

YERALTI KÖMÜR OCAKLARINDA GAZ İZLEME AĞLARI SENSÖR ÖLÇÜMLERİNİN VE KONUMLARININ DOĞRULUĞUNUN ANALİZİ: TTK KOZLU MÜESSESİ

ANALYSIS of ACCURACY of SENSOR READINGS and LOCATIONS in GAS MONITORING NETWORKS in UNDERGROUND COAL MINES: TTK KOZLU COLLIERY

Yusuf Aydın*
Kemal Barış**

ÖZET

Dünyada olduğu gibi ülkemizde de yeraltı taşkömürü ve linyit ocaklarının zararlı gaz konsantrasyonları ile hava hızı gibi fiziksel özellikler sensörler ile izlenmekte ocağın durumu ile ilgili değerlendirmeler yapılabilmektedir. Bu kapsamda bu çalışma; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Kozlu Müessese Müdürlüğü yeraltı kömür ocaklarında sensör değerlerinin ve konumlarının doğruluğunun belirlenmesine yönelik olarak başlatılan bir çalışmanın ön değerlendirme sonuçlarını kapsamaktadır. Çalışma kapsamında, yeraltında çeşitli noktalarda metan (CH₄) konsantrasyonu ve hava hızları manuel olarak ölçülmüş ve sonuçlar sensör verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ocak içerisinde hava yoğunluğundaki değişimleri gözlemek amacıyla bağıl nem, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, ölçüm yapılan noktalarda hava yoğunluğu değerlerinin 1,232-1,312 kg/m³ arasında değişim gösterdiğini, metan sensörlerinin manuel ölçümlerden %5-10 yüksek değerlerde olduğunu ve anemometre ile ölçülen hava hızı değerlerinin sensör değerlerinden ortalama %50 fazla olduğunu göstermiştir.

ABSTRACT

Harmful gas concentrations in underground lignite and hardcoal mines in Turkey, as in the world, are monitored via sensors and evaluations can be made for the mine. In this context, this study covers the preliminary results of a study initiated to determine the accuracy of the sensors and their locations in the mines of the Kozlu Colliery of Turkish Hardcoal Enterprise (TTK). In the study, methane (CH₄) concentrations and air velocity measurements were manually done in certain locations in the underground and compared to sensor readings. Moreover, in order to observe the changes in the air density, relative humidity, wet and dry bulb temperatures and barometric pressures were measured. The results of the study showed that air velocity values range from 1.232 to 1.312 kg/m³, methane sensors recorded values 5 to 10% more than manual readings and manual readings for air velocity were 50%, on an average, more than sensor readings.

Anahtar Kelimeler: Gaz izleme ağı, sensör, hava yoğunluğu, hava hızı

Keywords: Gas monitoring network, Sensor, air density, air velocity.

* Türkiye Taşkömürü Kurumu, Kozlu Müessesesi Müdürlüğü, ZONGULDAK, yusuf_aydin198@mynet.com
** Bülent Ecevit Üniversitesi, ZMYO Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, ZONGULDAK

GİRİŞ

Yeraltı kömür ocakları çoğunlukla zor çalışma koşulları ve tehlikeli çalışma ortamlarının varlığı ile karakterize edilmektedir. Dünya madencilik tarihine bakıldığında yeraltı kömür ocaklarında çoğunluğu ölüm ve büyük maddi kayıplarla sonuçlanan çok sayıda kaza olduğu görülmektedir. Bu kazaların çok çeşitli sebepleri olmakla beraber, sebeplerin önemli bir çoğunluğunun metan (CH_4) ya da grizu ve karbon monoksit (CO) gibi patlayıcı ve zehirli gazların konsantrasyonlarındaki ani artışlardan ya da çalışanlar için gerekli oksijenin (O_2) yetersiz konsantrasyonlara düşmesinden kaynaklandığı bilinmektedir.

Bu kapsamda, yeraltı kömür ocaklarındaki atmosferi güvenli koşullarda tutabilmek için öncelikli gereksinim, ocak havasındaki O_2 , CO, CO_2 ve CH_4 gibi gazların konsantrasyonlarının sürekli ve düzenli olarak izlenmesidir. Böylece, elde edilen verilerden ocak havasına ait kısa ve uzun vadeli değişimler izlenebilmekte ve bu da madencilerin bulunduğu tüm ocak kesimlerinde oluşabilecek patlayıcı ve zehirli atmosferlere karşı erken uyarı imkanı sağlamaktadır.

Yeraltı kömür ocaklarında zararlı gazların tespiti ve izlenmesi ile uygun gaz izleme alet/sistemlerinin tasarımı yeraltı kömür madenciliğinin temel araştırma alanlarından biri olmuştur (Micko, 1981; Farmer, 1982; Nakatani ve Sakai, 1996; McFadden, 2000). Günümüzde, yeraltı kömür ocaklarında ocak atmosferinin uzaktan izlenmesi amacıyla yeraltı ocaklarının çeşitli kesimlerine yerleştirilen elektronik sensörlerin oluşturduğu sensör ağları kullanılmaktadır (Chou, 1999). Bu tür sistemler sayesinde ocak içindeki zararlı gaz konsantrasyonları ile hava hızı ve sıcaklık gibi parametreler sensörler ile izlenmekte, elde edilen veriler anlık olarak merkezi gaz izleme istasyonuna iletilmekte ve ocağın durumu ile ilgili değerlendirmeler yapılabilmektedir. Bunun yanı sıra, taşınabilir gaz detektörleri ve gaz kromatografi gibi çeşitli yöntemlerle de ocak içinde ve dışında anlık ölçümler yapılmakta ve elde edilen ölçüm değerleri sensör ağından elde edilen verilerle karşılaştırılabilmektedir.

Yeraltı kömür ocaklarında gazların izlenmesinde esas olan, sensörlerin ocak içinde doğru noktalarda ve sensörlerin bulunduğu kesit alanı içinde doğru şekilde konumlandırılmalarıdır. Ayrıca, sensörlerin kalibrasyonu ve sensör ölçümlerinin doğruluklarının kontrolü de önem arz etmektedir. İzlenecek gazların fiziksel ve kimyasal özellikle-

rinin iyi bilinmesi kullanılacak sensörlerin seçimi ve doğru konumlandırma açısından oldukça önemlidir.

Bu kapsamda bu çalışma; Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) Kozlu Müessese Müdürlüğü yeraltı kömür ocaklarında sensör değerlerinin ve konumlarının doğruluğunun belirlenmesine yönelik olarak başlatılan bir çalışmanın ön değerlendirme sonuçlarını kapsamaktadır. Çalışma kapsamında, yeraltında çeşitli noktalarda metan (CH_4) konsantrasyonu ve hava hızını ölçmeye yönelik olarak manuel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sensör verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ocak içerisinde çeşitli noktalardaki hava yoğunluğundaki değişimleri gözlemek amacıyla bağıl nem, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmış ve hava yoğunlukları hesaplanmıştır. Başlatılan çalışmanın nihai amacı ise yeraltı kömür işletmelerinde kurulacak gaz izleme ağları için esas teşkil edecek bir modelin oluşturulmasıdır.

1. OCAK GAZLARI

Yeraltı ocaklarında görev yapan bir havalandırma mühendisi sadece ocak havalandırmasındaki hava miktarı ile değil aynı zamanda havanın kimyasal kompozisyonu ile de ilgilenmek zorundadır.

Yeraltı ocakları için bir havalandırma sistemi tasarlanırken ya da o sistemde çalışırken ocak havasının kalitesinin kontrolü oldukça önemli problemlerden biridir. Kirlenici kaynakların yerel olduğu ve havalandırma sisteminin bu yerel kirlenici kaynakları izole etmek üzere tasarlandığı diğer endüstriyel ortamların aksine, tüm yeraltı madencilik çalışmaları tabakalardan yayılan gaz, toz, patlatma kaynaklı gazlar ve dizel egzozları gibi hava kirlenicilerin yayıldığı ortamlardır.

