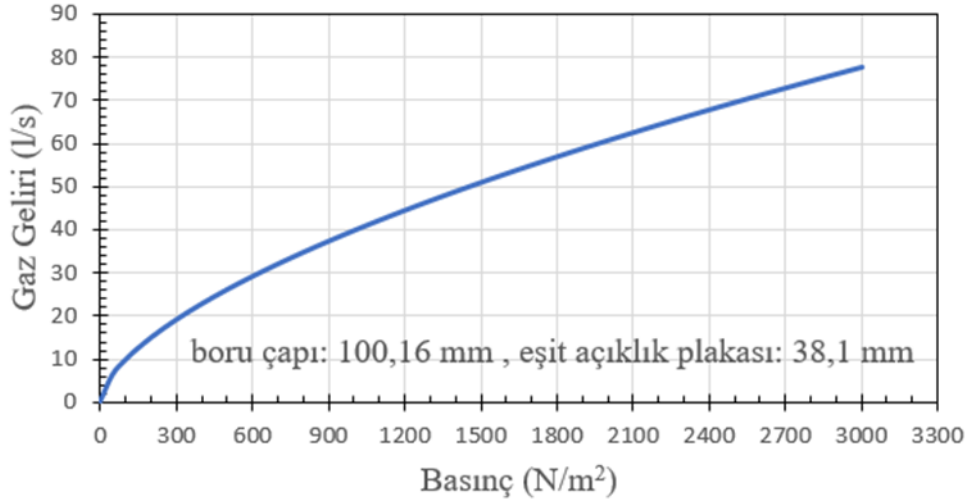
Figure 12. Gas chromatography measurements (Kahraman and Rend, 2023).



Şekil 13. Gaz debisinin tespiti için şebekeden/borudan basınç farkı ölçümü şematik gösterimi.

Figure 13. Schematic representation of pressure difference measurement from the network/pipe for gas flow rate determination.

Metan drenaj hattının her gün boru şebekesi kontrolleri ve ölçümleri (Şekil 15) yapılmaktadır. Her boru çıkışına hattın gelecek suyun alınması için monte edilmiş olan su tankı/şartlandırıcı (uygun düzenek) kontrolü yapılmaktadır. Ventürinin ocak ortamına çıkış yaptığı kısımda metan oranı %1’i geçmeyecek şekilde yeterli hava miktarı bulunmaktadır. Bu alan, ocakta operasyon yoğunluğunun bulunmadığı daha güvenli olan ocak ana hava dönüş yoludur.



Şekil 14. Eşit açıklık plakası üzerinden ölçümle gaz debisinin tespiti için kullanılan grafik (Kahraman ve Kayabalı, 2022).

Figure 14. Graph used to determine the gas flow rate by measurement over an equal aperture plate (Kahraman and Kayabalı, 2022).



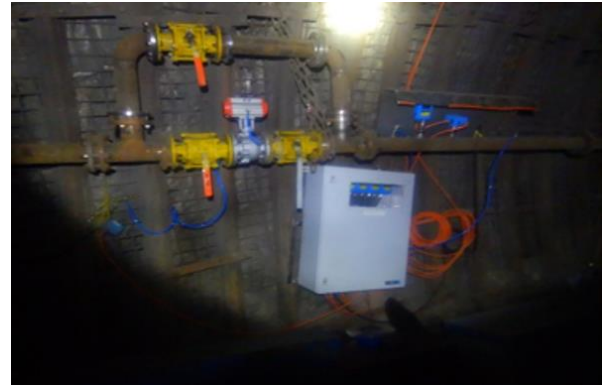
Şekil 15. Metan drenaj şebekesinde yapılan ölçüm ve kontroller. A: Gaz değerlerinin ölçümü, B: Basınç farkı ölçümü.

Figure 15. Measurements and controls made in the methane drainage network. A: Measurement of gas values, B: Pressure difference measurement.