Yeraltı kömür ocaklarında çoğunlukla ciddi can ve mal kayıplarına neden olabilecek patlayıcı, zehirli ya da boğucu özellikte gaz yayımları mevcuttur. Bu nedenle yeraltı kömür ocaklarında özellikle metan (CH_4), karbon monoksit (CO), karbon dioksit (CO_2) ve oksijen (O_2) konsantrasyonlarının sürekli olarak izlenmesi kritik öneme sahiptir. Bunun yanı sıra, sıcaklık ve hava hızı gibi havalandırma açısından önem arz eden parametrelerin izlenebilmekte, ayrıca belirli ocaklarda tehlike yaratabilecek diğer spesifik gazların da sürekli izlenmesine ihtiyaç duyulabilmektedir.

Bu noktada “gaz izleme” ile “anlık gaz tespiti” arasındaki farkı ortaya koymak gerekmektedir.

Bu iki terimin birbirini tamamlar nitelikte olmasına karşın; gaz izleme ocaktaki tehlikeli gaz yayılımlarının sürekli olarak izlenmesi anlamına gelmekte, *anlık gaz tespiti* ise ocakta taşınabilir ölçüm aletleriyle zaman zaman yapılan anlık gaz konsantrasyon ölçümlerini kapsamaktadır.

2. GAZ SENSÖRLERİ

Gaz sensörleri belirli bir alanda mevcut çeşitli gazların varlığını saptamak için kullanılır. Sensörler algılanacak gazın konsantrasyonuna bağlı olarak orantılı bir elektriksel tepki verirler. Eğer izlenen gazın ortamdaki konsantrasyonu önceden belirlenmiş limit değerleri aşarsa sensör/sensörlerin kullanıldığı alet ya yakındaki personele alarm vermekte ya da ekipmanın güç kaynağını kapatma gibi acil eylemleri harekete geçirebilmektedir. Yeraltı kömür ocaklarında karşılaşılan gazların tespitinde kullanılan sensörler Çizelge 1’de ve bu sensörlerin çalışma prensiplerine göre sınıflandırılması Çizelge 2’de verilmektedir.

2.1. Katalitik Sensörler

Yeraltı kömür ocaklarında kullanılan temel sensör çeşitlerinden biri katalitik ya da pelistör tip sensörlerdir. Bu tip sensörler bir seramik içine gömülü platin bir telin direncindeki değişim vasıtasıyla ölçüm yapmaktadır (Eggins, 2002). Bu tip sensörler %0-5 arasındaki metan konsantrasyonlarını ölçebilmekte ve organosülfür, organofosfor bileşikler, etan, propan, hidrojen ve diğer yanıcı gazların varlığından etkilenebilmektedir (sensör zehirlenmesi).

Katalitik sensörler yüksek konsantrasyonda gaza maruz kaldıklarında, sensör yüzeyinde oluşabilecek yüksek ısı ve diğer oksidasyon işlemleri nedeniyle sensör performansı bozulabilmektedir. Bu tip sensörler oksidasyon prensibine göre çalıştığından genellikle %12’nin üzerinde bir oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç duyulmaktadır (Valoski, 2010).

2.2. Optik Sensörler

Gazların tespiti için kullanılan optik sensörler; Kızılötesi, lazer ve fiber optik sensörler olmak üzere üç çeşittir.

2.2.1. Kızılötesi (Infrared) Sensörler

Gaz molekülleri birbirine bağlı atomlardan oluşmaktadır. Atomları birbirine bağlayan bağlar

sabit bir frekansta salınım yapmakta ve bu da doğal frekans olarak adlandırılmaktadır. Kızılötesi radyasyon gaz molekülleriyle etkileşime geçtiğinde enerjinin bir kısmı gaz moleküllerinin doğal frekanslarıyla eşit olmakta ve adsorbe edilmektedir. Gaz molekülleri bu enerjiyi adsorbe ederken moleküller enerji kazanmakta ve daha aktif bir şekilde titreşmektedir. Bu titreşim sonucunda gaz moleküllerinin sıcaklığı artmakta ve sıcaklıktaki bu artış sensör tarafından tespit edilmektedir (Kumar vd, 2013). Ocak atmosferinin bir filtreden difüze olması gerektiğinden kızılötesi sensörlerin tepki süreleri katalitik sensörlerden daha yüksektir. Ayrıca, kızılötesi sensörler nenden olumsuz olarak etkilenmektedir. Ancak, bu tip sensörler katalitik ve elektrokimyasal sensörlerin aksine oksijenden yoksun doğru ölçümler yapabilmektedir.

Çizelge 1. Yeraltı Ocaklarında Kullanılan Gaz Tespit Sensörleri.

Gaz	Tespit Yöntemi
CH ₄	Katalitik oksidasyon, ısı iletkenlik, optik, akustik
O ₂	Elektrokimyasal, paramanyetik
CO	Elektrokimyasal, katalitik oksidasyon, yarıiletken, kızılötesi
CO ₂	Optik, kızılötesi
SO ₂	Elektrokimyasal, kızılötesi
NO _x	Elektrokimyasal
H ₂ S	Elektrokimyasal, yarı iletken
H ₂	Katalitik oksidasyon

Çizelge 2. Çalışma Prensiplerine Göre Sensörlerin Sınıflandırılması.

Sensör Tipi	Fiziksel Değişim	Sinyal Kaynağı
Katalitik (pelistör)	Sıcaklık ya da ısı	Wheatstone köprüsü
Optik (kızılötesi, lazer, fiber optik)	Absorbans, Lüminesans, Kırılma indisi, Saçılım	Gaz ya da bazı indikatörlerle reaksiyon, kimyasal reaksiyon sonucu yayılım, örnekteki belirli boyuttaki taneler
Yarı iletken	Elektriksel	Çalışma fonksiyonundaki değişimler
Elektro kimyasal	Voltametrik	Elektrotlar arasındaki akımın değişimi

2.2.2. Lazer Sensörler

Bu sınıf gaz sensörleri ayarlanabilir diyot lazer absorpsiyon spektroskopisi (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy –TDLAS) ve ayrışık absorpsiyon ışın tespiti ve ölçme (Differential Absorption Light Detection and Ranging-LIDAR) olmak üzere iki çeşittir.

Çoğu gaz, özellikle orta-kızılötesi (2-25 μm) bandında karakteristik optik absorpsiyonlar sergilemektedir. Farklı gazların optik parmak izleri spektral absorpsiyonu gaz analizinde eşsiz bir konuma getirmektedir (Zhang vd., 2006). TDLAS tekniğinde bir diyot lazer, lazer demetinin yolu üzerinde bulunan hedef gazın karakteristik absorpsiyon doğruları üzerinde iyi-tanımlanmış ancak ayarlanabilir bir dalga boyunda ışın yamaktadır. Bu da fotodiyot tarafından saptanabilen ölçülebilir sinyal yoğunluğunda bir azalmaya yol açmakta ve daha sonra gaz konsantrasyonunu tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu teknikte, bir gaz karışımı içindeki gazların (metan, su buharı vb.) konsantrasyonlarını ölçmek mümkündür.

Ayrışık absorpsiyon ışın tespiti ölçme tekniğinde ise lazer kaynağı hedef gazın moleküler absorpsiyon doğrusu ile uyumlu bir lazer demeti yaymakta olup hedef gazın atmosferde gaz absorpsiyonuyla etkilenmiş sinyalin yansımaları algılanmaktadır (Prasad vd., 2011). Ölçülecek gazın optimum dalga boyu yakınında, iletilen ışının absorpsiyon miktarı her bir molekülün dalga boyu ile önemli ölçüde değiştiğinden (bu da gazlara ait özel moleküler imzalar yaratmaktadır) ayrışık absorpsiyon LIDAR (DIAL) olarak adlandırılan yöntem konsantrasyonları belirlemek için kullanılmaktadır.