3.4.7. Metan Drenaj Sisteminin/Şebekesinin Geliştirilmesi Çalışmaları

2021 yılında kurulan metan drenaj sistemi kullanımı, işletmede mevcut durumda da devam etmektedir. Mevcut durumda üretim yapılan ayaklardan, üretimi tamamlanmış panolardan ve gerekli görülmesi halinde hazırlık galerilerinden metan drenajı yapılabilmektedir. 2024 yılı itibarıyla metan drenaj sistemlerine otomatik izleme ve kesme sistemi (Şekil 16) kurulumu yapılmıştır. Bu sistem sayesinde oksijen ve metan değerlerinin sınır değerleri geçmesi durumunda sistem otomatik olarak gaz akışını kesmektedir. Ayrıca, bu sistem sayesinde skada üzerinden (yerüstü izleme merkezinden) gaz akışı, şebekedeki gazın sıcaklığı, gazların anlık

değerleri, vb. parametreler izlenebilmekte ve otomatik kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 16. Metan gazı otomatik ölçme ve izleme sistemi.

Figure 16. Methane gas automatic measuring and monitoring systemi



Şekil 17. Yerüstünde kurulmuş metan drenaj pompası.

Figure 17. Methane drainage pump installed above surface.

3.5. Metan Drenaj Sisteminden Elde Edilen Verilerin Analizi

Çalışma kapsamında, C-01 panosunda Nisan 2021-Ekim 2021 dönemi arasındaki metan drenaj ile ilgili veriler incelenmiştir. İnceleme çalışması kapsamında belirtilen tarih aralığında ayaktan geçirilen hava miktarları, ayaktan gelip ayak hava dönüş yolundan geçen metan gazının debisi, metan drenaj şebekesi ile emilen metan gazının debisi, vb. parametreler incelenmiş ve elde edilen veriler grafiksel olarak Şekil 18’de sunulmuştur.

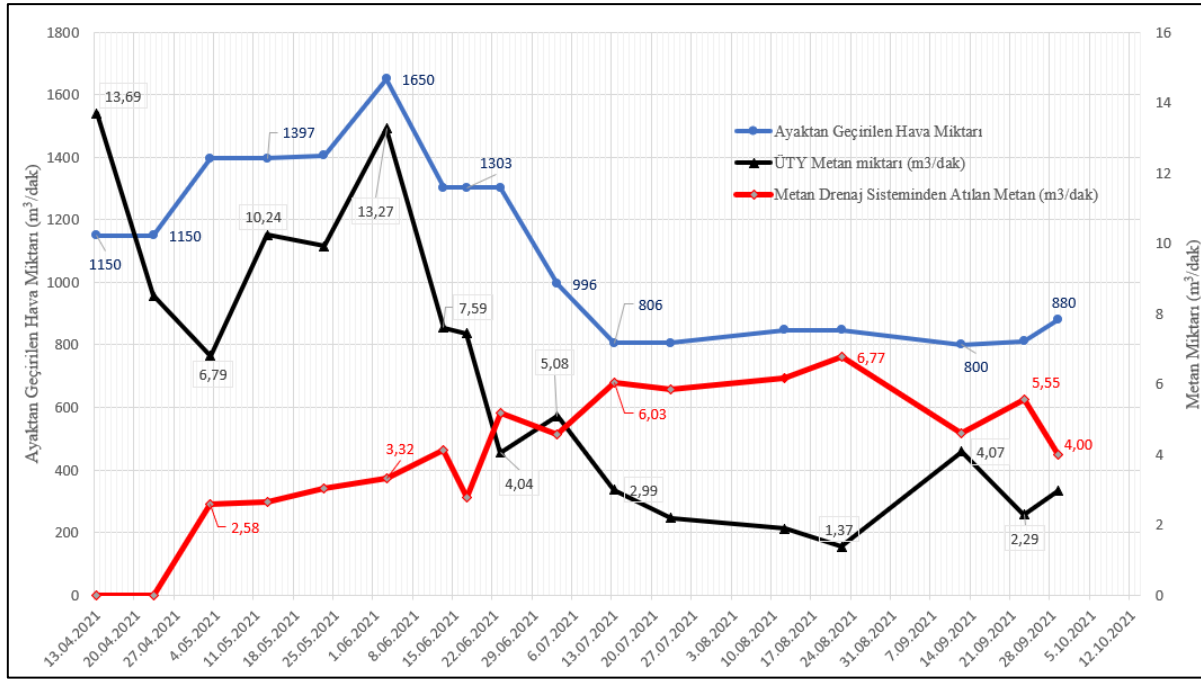
Grafik incelendiğinde, ayak üretim sürecinin ilk zamanlarında metan gazını seyreltmek için ayağa gönderilen hava miktarının 1650 m³/dak

seviyelerine kadar artırılmışken (ortalama 1345 m³/dak), metan drenaj sisteminin devreye alınması ve verimliliğinin sağlanması ile ihtiyaç duyulan havanın yaklaşık ortalama 822 m³/dak seviyelerine kadar düşürüldüğü görülmektedir. Bu işlem sonucunda, ihtiyaç duyulan hava miktarında 523 m³/dak azalma sağlanmıştır. İlk duruma göre ihtiyaç duyulan hava miktarında azalma oranı % olarak (1);

$$\text{Hava miktarında azalma oranı (\%)} = \frac{523}{1345} \times 100 = \%39 \quad (1)$$

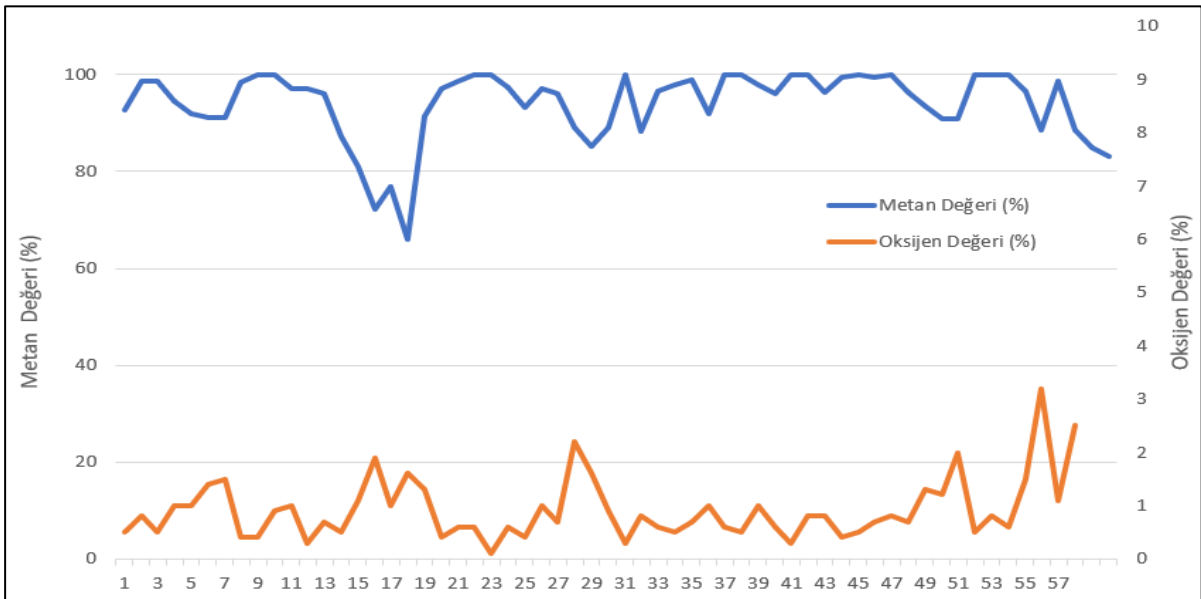
olarak hesaplanmaktadır. Havalandırma gücü; debinin azaltmasına bağlı olarak daha fazla miktarda azalacağından, havalandırma maliyetlerinde ciddi bir iyileştirme olduğu görülecektir. Aynı zamanda, ayaktan geçirilen efektif hava hızları ile daha konforlu bir çalışma alanı sağlanabilmektedir.

Ayak ilerlemesine bağlı olarak metan drenaj emiş noktasının ayağa yaklaşması durumunda drenaj delikleri içerisinde oksijen değerlerinde artış metan değerlerinde düşüş olduğu, yani deliklerin oksijen emilimine başladığı tespit edilmiştir (Şekil 19). Delik içerisinde oksijenin artması ve sınır değerlere yaklaşması durumunda, delik kapatılmaktadır. Delik içerisinden CO değeri de okunması durumunda gaz numunesi alınıp, kromatografide incelenmekte, analiz sonuçları göz önünde bulundurularak, gerekiyorsa bu kısımdan azotlu yangın köpüğü uygulaması yapıldıktan sonra delik kapatılmaktadır. Bu panoda, emiş noktasının ayağa uzaklığı 30 metrenin altına düşünce deliklerin oksijen çekmeye başladığı ve metan emiş veriminin düştüğü tespit edilmiştir.



Şekil 18. C-01 ayakta Nisan-Ekim arası havalandırma miktarı ve metan atımına ilişkin veriler.