2.2.3. Fiber Optik Sensörler

Fiber optik sensörler bir ışın modülasyonu (analit varlığına göre ışın parametrelerinden birinin değişimi) kullanılmaktadır. Polipriol, polianilin ya da politiyofen gibi iletken organik polimerler bazı gazlara maruz kaldığında dirençlerinde tersinir bir değişim göstermektedir (Agbor vd., 1995). İletkenlikteki değişim, kırılma indisinde değişime yol açan elektriksel geçirgenlikte değişime neden olur. Analitler kırılma indisi, absorpsiyon ve flüoresans gibi fiber optik boyunca iletim özelliklerinin değişiminin temeli olan optik özellikleri değiştirmek üzere kaplama ile reaksiyona girerler.

Fiber optik sensörler, elektromanyetik etkilere dayanıklılık, küçük ve kompakt boyutlar, hassasiyet, uzaktan algılama ve çeşitli tekstil yapılara

gömülebilme gibi özellikleri nedeniyle geleneksel sensörlere üstünlük sağlamaktadır (El-Sherif, 2003).

2.3. Yarı İletken Sensörler

İki elektrot arasındaki yalıtkan bir tabakaya yarı iletken bir madde uygulanması ile elde edilen ve katı hal (solid state) sensörleri olarak da adlandırılan bu sensörler temel olarak zehirli gazların sınırlı olarak da yanabilir hidrokarbonların tespitinde, kullanılmaktadır. Tabaka, izlenecek gazın yarı-iletken materyalin iletkenliğinde tersinir bir değişime neden olabilecek bir sıcaklığa ısıtılmakta, hedef gaz metal oksit filmin yüzeyi ile etkileşmekte ve bu etkileşim materyalin taşıyıcı konsantrasyonunda değişime yol açmaktadır

2.4. Elektrokimyasal Gaz Sensörleri

Elektrokimyasal sensörler, bir anot, katot ve elektrolit ihtiva eden, yakıt hücresine benzer sensörlerdir. Hücre içerisine difüze olan gaz bir kimyasal reaksiyona neden olmakta ve sonucunda bir akım üretmektedir. Tipik olarak CO, O₂, H₂ ve NOx gibi gazları tespit etmek için kullanılmakta ve düzgün çalışabilmeleri için belirli miktarda oksijen konsantrasyonuna ihtiyaç duymaktadırlar. Elektrokimyasal sensörler oldukça yüksek doğrulukta ölçümler yapabilmekte ve kolay zehirlenmemektedirler. Ancak, elektrokimyasal CO sensörleri H₂ ve H₂S'den, O₂ sensörleri CO'dan ve H₂ sensörleri ise CO ve H₂S'den etkilenebilmektedir. Bunun yanı sıra, elektrokimyasal gaz sensörleri dar sıcaklık aralıklarında faaliyet göstermekte, kuru ve sıcak ortamlarda raf ömürleri kısalmaktadır (Kumar vd., 2013).

3. TTK KOZLU MÜESSESİ VE MERKEZİ GAZ İZLEME SİSTEMİ

3.1. TTK Kozlu Müessesesi Hakkında Genel Bilgi

TTK Kozlu Müessesesi, Türkiye Taşkömürü Kurumu'nun beş müessesesinden biri olup Zonguldak şehir merkezinden 6 km uzakta yer almaktadır. Türkiye'de bazı panolarında denizaltı madenciliği uygulanan tek ocaktır (Şekil 1).

TTK Kozlu Müessesesi'ne bağlı ocaklar havzanın en gazlı damarlarına sahip ocaklardandır. Her ne kadar damar gaz içerikleri ve desorpsiyon karakteristiklerini gösteren sistematik ölçüm verileri bulunmasa da müesseseye bağlı ocaklarda havza tarihi boyunca yaşanan patlama ve

ani gaz-kömür püskürmesi vakaları ocakların oldukça gazlı olduğunun net bir göstergesidir.



Şekil 1. Zonguldak Taşkömürü Havzası ve TTK Kozlu Müessesesi Yer Bulduru Haritası.

TTK Kozlu Müessesesi'ne bağlı ocaklarda üretim, Westfaliyen A yaşlı Kozlu formasyonunda yer alan ve kalınlıkları 0,8-8.0m arasında değişen toplam 22 damarda -200, -300, -425, -485, -560 ve -630 katlarında sürdürülmektedir. 2014 yılı itibariyle TTK Kozlu Müessesesi toplam (görünür, muhtemel, mümkün) rezervi 156.551.317 tondur.

Müessesede kömür, halihazırda çalışır durumdaki 11 panoda; pnömatik patlatma-tumba baca, ilerletimli-göçertmeli uzun ayak ve dönümlü-göçertmeli uzun ayak yöntemleriyle üretilmektedir. Müessese'nin 2014 yılı Kasım ayı itibariyle toplam tüvenan kömür üretimi 470,184 ton ve satılabilir kömür üretimi ise 269,166 ton olarak gerçekleşmiştir (TTK, 2014).

TTK Kozlu Müessesesi ocaklarında aktif olarak yedi kuyu bulunmaktadır. Bu kuyular, havalandırma amacı dışında kömür, insan ve malzeme taşımada da kullanılmaktadır. Bu kuyulardan Uzun Mehmet 1 ve 2 no'lu kuyular ile Yeni ve İncirharmanı kuyuları hava giriş kuyuları olarak görev yapmaktadır.

3.2. Merkezi Gaz İzleme Sistemi

TTK Kozlu Müessesesi'ne ait ocaklarda ocak atmosferinin sürekli olarak izlenmesi ve olası tehlikelerin önüne geçmek amacıyla bir merkezi gaz izleme ağı tesis edilmiştir. Bu amaçla müessesede kurulan merkezi gaz izleme servisinde 14 operatör görev yapmaktadır.

Müesseseye ait ocaklarda ocak atmosferinin izlenmesi amacıyla ocak içinde konumlandırılmış, Tevel marka ve alev sızdırmaz özellikte, 87 adet metan (MPS-11D-NG), 12 adet karbon monoksit (MPS-06-NG), 7 adet hava hızı (MPS-02-NG), 6 adet basınç (MPS-08-NG) ve 3 adet de sıcaklık sensörü (MPS-03-NG) olmak üzere toplam 115 sensör mevcuttur. Bu sensörlerden metan sensörleri kızılötesi diğer sensörler ise elektrokimyasaldır. Sensörlerin elektronik kısımları paslanmaz bir çelik ile muhafaza edilmekte ve üzerinde bulunan askı sayesinde ocak içerisinde çeşitli yerlere/seviyelere asılmaya uygundur. Şekil 2'de bir metan sensörü örnek olarak gösterilmektedir. Ocakta kullanılan sensörlere ait teknik bilgiler Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 2. TTK Kozlu Müessese'sinde Kullanılan Tevel Marka MPS-11D-NG Metan Sensörü.

Müesseseye ait Merkezi gaz izleme istasyonunda ocak atmosferi ilgili personel tarafından sürekli olarak izlenmekte ve beklenmeyen herhangi bir durumda ocakta çalışan personel ve yetkili amir bilgilendirilmektedir. Ayrıca, sensörlerde anormal/tutarsız ölçümler kaydedildiğinde sensörler bir başka gaz ölçüm cihazı ile manuel olarak kontrol edilmekte ve herhangi bir sensör arızalıysa arızalanan sensörlerin bakım ve onarımları yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, ocaktaki tüm sensörler belirli aralıklarla kalibre edilmekte ve sensörlerin düzgün çalışmaları sağlan-

Çizelge 3. TTK Kozlu Müessesesi'nde Kullanılan Sensörlere Ait Teknik Bilgiler.

Sensör Tipi ve Modeli	Temel Fonksiyonlar	Çalışma Sıcaklığı Aralığı (°C)	Ölçüm Aralığı
Metan (MPS-11D-NG)	- Ölçüm	-20 / +50	0-100 %
Karbon monoksit (MPS-06-NG)	- Sonuçları dijital	-20 / +50	0-50 ppm
Hava Hızı (MPS-02-NG)	ekranda gösterme	-20 / +50	0-20 m/s
Basınç (MPS-08-NG)	- Alarm	-20 / +50	100-1100 mbar
Sıcaklık (MPS-03-NG)	- Komünikasyon	-20 / +50	-20 / +100°C

maktadır. TTK'ya bağlı müesseselerde bulunan merkezi gaz izleme sistemleri, TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanlığı'nca hazırlanan, 24.08.2010 tarih ve 242 sayılı "Merkezi Gaz İzleme Yönergesi" ile yürütülmektedir. Bu yönerge ile ilgili değerlendirmeler çalışmanın Bölüm 5'te ele alınacaktır.