Figure 18. Data on ventilation amount and methane discharge between April and October on C-01 longwall.



Şekil 19. Ayağa mesafe olarak yakın bir konumda olan bir drenaj deliğinde metan/oksijen değişimi.

Figure 19. Methane/oxygen exchange in a drainage hole located close to the longwall.

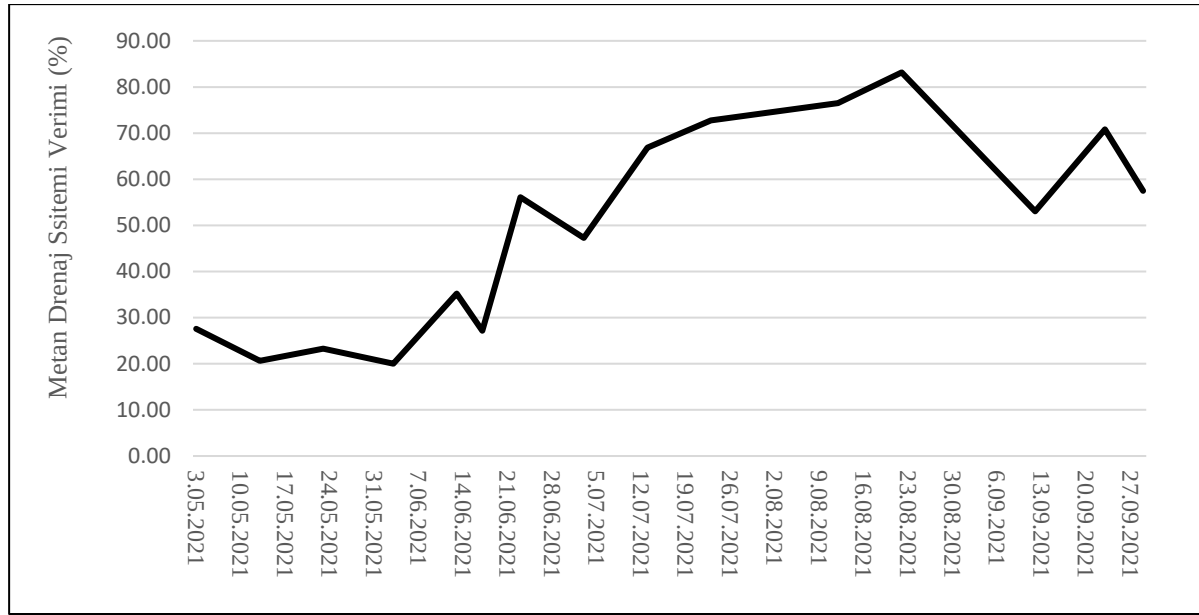
C-01 panosunda metan drenaj sisteminin etkinliğini incelemek için, Şekil 18 içeriğinde grafikte de gösterildiği gibi metan drenaj sistemi ve ayak havalandırması ile uzaklaştırılan metan gazı değerleri referans alınmak suretiyle 2 no' lu formül aracılığı ile panoda uygulanan metan drenaj sisteminin verimliliği hesap edilmiştir. Hesaplanan metan drenaj verimlerinin değişim grafiği Şekil 20'de sunulmuştur.

$$\text{Verim (\%)} = \frac{\text{MDSMM}}{\text{MDSMM} + \text{AHİMM}} \times 100 \quad (2)$$

MDSV: Ayak/pano metan drenaj sisteminin verimliliği (%)

MDSMM: Pano/ayak metan drenaj sistemi ile uzaklaştırılan metan miktarı (m³/dak)

AHİMM: Pano/ayak havalandırması ile uzaklaştırılan metan miktarı (m³/dak)



Şekil 20. C-01 panosu metan drenaj sisteminin verimliliği.

Figure 20. Efficiency of the methane drainage system in C-01 panel.

C-01 panosunda incelenen dönem içerisindeki hesaplanan verim değerlerinin aritmetik ortalaması alındığında, metan drenaj sisteminin verimliliği yaklaşık % 49 olarak hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca, ocaktan uzaklaştırılan toplam metan miktarı ile C-01 metan drenajı ile uzaklaştırılan metan miktarları da karşılaştırılmıştır.