4. MERKEZİ GAZ İZLEME SİSTEMİNDE GÖZLENEN MEVCUT SORUNLAR

TTK Kozlu Müessesesi'ne bağlı ocaklar her ne kadar sensörlerle donatılmış ve merkezi gaz izleme sistemi ile sürekli olarak izlense de uygulamada problemler olduğu gözlenmiştir.

Bu sorunlardan öncelikli olanı yeraltı kömür madenciliğine yönelik ve havalandırma işlerini kapsayan mevzuattaki açıklardan kaynaklanan sorunlardır. Konuya yönelik olarak Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nca 19.09.2013 tarih ve 28770 sayılı (değişik 24.09.2014 tarih 29129 sayı) Resmi Gazete'de yayımlanan "Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetmeliği" grizulu yeraltı ocaklarında havalandırma ile ilgili temel bilgiler sağlasa da yönetmelik detaydan yoksundur. Bu yönetmelikte "üretim ünitelerinden dönüş havası içinde ve üretim yerlerindeki gazların birikebileceği yerlerde metan gazı seviyesi sürekli olarak izlenir" ifadesi ile sadece metan gazının izlenmesine yönelik bir değerlendirme yapılmakta, ancak izlenmesi gerekli diğer gazlar ve fiziksel özelliklerle (özellikle, CO, O₂) ilgili herhangi bir detay verilmemektedir. Bu da ocak içinde sensör yerlerinin seçiminde bir standardın uygulanmamasını ve sensör yeri seçiminin ocak personeline bırakılmış olduğunu göstermektedir.

Bunun yanı sıra, özellikle 2014 yılında madencilik endüstrisinde yaşanan facialardan sonra Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından "Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında

Yönetmelik" taslağı Madde 16'da, yürürlükteki yönetmeliğin EK-3'ünün 10.3'üncü bendinin sonuna "Merkezi izleme sistemine bağlı sensörler, oksijen, metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür, sıcaklık ve hava hızı değerlerini ölçecek şekilde, sayıları ve yerleri sağlık ve güvenlik dokümanında belirlenecek şekilde yerleştirilir. Ancak, bu sensörler asgari olarak, ocağın ana hava girişi yolunda, üretim bölgelerinin her birinin temiz hava girişi ve dönüş yollarında, hazırlık çalışması yapılan bölgelerin hava dönüş yollarında ve ocağın kirlili havasının ocak dışına çıktığı nefesliklerde bulunacaktır ibaresi eklenmiştir" denilmektedir. Her ne kadar anılan yönetmelik taslağında sensör yerlerine atıfta bulunulsa da sensörlerin kesit içinde nerelere konumlandırılması gerektiği belirtilmemektedir. Ayrıca, yayımlarının takip edilmesi beklenen gazlar ile hava hızı gibi fiziksel parametrelerin ölçülmesinde pratikte yaşanan problemlerin de göz ardı edilmiş olduğu görülmektedir. Örneğin, yeraltı ocaklarında hava hızı ölçümlerinin yeraltı açıklığının kesiti içerisinde tek bir noktada konumlandırılmış tek bir sensörle yapılması oldukça hatalı sonuçlara yol açmaktadır.

TTK ise bünyesindeki yeraltı kömür ocaklarındaki ocak atmosferinin izlenmesine yönelik olarak "Merkezi Gaz İzleme Sistemi Yönergesi" adı altında bir yönerge yayımlamıştır (TTK, 2014). Bu yönergede ocağa konumlandırılacak sensörlerin korunması, alarm seviyeleri ve sensör yerleri hakkında genel bilgiler vermekte ve buna yönelik olarak "metan, CO vb. sensörler galeri veya taban arınında kesinlikle basınçlı veya tali havalandırma akımına maruz kalmayacak şekilde yan cidarda, en az ağız-burun seviyesinin üstünde tavana yakın olarak yerleştirilecektir" denmektedir. Ancak, yeraltı kömür ocaklarında yayılım gösterebilecek gazların özellikle yoğunluk gibi fiziksel özelliklerinin farklı olması nedeniyle bu yönergede belirtilen esaslara göre

seçilecek sensör yerlerinin uygun olamayabileceği ve hatalı ölçümlere neden olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, ocağa sağlanan havanın yoğunluğundaki değişimlerin özellikle derinleşen ocak koşullarında sensör yeri seçiminde etkili olabileceği de düşünülmektedir.

Gaz izleme sistemi ile ilgili olarak TTK Kozlu Müessesesi'nde karşılaşılan sorunlardan bir diğeri de lağım ateşlemelerindeki ölçümlerde yaşanmaktadır. Ateşleme ile yapılan lağım ilerlemelerinde olası fiziksel zararların önüne geçmek amacıyla sensörler arından uzak bir noktaya konumlandırılmakta ve bu da açığa çıkan gazların ölçümlerinde hatalara neden olmaktadır.

5. OCAKTA YAPILAN ÖLÇÜMLER

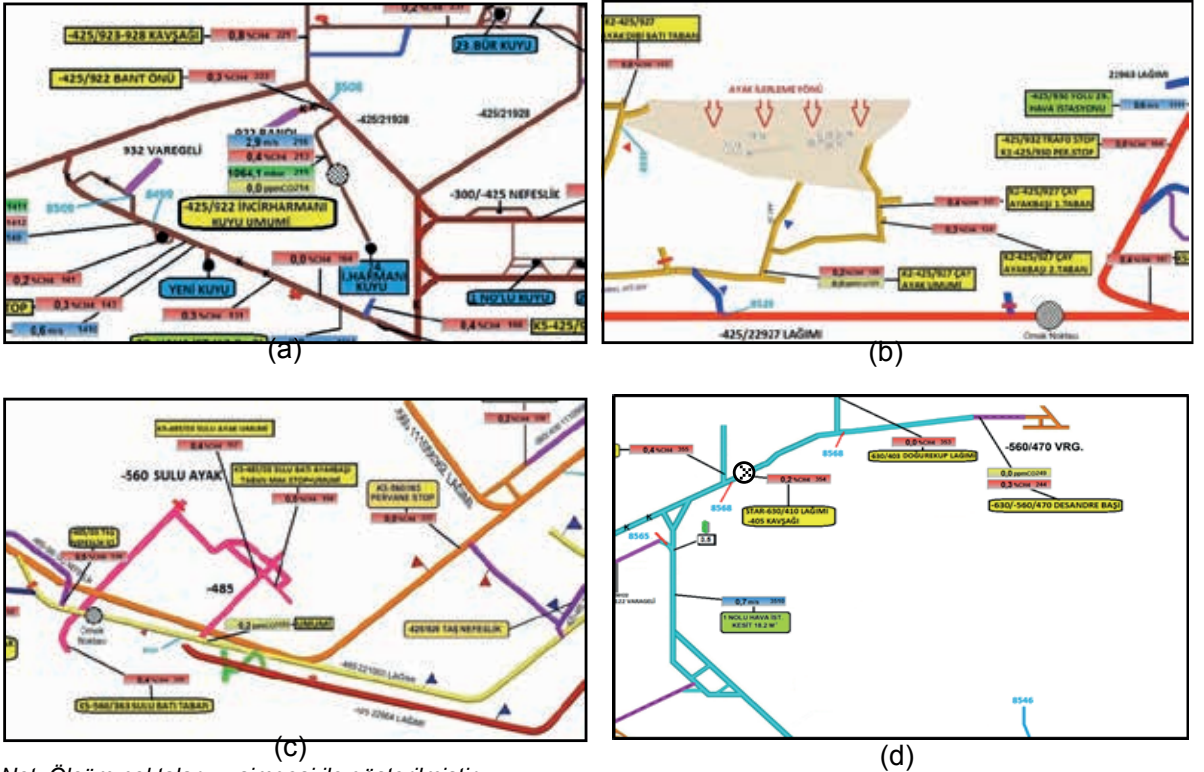
Bir önceki bölümde bahsedilen problemlerin ve TTK Kozlu Müessesesi'ne ait ocaklarda sensör verilerinin doğruluğunun araştırılması amacıyla çeşitli ocak kesimlerinde metan konsantrasyonuna yönelik olarak, -425 katı İncirharmanı Kuyu bağlantı lağımı (İncirharmanı), -425 katı Kartiye 2 umumi lağımı (Kartiye 2) ve -485 katı Kartiye 5 umumi lağımında (Kartiye 5) ve -630 katı Doğu