İşletmede atmosferik basınç, hava sıcaklığı, vb. parametrelerde izlenmekte ve kayıtları alınmaktadır. Atmosferik basınç değişimlerinin yeryüzünde metan gelirin etkisi olduğu, atmosferik gaz basıncının düşmesi durumunda ocak ortamında metan gazı girişinin arttığı ve buna bağlı olarak metan drenaj şebekesinin veriminde de değişiklik olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Yapılan çalışma neticesinde elde edilen bulgular değerlendirildiğinde;

- Metan drenaj sistemi uygulamasının ilk aşamalarında üst taban yolundan ayak bölgesine yakın drenaj deliği delinmesi durumunda ayak havasını emmeye çalışma ve deliğin geçtiği kısımda oksidasyona yatkın bir durum oluşturma yönünde bir sonuçla karşılaşılmıştır. Bu veriden yola çıkılarak, deliklerin oluşturulduğu kısımların ayağa

uzaklıkları belirlenmiştir.

- Uygulamada birbirine yakın olan deliklerin ya da birbiri etki alanına giren deliklerin birbirlerinin etkisini azalttığı, bunun da gereksiz delik maliyetine neden olduğu tespit edilmiştir. Bunun için sondaj delikleri açılmadan önce iyi bir etüt çalışması yapılmalıdır.
- Metan drenaj ön çalışmaları kapsamında kömür damarı içine taban yollarından doğrudan delinen deliklerden verim alınamamıştır.
- C-01 panosunda metan drenajı için 5 adet toplam 748 metre uzunlukta sondaj deliği delinmiş ve 690 metre uzunlukta boru şebekesi monte edilmiştir. Metan drenaj şebekesinin toplam kurulum maliyeti yaklaşık olarak 150.000 \$ olarak hesaplanmıştır.
- Ocak havasına karışan metan konsantrasyonu madencilik faaliyetlerinin durmasına neden olarak verimliliği etkilemekte iken, metan drenaj sistemi sayesinde bu sorun ortadan kalkmakta, çalışan ve işyeri güvenliği için uygun bir ortam sağlanmaktadır.
- Panoda yapılan metan drenaj çalışmaları ile ayağa gönderilmesi gereken havalandırma miktarı ve dolayısıyla havalandırma maliyeti azaltılmıştır.
- Yapılan çalışmada metan drenaj emiş noktasının ayağa uzaklığının minimum 30 metre olması gerektiği ve bu değer

altına düşüldüğünde sistemin metan emiş veriminin düştüğü tespit edilmiştir.

- Ocak içerisinde metan drenaj sistemi şebekesi kurulumunun ayak üretim sürecinde ciddi olumlu etkileri olmuştur. Üretim bölgelerinde metan gazı geliri kontrol altına alınmıştır. Bu yüzden metan gazı kaynaklı duruşlar minimuma indirilmiştir.
- İşletmede metan drenaj çalışmaları 2021 yılından beri belli bir disiplinde yapılmaktadır. Mevcut durumda yerüstüne metan drenaj pompası kurulumu yapılmış olup, gerekli tesisat kurulum çalışmaları devam etmektedir. Pompanın devreye alınması ve sonrasında metan gazının enerjiye dönüştürülmesi ile ilgili proje sürecinin (kojenerasyon tesisi) yürütülmesi planlanmaktadır.
- C-01 panosu metan drenaj sistemi aracılığıyla C-01 panosundan atılan toplam gazın yaklaşık % 49' u ve ocaktan atılan toplam metan gazının yaklaşık % 25' i drenaj sistemi ile alınabilmektedir. Buradan, metan drenaj sisteminin efektif bir şekilde çalıştırılabildiği görülmektedir.
- Metan drenaj sisteminin ayaktaki oksidasyonun önden tespitine olanak sağladığı ve gerektiği durumlardan drenaj deliklerinden oksidasyon yaşanan kısımlarda müdahale yapılabilmesi (su, kül, azot, vb.) için imkan sunmaktadır.
- Ülkemiz mevzuatında metan drenajının nasıl yapılacağına ve hangi koşullarda zorunlu olacağına ilişkin uygulamaya rehber oluşturabilecek herhangi bir hüküm bulunmamaktadır. Daha önce, 28 Ocak 1976 tarihli Resmi Gazete ile Metan Drenaj Yönetmeliği yayımlanmış ve daha sonra yürürlükten kaldırılmıştır. Ocaklardan metan drenajı yapılması konusunda daha spesifik bilgiler içeren rehber ve kılavuz hazırlanması gerekmektedir. Bunun yanında, metan gazından elektrik üretimi ile ilgili mevzuatta düzenleme yapılması gereken hususlar mevcuttur.