Lağımı olmak üzere dört farklı noktada çeşitli tarihlerde manuel ölçümler yapılmış ve ölçüm değerleri merkezi gaz izleme sisteminden alınan verilerle karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra, anılan noktalarda hava yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla barometrik basınç, sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri yapılmıştır. Bu sayede ocağa sağlanan havanın ocak içindeki farklı noktalarda yoğunluğundaki değişim gözlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, ocakta bulunan hava hızı sensörleri değerlerinin doğruluklarını test etmek amacıyla bu noktalarda hava hızı ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te ölçüm yapılan ocak kesimlerinin planları ve ölçüm noktaları verilmektedir.

5.1. Metan Konsantrasyonu Ölçümleri

Şekil 3'te belirtilen yerlerde çeşitli tarihlerde ocak içerisinde manuel metan konsantrasyonu ölçümleri yapılmış ve ölçülen değerler sensörler tarafından ölçülen değerlerle karşılaştırılmıştır. Manuel ölçüm değerleri ile sensör ölçümleri değerleri Çizelge 4'te sunulmuştur.

Ölçüm sonuçları incelendiğinde birkaç ölçüm dışında sensör ölçümlerinin daha yüksek değerler



Not: Ölçüm noktaları simgesi ile gösterilmiştir.

Şekil 3. Ocak Kesimlerinin Planları ve Ölçüm Noktaları: (a) -425 Katı İncirharmanı Kuyu Bağlantı Lağımı, (b) -425 Katı Kartiye 2 Umumi Lağımı ve (c) -485 Katı Kartiye 5 Umumi Lağımı (d) -630 Katı Doğu Lağımı.

verdiği görülmektedir. Sağlıklı değerlendirme yapabilmek için daha çok ölçüm sonucuna ihtiyaç bulunmakla beraber bu sonucun ocak güvenliği için tehlike yaratmayacağı düşünülmektedir. Ancak, Avrupa Birliği standartlarında yer alan ve yeraltı kömür ocaklarından atmosfere yayılan metan miktarının kayıt altına alınması gerektiği düşünüldüğünde, sensörlerle ölçülen değerlerin yüksek olmasının atmosfere yayılan toplam metan miktarının raporlanmasında önemli etkisi olabileceği düşünülmektedir.

Sensör yerinin metan konsantrasyonu ölçümlerine olan etkisini araştırmak amacıyla -425/923 Ana yol ve -485/03 Domuzcu Batı taban yolunda, biri yan cidarda ve biri de tavana asılı olmak üzere iki adet sensörü ile ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonucunda her iki ölçüm noktasında tavana asılan sensörün, beklendiği üzere, yan cidarda olandan daha yüksek ölçümler yaptığı görülmüştür. Domuzcu Batı taban yolunda yapılan ölçümlerde, tavanda asılı sensör %4,69 CH₄ ölçerken yan cidarda bulunan ancak %2,85 ölçmüştür. Bu durumda, patlama bölgesinde bulunan bir metan konsantrasyonunun yan cidardaki sensör tarafında algılanmadığı net bir şekilde görülmüştür. Bu ölçüm sonucu, metan sensörlerinin mutlaka tavana mümkün olan en yakın yere konmasının gerekliliğini bir kere daha göstermiştir.

5.2. Hava Yoğunluğuna Yönelik Ölçümler

Çalışma kapsamında, hava yoğunluğunun belirlenmesi amacıyla daha önce belirtilen noktalarda barometrik basınç, sıcaklık ve bağıl nem ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Hava yoğunluğu hesaplamaları Davis (1992) ve Picard vd. (2008) tarafından belirtildiği üzere 1-5 eşitlikleri yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[1 - x_v \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (1)$$

Burada; ρ_a nemli havanın yoğunluğunu, p barometrik basıncı (Pa), t hava sıcaklığını (°C), T termodinamik sıcaklığı (°K) ($273+t$), x_v su buharının molar fraksiyonunu, M_a kuru havanın molar kütlelerini (gmol^{-1}), M_v suyun molar kütlelerini (gmol^{-1}), Z sıkıştırılabilirlik faktörünü ve R molar gaz sabitini ($\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$) göstermektedir.

Eşitlik 1'de kullanılan M_a değeri genellikle sabit

olarak kabul edilmektedir. Bunun yanı sıra, suyun mol fraksiyonu (x_v) doğrudan ölçülmemekte, ya bağıl nemin (h) ya da yoğuşma noktası sıcaklığının ölçülmesi ile hesaplanmaktadır. Her iki durumda da nemli havanın doymuş buhar basıncının ($p_{sv}(t)$) bilinmesi gereklidir. Bu hesaplama Eşitlik 2 kullanılarak yapılmaktadır.

$$p_{sv} = 1 \text{ Pa} \times \exp(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}) \quad (2)$$

x_v 'nin hesaplanması için ayrıca, Eşitlik 3'te verilen geliştirme faktörü (f) de gereklidir.

$$f = a + b p + g t^2 \quad (3)$$

Bu eşitlikte α , β ve γ sabit parametreleri, t ise sıcaklığı temsil etmektedir (°C).

p_{sv} ve f hesaplandıktan sonra eşitlik 2 ve 3 kullanılarak eşitlik 4 kullanılarak x_v hesaplanır.

$$x_v = hf(p, t) \cdot \frac{p_{sv}(t)}{p} \quad (4)$$

Burada, h bağıl nemi temsil etmektedir. Formülde kullanılan bağıl nem $0 \leq h \leq 1$ aralığındadır. Dolayısıyla, %42'lik bir enstrümental değer $h=0.53$ olarak ifade edilmektedir.

Son olarak, sıkıştırılabilirlik faktörü, Z , ise Eşitlik 4 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$Z = 1 - \frac{p}{T} [a_0 + a_1 + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t)x_v + (c_0 c_1 t)x_v^2] + \frac{p^2}{T^2} (d + ex_v^2) \quad (5)$$

Eşitlik 2, 3 ve 5'te kullanılan sabit parametrelerin ($a_0, a_1, a_2, b_0, b_1, c_0, c_1, d$ ve e) değerleri Giacomo (1982)'nin çalışmasında verilmektedir.

Ocakta gerçekleştirilen ölçümler sonucunda hesaplanan hava yoğunluğu değerleri Çizelge 5 ve 6'da verilmiştir.

Çizelge 4. Manuel Metan Konsantrasyonu Ölçümleri Ve Sensör Ölçümlerinin Karşılaştırılması.