Yazar Katkısı

Çalışmada yazar katkıları aşağıda ifade edilmiştir:

Kahraman, E.: Fikir ve kavram, tasarım ve dizayn, veri işleme, literatür taraması, yazım.

Tire, S.: Veri toplama, veri işleme.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmanın hazırlanmasında bilgi ve tecrübeleri ile görüşlerini aktaran Gümüşhane Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümünden Dr. Öğretim Üyesi İbrahim Çavuşoğlu' na teşekkürlerini bildirir.

Finansman Beyanı

Bu araştırma herhangi bir fon kuruluşundan, ticari veya kar amacı gütmeyen sektörlerden özel bir hibe almamıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Etik Standartlar

Bu çalışma için Etik Kurul Kararı gerekmemektedir.

Kaynaklar

- Aydın, G., Karakurt, İ. (2009). Yeraltı kömür damarlarından üretilen metanın kullanım teknolojileri. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 129-136. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/pajes/issue/20510/218352>
- Aydın, G., Kesimal, A. (2007). Kömür madenciliğinde metan drenajının uygulanabilirliğinin araştırılması. *Madencilik*, 46 (4), 11-20.
- Cliff, D., Rowlands, D., Sleeman, J. (2004). The Green Book - Spontaneous Combustion in Australian Coal Mines., Project Number: C18013, Queensland, Avustralya, 166s.
- ÇSGB (2016). Yeraltı Kömür Madenlerinde Sağlık ve Güvenlik-ILO Uygulama Kılavuzu, (Çeviren: Handan Uysal Sabır), ISBN 978-975-455-257-7, Ankara, Türkiye, 335s.
- Erbay, E. (2011). Metan Drenajı-Slovakya, Çin Halk Cumhuriyeti, Çek Cumhuriyeti ve Almanya' da

- Metan Drenajı Uygulaması, TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı, Yayın No: 68., Zonguldak, Türkiye, 99s.
- Fişne, A. ve Rend, A.R. (2020). Polyak Eynez Kömür Ocağının Gaz Emisyon Tahmini (Danışmanlık Raporu), İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 35.
- Kahraman, E., Kayabalı, N. (2022). Ocak İçi Metan Drenaj Sistemi Uygulaması: Polyak Eynez Örneği, *Risk Yönetimi Sempozyumu*, 29-30 Kasım 2022, Erişim Linki: <https://www.youtube.com/watch?v=QzoyR1tQFZU>.
- Kahraman, E., Ramazanirend, A. (2023). Yeraltı Madencilğinde Gaz Kromatografi Kullanımı ve Önemi, *9. Uluslararası Maden Makineleri ve Teknolojileri Kongresi*, 13-15 Eylül 2023, İzmir, Türkiye.
- Kutay, O., Öge, İ.F., Tuz, C., Erel, A., Kahraman, E. (2019). Sedimanter Zayıf Kaya Kütlesinde Reçineli Halat Saplamların Uygulama Parametrelerinin Çekme Dayanımına Etkisi, *Türkiye 26. Uluslararası Madencilik Kongresi*, 16-19 Nisan 2019, Belek, Antalya, Türkiye.
- Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği (2013). TC Resmi Gazete (Sayı: 28770), Erişim Linki: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/09/20130919-3.htm>
- Mücke, G., vd. (Çeviri: Gündüz Yerebasmaz) (1987). Metan Drenajı-Kömür Madenciligi İçin El Kitabı, TTK İnsangücü Eğitim Şube Müd., No:55.
- Neuhauser (2005). *Cradle-Mounted Drilling Machine-Operating Manual*. Bochum, Almanya.
- Önce, G., Saraç, S. (2001). Madenlerde Havalandırma (2. Baskı), Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye, 266s.
- Polyak Eynez Enerji Elektrik San. ve Tic. A.Ş., Metan Drenaj Sistemi Uygulama Prosedürü, 2021, İzmir, 5.
- Szlazak N., Obracaj D., Swolkien J. (2018). Methods of Methane Control in Polish Coal Mines, *Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress*. Beijing, China.
- Szlazak, N., Borowski, M., Obracaj, D., Swolkien, J. ve Korzec, M. (2014). Comprasion of methane drainage methods used in polish coal mines. *Archives of Mining Sciences*, 59 (30), 655-675.