Tarih	İncirharmanı		Kartiyeye 2		Kartiyeye 5		Doğu Lağımı*	
	Manuel (%)	Sensör (%)	Manuel (%)	Sensör (%)	Manuel (%)	Sensör (%)	Manuel (%)	Sensör (%)
10.10.2014	0,40	0,60	-	-	-	-	-	-
13.10.2014	-	-	0,10	0,20	-	-	-	-
15.10.2014	-	-	-	-	0,80	0,90	-	-
20.11.2014	0,48	0,50	-	-	-	-	-	-
21.11.2014	-	-	0,15	0,10	-	-	-	-
22.11.2014	-	-	-	-	1,00	1,10	-	-
25.11.2014	-	-	-	-	0,80	1,00	-	-
28.11.2014	-	-	0,10	0,20	-	-	-	-
29.11.2014	0,48	0,40	-	-	-	-	-	-
08.12.2014	-	-	-	-	1,10	0,90	-	-
09.12.2014	-	-	0,15	0,20	-	-	-	-
10.12.2014	0,58	0,50	-	-	-	-	-	-
31.12.2014	0,46	0,40	0,25	0,20	1,00	0,90	-	-
15.01.2015	0,35	0,38	-	-	-	-	-	-
20.01.2015	-	-	0,25	0,30	-	-	0,10	0,10
22.01.2015	0,33	0,38	0,20	0,30	-	-	-	-
24.01.2015	0,46	0,80	0,27	0,38	-	-	-	-
27.01.2015	0,60	0,60	0,30	0,40	-	-	0,10	0,10
28.01.2015	0,30	0,38	0,50	0,62	-	-	-	-
21.02.2015	-	-	-	-	-	-	0,10	0,10
23.02.2015	0,46	0,75	0,25	0,70	-	-	-	-
24.02.2015	-	-	0,25	0,70	-	-	0,10	0,10
25.02.2015	0,40	0,50	0,20	0,60	-	-	0,10	0,10
26.02.2015	-	-	-	-	-	-	0,10	0,10
28.02.2015	0,62	0,35	0,23	0,70	-	-	-	-
04.03.2015	-	-	0,20	0,70	-	-	0,10	0,10
07.03.2015	0,40	0,50	0,20	0,60	-	-	-	-
09.03.2015	-	-	-	-	-	-	0,10	0,10
11.03.2015	-	-	-	-	-	-	0,10	0,10

*Ölçüm yapılan tarihlerde üretim olmaması nedeniyle sensör ve ölçüm değerlerinde farklılık gözlenmemiştir.

Çizelge 5. İncirharmanı ve Kartiye 2'de Ölçülen Sıcaklık (t), Barometrik Basınç (p) ve Bağıl Nem Değerleri (h) ile Hesaplanan Hava Yoğunlukları (ρ_a).

	Tarih	t (°C)	p (mmHg)	h (%)	ρ_a (kg/m ³)	
İncirharmanı	10.10.2014	22,9	798,14	94,2	1,241	
	20.11.2014	21,5	791,84	88,9	1,238	
	29.11.2014	22,4	800,39	93,1	1,247	
	10.12.2014	22,3	793,34	92,5	1,236	
	15.01.2015	21,0	795,81	89,0	1,247	
	22.01.2015	21,9	800,32	88,4	1,250	
	24.01.2015	20,7	795,81	90,5	1,238	
	27.01.2015	21,7	795,07	90,4	1,242	
	28.01.2015	21,9	793,57	90,8	1,239	
	23.02.2015	20,0	794,32	86,7	1,250	
	25.02.2015	20,2	790,57	86,9	1,243	
	28.02.2015	20,1	791,32	88,0	1,244	
	07.03.2015	19,8	799,87	88,2	1,260	
	19.03.2015	20,1	824,32	91,0	1,290	
	10.04.2015	20,0	801,07	90,0	1,260	
	Kartiye 2	13.10.2014	22,2	797,02	94,6	1,242
		21.11.2014	21,9	799,94	95,0	1,248
28.11.2014		21,2	807,67	89,2	1,265	
09.12.2014		22,5	791,17	93,7	1,232	
20.01.2015		20,2	802,57	89,0	1,261	
22.01.2015		21,0	806,32	90,1	1,263	
24.01.2015		21,6	795,07	91,6	1,243	
27.01.2015		21,3	801,07	91,4	1,253	
28.01.2015		21,2	798,82	91,2	1,250	
23.02.2015		19,2	799,57	90,4	1,261	
24.02.2015		20,4	795,97	89,8	1,250	
25.02.2015		20,3	796,57	88,5	1,252	
28.02.2015		20,0	797,32	90,1	1,254	
04.03.2015		21,0	810,82	87,3	1,271	
07.03.2015		20,2	805,57	88,8	1,266	
19.03.2015		20,4	805,57	95,0	1,266	
10.04.2015		19,0	806,62	90,0	1,270	

Çizelge 6. -485 Kartiye 5 ve -630 Doğu Lağımında Ölçülen Sıcaklık (t), Barometrik Basınç (p) ve Bağıl Nem Değerleri (h) ile Hesaplanan Hava Yoğunlukları (ρ_a).

	Tarih	t (°C)	p (mmHg)	h (%)	ρ_a (kg/m ³)
Kartiye 5	04.03.2015	23,1	793,34	81,2	1,234
	07.03.2015	21,5	797,09	80,5	1,248
	25.11.2014	22,0	797,39	89,2	1,245
	08.12.2014	21,3	791,92	79,4	1,241
	31.12.2014	21,5	794,32	79,6	1,243
	20.01.2015	18,3	826,80	64,0	1,312
	26.01.2015	21,8	821,32	74,1	1,284
-630 Doğu Lağımı	27.01.2015	19,4	827,47	63,2	1,308
	21.02.2015	18,4	826,57	63,2	1,311
	24.02.2015	19,5	821,32	65,0	1,297
	25.02.2015	18,6	826,72	66,0	1,310
	26.02.2015	20,7	823,57	61,3	1,295
	04.03.2015	20,0	827,32	66,0	1,304
	09.03.2015	19,8	826,72	64,1	1,304
	11.03.2015	23,3	822,37	64,9	1,280
	19.03.2015	18,2	825,22	79,0	1,310
	10.04.2015	17,5	826,05	67,0	1,310

Çizelge 5 ve 6 incelendiğinde, ocağın farklı kesimlerinde ölçülen sıcaklık, barometrik basınç ve bağıl nem değerleri kullanılarak hesaplanan hava yoğunluk değerlerinin 1,232 kg/m³ ile 1,312 kg/m³ arasında değiştiği görülmektedir. Bu bağlamda, hava yoğunluğunun ocak içerisinde, özellikle derin kotlara inildiğinde, değişiklik göstermesinin sensörler tarafından ölçülecek gazın kesit içindeki yeri (tavanda/tabanda birikme ya da hava ile benzer yoğunluğa sahip olma vb.) açısından önemli olduğu düşünülmektedir. Bu durumda, hava yoğunluğundaki değişimlerin sensör yerini etkilemesi olasıdır.

5.3. Hava Hızı Ölçümleri

Hava hızı sensörlerinin doğru ölçümler yapmasının sağlanması yeraltı kömür ocaklarında havalandırma ve havalandırma ile atılan metanın izlenmesine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, hava hızı değerleri doğru ölçüldüğünde ocaktaki hava dağılımının durumu ile ilgili sürekli bilgiler vermektedir. Hız sensörleri hava akımındaki herhangi bir yavaşlama, ya da bir havalandırma arızası durumlarında erken uyarı sağlamakta ve herhangi bir gaz birikmesinden önce zamanında önlemler alınabilmektedir.

Çalışma kapsamında daha önce belirtilen noktalarda NAS 4 (Polonya) marka dijital ve pervaneli bir anemometre yardımıyla hava hızı ölçümleri yapılmış ve ölçülen değerler sensör değerleri ile karşılaştırılmıştır. Anemometre ile hava hızı ölçümleri kesit içerisinde dolaştırma yöntemi uygulanarak ölçülmüştür. Çizelge 7’de çalışma kapsamında anemometre ile ölçülen hava hızı değerleriyle ilgili sensör değerleri verilmektedir. Ancak, -485 Kartiye 5 Umumi lağımında hava hızı sensörü bulunmadığından bu ölçüm noktasına ait sensör değerleri çizelgede verilememiştir.

Çizelge 7 incelendiğinde sensörler tarafından ölçülen hava hızı değerlerinin anemometre ile ölçülen değerlerden oldukça düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca, sensör ölçümleri ile anemometre ile ölçülen hava hızı değerleri arasındaki farkın ortalama %50 civarında olduğu gözlenmiştir. Hava hızı değerlerindeki böylesi büyük farkların kabul edilebilir düzeylerde olmadığı aşıkardır. Sensör ölçümlerindeki bu hatanın büyük bir oranda hava hızını ölçen sensörün ölçüm yapılan açıklığın kesiti içerisinde sadece belirli bir noktada konumlandırılmış olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu düşünceden hareketle ocakta kullanılan bir hava hızı sensörü ile 14m² kesitli bir galeride, sensörün yeri değiştirilerek ölçümler gerçekleştirilmiş ve sensörün optimum yeri belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçümler sonucunda, sensörün tavandan yaklaşık 50cm mesafe uzaklığa asılması durumunda en gerçekçi ölçümü yaptığı tespit edilmiştir (Şekil 4).

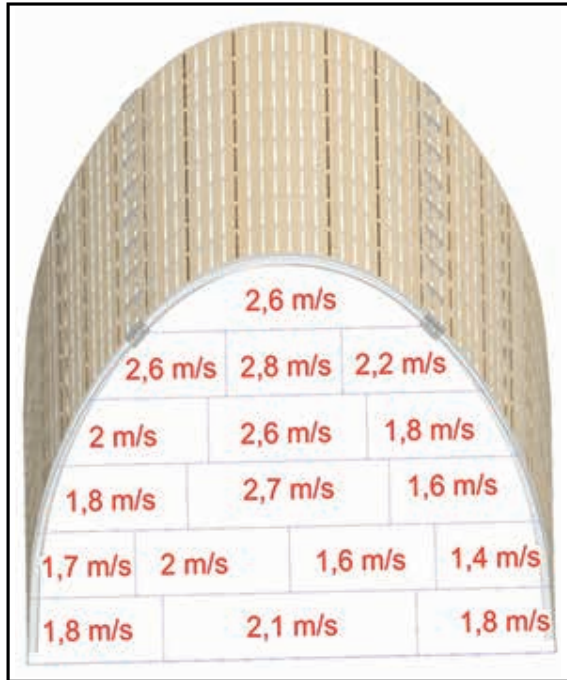
Çizelge 7. Çalışma Kapsamında Anemometre İle Olarak Ölçülen Hava Hızı Değerleri ve İlgili Sensör Değerleri.

	Tarih	Hava Hızı (m/sn)		
		Manuel	Sensör	Fark (%)
İncirharmanı	10.10.2014	7,33	3,21	56,2
	20.11.2014	7,33	2,76	62,3
	29.11.2014	7,23	3,10	57,1
	10.12.2014	7,08	2,76	61,0
	31.12.2014	7,00	5,80	17,1
Kartiye 2	13.10.2014	1,13	0,56	50,4
	21.11.2014	1,20	0,47	60,7
	28.11.2014	1,13	0,38	66,4
	09.12.2014	1,24	0,69	44,3
	31.12.2014	1,22	0,8	34,4
Kartiye 5	15.10.2014	0,86	--	--
	22.11.2014	0,83	--	--
	25.11.2014	0,88	--	--
	08.12.2014	0,88	--	--
	31.12.2014	0,94	--	--

Hava hızı sensörünün optimum yeri belirlendikten sonra -425 katında 927, 930 ve 929 galerilerinde ölçümlere devam edilmiş ve sensör ölçümleri ile manuel ölçümler karşılaştırılmıştır. Ölçümler sonucunda hava hızı sensörünün kesit içerisinde optimum yere asılması durumunda dahi manuel ölçümlerden yine de daha az değerler verdiği tespit edilmiştir. Ancak, sensör ölçüm değerlerinin 1,15 ile 1,25 arasında bir katsayı ile çarpılması sonucunda manuel ölçüm değerlerine oldukça yakın değerler elde edildiği tespit edilmiştir. Bu kapsamda, -425 katı 927, 929 ve 930 galerilerinde sensör ile ve manuel olarak ölçülen hava hızı değerleri ve sensör değerlerinin 1,15, 1,20 ve 1,25 katlarıyla ile çarpıldıktan sonra elde edilen hava hızı değerleri Çizelge 8, 9 ve 10’da verilmiştir. Çizelgeler incelendiğinde, birkaç ölçüm hariç, anılan katsayılarla çarpıldığında neredeyse tüm sensör ölçüm değerlerinin manuel ölçüm değerlerine oldukça yaklaştığı hatta aynı değerlerin elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 8. -425/930 Galerisinde Hava Hızı Ölçüm Sonuçları.

-425/927 Galerisi					
Tarih	Hava Hızı (m/s)		Katsayı		
	Manuel	Sensör	1,15	1,20	1,25
20.01.2015	1,15	0,90	1,04	1,08	1,13
22.01.2015	1,10	0,90	1,04	1,08	1,13
26.01.2015	1,00	0,80	0,92	0,96	1,00
23.02.2015	1,15	0,90	1,04	1,08	1,13
24.02.2015	1,21	0,90	1,04	1,08	1,13
25.02.2015	1,18	0,80	0,92	0,96	1,00
28.02.2015	0,97	0,80	0,92	0,96	1,00
04.03.2015	1,25	0,90	1,04	1,08	1,13
07.03.2015	1,21	0,90	1,04	1,08	1,13
01.04.2015	0,96	0,80	0,92	0,96	1,00
03.04.2015	1,12	0,90	1,04	1,08	1,13
06.04.2015	1,16	0,80	0,92	0,96	1,00
09.04.2015	0,93	0,80	0,92	0,96	1,00



Şekil 4. 14m² Kesitli Galeri İçerisinde Hava Hızı Sensörü ile Ölçülen Değerler.

Çizelge 9. -425/930 Galerisinde Hava Hızı Ölçüm Sonuçları.

-425/929 Galerisi					
Tarih	Hava Hızı (m/s)		Katsayı		
	Manuel	Sensör	1,15	1,20	1,25
25.03.2015	4,20	3,40	3,91	4,08	4,25
28.03.2015	4,30	3,70	4,25	4,44	4,60
01.04.2015	4,10	3,40	3,91	4,08	4,25
06.04.2015	4,80	3,90	4,50	4,68	4,87
08.04.2015	4,90	3,90	4,50	4,68	4,87

Çizelge 10. -425/930 Galerisinde Hava Hızı Ölçüm Sonuçları.

-425/930 Galerisi					
Tarih	Hava Hızı (m/s)		Katsayı		
	Manuel	Sensör	1,15	1,20	1,25
23.02.2015	0,82	0,70	0,81	0,84	0,88
24.02.2015	0,90	0,70	0,81	0,84	0,88
25.02.2015	0,70	0,60	0,69	0,72	0,75
28.02.2015	0,80	0,60	0,69	0,72	0,75
04.03.2015	0,92	0,80	0,92	0,96	1,00
07.03.2015	0,80	0,70	0,81	0,84	0,88
17.03.2015	0,80	0,70	0,81	0,84	0,88
19.03.2015	0,85	0,70	0,81	0,84	0,88
23.03.2015	0,92	0,80	0,92	0,96	1,00
25.03.2015	0,94	0,80	0,92	0,96	1,00
27.03.2015	0,88	0,70	0,81	0,84	0,88
01.04.2015	0,78	0,60	0,69	0,72	0,75
07.04.2015	0,82	0,70	0,81	0,84	0,88

SONUÇLAR

Bir yeraltı açıklığında hava hızı, yaş sıcaklık, kuru sıcaklık, CH₄, CO ve barometrik basınç değerleri önemli maden kazalarının, ilgili risklerin ve bu tür olaylara karşı alınacak tedbirlerin anlaşılmasında temel parametrelerdir. Bu nedenle, bu parametrelerin doğru bir şekilde ölçülmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda, bu çalışmada TTK Kozlu Müessese Müdürlüğü'ne bağlı yeraltı ocaklarında metan (CH₄) konsantrasyonu ve hava hızını ölçmeye yönelik olarak manuel ölçümler gerçekleştirilmiş ve elde edi-

len sonuçlar sensör verileriyle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, ocak içerisinde çeşitli noktalardaki hava yoğunluğundaki değişimleri gözlemek amacıyla bağıl nem, sıcaklık ve basınç ölçümleri yapılmış ve hava yoğunlukları hesaplanmıştır.

Metan konsantrasyonuna yönelik yapılan ölçümlerde manuel ölçüm değerlerinin sensör değerlerinden %5-10 düşük olduğu görülmüştür. Bu sonucun ocak güvenliği açısından bir tehlike yaratmadığı ancak ocaktan atmosfere salınan metan miktarının hesaplanmasında hatalara neden olacağı değerlendirilmiştir. Buna yönelik olarak ölçüm sayılarının artırılması ve sensörlerin daha yakından izlenerek daha doğru ölçümlerin sağlanmasının yerinde olacağı düşünülmektedir. Ayrıca, metan dışında diğer tehlikeli gazların da (CO, CO₂ vb.) konsantrasyon ölçümlerinin yapılması ve sensör ölçümleri ile konumlarının doğruluklarının araştırılması yerinde olacaktır. Bunun yanı sıra, çalışma kapsamında, -485/03 Domuzcu Batı taban yolunda yapılan ölçümler metan sensörlerinin tavana en yakın yere asılmasını gerekliliğini bir kez daha göstermiştir. Yanlış konuma konan sensörlerin iş güvenliğini ve sağlığını tehdit edeceği açıktır.

Çalışma kapsamında hava yoğunluğunun belirlenmesine yönelik olarak bağıl nem, sıcaklık ve barometrik basınç değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlardan ocak içerisinde hava yoğunluğunun 1,232 kg/m³ ile 1,312 kg/m³ arasında değiştiği tespit edilmiştir. Ölçüm verileriyle hesaplanan hava yoğunluğu değerlerinin aynı kat içerisinde (-425 katı) dahi farklar gösterebildiği saptanmıştır. Dolayısıyla, ocak içerisinde hava yoğunluğundaki değişimlerin tehlikeli gazların kesit içerisindeki konumlarını değiştirebileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, hava yoğunluğu değerlerinin sensörlerin bulunduğu noktalarda kontrollerinin özellikle spesifik durumlarda sensör yerlerinin değiştirilmesine yönelik olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. Çalışmada, derin kotlarda hava yoğunluğunun değişimine yönelik olarak -630 katında ölçümler yapılmış ve hesaplanan hava yoğunluğu değerlerinin sığ kotlara göre yaklaşık %5-6 oranında yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada son olarak anemometre ile hava hızı ölçümleri gerçekleştirilmiş ve bu değerler ile sensör değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları hava hızı sensörlerinin oldukça düşük hava hızı değerleri verdiğini ve dolayısıyla bu sensörlerin güvenilir olmadığını göstermiştir. Buna ölçüm yapılan açıklık kesiti içinde sadece bir noktada

hava hızı sensörü olmasının sebep olduğu değerlendirilmiştir. Bu problemin çözümüne yönelik olarak, aynı noktada kesitin farklı yerlerine yerleştirilecek 3-4 hava hızı sensörünün kullanılmasının ve bu sensörlerin ölçüm değerlerinin ortalamasının alınmasının uygun olabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada ayrıca, yeraltı kömür ocaklarında kullanılan merkezi gaz izleme sistemleri ile ilgili mevzuat da incelenmiş ve mevzuatın bu konuda yetersiz olduğu kanaatine varılmıştır. Ülkemizdeki mevcut mevzuatta merkezi gaz izleme sistemlerinde kullanılan sensörlerin ocak içerisindeki yerleri kabaca tarif edilmiş olsa da kesit içerisindeki konumla ilgili net bilgiler verilmemektedir. Oysa gelişmiş ülkelerde ölçümlerin yapılacağı yerler ve izleme enstrümanlarının ocak içerisindeki yerleri net olarak tarif edilmektedir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nde halihazırda kullanılan Mine Safety and Health Administration (MSHA) tarafından yayımlanmış "Standards for Underground Coal Mine Ventilation" yönetmeliğinde metan ölçümlerinin tavadan, arıandan ve tabandan en az 12 inç mesafeden ölçülmesinin gerektiği; metan monitörlerinin hava dönüş yoluna, kesici-yükleyici makine üzerine hava yönünde ve kesici kafaya mümkün olan en yakın mesafeye konulması ve monitöre bağlanması gerektiği gibi kesin ifadeler yer verilmektedir (MSHA, 1996). Bu bağlamda, ülkemizdeki mevzuatın daha da geliştirilmesi ve yeraltı kömür ocaklarında görev yapan teknik personele daha kesin bilgiler verebilecek hale getirilmesinin faydalı olacağı düşünülmektedir.

Yeraltı kömür ocaklarında gerçekleştirilen ölçümlerde her zaman "doğruluk" (gerçek değerlerle ölçülen değerler arasındaki fark) sorunlarıyla karşılaşmaktadır. Bu ölçümlerde "küçük hataların" kabul edilebilirliği yönünde tavsiyeler bulunmakla birlikte mevcut durumda bu hatalarla ilgili herhangi bir kılavuz çalışma ya da değer bulunmamaktadır. Dolayısıyla, enstrüman performansının doğru olarak ölçülmesi ancak uzun süreli vardiya ortalamaları üzerinden yürütülmesi gereken bir etüt ve izleme sistemi verileri ile manuel ölçümlerin karşılaştırılması ile mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

- Agbor, N E, Petty, M C, Monkman, A P, 1995. Polyaniline thin films for gas sensing, *Sensors and Actuators B: Chemical*, 28, 173-179.
- Chou, J, 1999. *Hazardous gas monitor: a practical*

guide to selection, operation and applications, McGraw Hill publication, New York, 256 s.

Davis, R S, 1992. Equation for the determination of the density of moist air (1981/91), *Metrologia*, 29, 67-70.

Eggins, B R, 2002. Chemical Sensors and *Biosensors*. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 273 s.

El-Sherif, M A, 2003. Smart Textiles Created with Embedded Sensors. *MRS Bulletin Technology Advances*, 28, 2, 101-102.

Farmer, D E, 1982. US patent on methane monitoring system, US4329870 A.

Giacomo, P, 1981. Determination of the density of moist air, *Metrologia*, 1982, 18, 33-40.

Kumar, A, Kingson, T M G, Verma, R P, Kumar, A, Mandal, R, Dutta, S, Chaulya, S K, Prasad, G M, 2013. Application of gas monitoring sensors in underground coal mines and hazardous areas, *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering*, 3, 3, 9-23.

Mcfadden, E F, 2000. US patent on gas detection circuitry, US 6489787 B1.

Micko, E S, 1981. US patent on combustible gas detection system, US4305724 A.

MSHA, 1996. *Standards for Underground Coal Mine Ventilation*, The U.S. Mine Safety and Health Administration, Volume 61, number 18.

Nakatani, M, Sakai S, 1996. US patent on gas detecting method and apparatus.

Picard, A, Davis, R S, Glaser, M, Fujii, K, 2008. Revised formula for the density of moist air, *Metrologia*, 45, 149-155.

Prasad, C R, Lin, B, Lee, H S, 2011. Airborne tunable mid-IR laser gas-correlation sensor", US Patent no. 7965391.

TTK, 2014. www.taskomuru.gov.tr (23.12.2014 tarihinde ulaşılmıştır).

Valoski, M P, (2010). Instruments For Gas Analysis At Mine Fires/Explosions. *SME Annual Meeting* (pp. Preprint 10-039). Phoenix, the USA.

Zhang, Y, Xu, G, Li, A, Li, Y, Gu, Y, Liu, S, Wei, L, (2006). Mid-infrared tunable diode laser absorption spectroscopy for gas sensing, *Joint 31st International Conference: IEEE Conference on Infrared Millimeter Waves and 14th International Conference on Terahertz Electronics*, s.181, Shanghai, China.

Bu Makale 14 – 17 Nisan 2015 tarihinde düzenlenen IMCET 2015-Türkiye 24. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi'nde bildiri olarak sunulmuştur.