



# YER ALTI MADEN (CEBRİ) HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEMLERİ

*Forced Ventilation System Automation In Underground Mines*

**Emre Özmen**

## ÖZET

Maden işletmesinde havalandırma sistemleri en önemli sistemlerden birisidir. İnsan sağlığı, çalışan ve işyeri güvenliği açısından havalandırmasız veya yetersiz havalandırılmış yer altı madeni işletmesi düşünülemez. Dolayısıyla havalandırma sistemleri, maden işletmesindeki toplam enerji tüketiminde başrol oynamaktadır.

Maden havalandırma otomasyon sistemleri, enerji verimliliği sağlayarak işletme giderlerinin azaltılmasına, iç hava kalitesini artırarak iş ve işçi veriminin yükselmesine, maden havasında bulunan tehlikeli (zehirli, patlayıcı, boğucu) kirleticileri seyrelterek personel sağlık ve güvenliğini yasal çerçevede temin eder. Günümüzde gelişmiş ülkelerin işlettiği madenlerde sıklıkla uygulanan VOD sistemleri ve adaptif havalandırma sistemleri; maden atmosfer izleme sistemi, havalandırma izleme ve kontrol sistemi, coğrafik bilgi sistemleri, telemetri sistemleri, havalandırma modelleme ve simülasyon yazılımları, CFD analizi, ICT gibi diğer bileşenleri kullanır. Bu sistemler ile en yüksek enerji verimliliğine ulaşılmaktadır.

Bunun için maden havalandırma otomasyon sistemlerinin ihtiyaçlara ve ilgili standartlara uygun tasarlanması, temin ve tesis edilmesi ve işletilmesi gereklidir. İdeal havalandırma otomasyon sistemi için saha ekipmanı (sensörler, VFD üniteler, hava ayarlayıcılar) temini ve doğru yerlere tesisi çok önemlidir. Sistemde yer alan kritik bileşenlerin (haberleşme omurgası, sunucu bilgisayarı, ana fanlar, PLC işlemcileri vb..) yedekli çalışabilme yeteneğinde olması değerlidir. Ayrıca sistem enerji beslemesi de kesintisiz olmalı, jeneratör ve UPS gibi destek unsurları tam yedekli bir şekilde desteklemelidir. Madendeki ihtiyaca göre ve mümkünse adaptif havalandırma yapacak onaylı çalışma senaryolarının sistemde uygulanması sağlanmalıdır.

Otomasyon sistemi 3. Parti firma marifetiyle BİD prosesi üzerinden montaj, çalışma ve performans yeterliliği testleri yapıldıktan sonra gerekli bakım ve kullanım belgeleri ve teknik eğitim kayıtlarıyla beraber işletmeye teslim edilmelidir. Sistemin etkin şekilde bakımının yapılması ise sürdürülebilirlik ve iş güvenliği açısından oldukça önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Maden havalandırma, maden izleme, havalandırma otomasyonu, gaz algılama, ihtiyaca bağlı havalandırma

## ABSTRACT

Ventilation systems are one of the most important systems in mining operations. In terms of human health, employee and workplace safety, unventilated or insufficiently ventilated underground mines cannot be considered. Therefore, ventilation systems play a leading role in the total energy consumption in the mining operation.

Mine ventilation automation systems reduce operating costs by providing energy efficiency, increase work and worker productivity by improving indoor air quality, and provide personnel health and safety

within the legal framework by diluting dangerous (toxic, explosive, suffocating) pollutants in the mine atmosphere. Today, VOD systems and adaptive ventilation systems, which are frequently applied in mines operated by developed countries; It uses other components such as mine atmosphere monitoring system, ventilation monitoring and control system, geographical information systems, telemetry systems, ventilation modeling and simulation software, VFD units, CFD analysis, ICT. These systems achieve the highest energy efficiency.

For this, mine ventilation automation systems must be designed, supplied, installed and operated in accordance with the needs and relevant standards. For an ideal ventilation automation system, it is very important to supply field equipment (sensors, VFD units, regulators) and install them properly in the right places. It is valuable that the critical components in the system (communication backbone, server computer, main fans, PLC processors, etc.) are capable of running redundantly. In addition, the system energy supply should be uninterrupted, and support elements such as generator and UPS should be fully redundant. According to the need in the mine, and if possible, approved working scenarios that will make adaptive ventilation should be implemented in the system.

Automation system should be delivered to the facility through commissioning process by third party Cx company together with the necessary operational and maintenance documents and technical training records after the installation, operational and performance qualification tests are performed. Effective maintenance of the system is very important in terms of sustainability and occupational safety.

**Key Words:** Mine ventilation, mine monitoring, ventilation automation, gas detection, VOD

## 1. KISALTMALAR

- ACGIH** : American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Amerikan Devlet Endüstriyel Hijyenistleri Derneği
- BOELV** : Binding Occupational Exposure Limit Value. Bağlayıcı Maruz Kalma Sınır Değeri. (AB)
- IOELV** : Indicative Occupational Exposure Limit Value. Belirleyici Mesleki Maruziyet Sınır Değeri. (AB)
- OSHA** : Occupational Safety and Health Administration. İş Güvenlik ve Sağlık Kurumu
- NIOSH** : National Institute for Occupational Safety and Health. Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü.
- TWA** : Time Weighted Average. Zamana bağlı ortalama
- TLV- TWA** : Threshold Limit Value- Time Weighted Average. Eşik sınır değeri- Zaman bağlı ortalama (Günlük 8 saat ortalaması için eşik sınır değeri, Haftalık 40 saat ortalaması için eşik sınır değeri)
- STEL** : Short Term Exposure Limit. Kısa süreli maruz kalma sınırı
- PEL** : Permissible Exposure Limit. İzin verilen maruz kalma sınırı
- IDLH** : Immediately Dangerous to Life and Health. Yaşam ve Sağlık için Doğrudan Tehlike
- MSHA** : Mine Safety Health Administration. Amerikan Maden Güvenlik ve Sağlık Kurumu
- ABD** : Amerika Birleşik Devletleri
- DPM** : Diesel Particulate Matter. Dizel Partikül Maddesi
- VFD** : Variable Frequency Drive. Değişken Frekans Sürücüsü
- RFID** : Radio Frequency Identification. Radyo Frekansı Tanımlama Teknolojisi
- CFR** : Code of Federal Regulations. Amerikan Federal Yasalar (ABD)
- HVAC** : Heating Ventilating Air Conditioning. Isıtma Havalandırma ve Hava Şartlandırma
- AB** : Avrupa Birliği
- WHO** : World Health Organization. Dünya Sağlık Örgütü
- RGNBSM** : Reglamento General de Normas Básicas de Seguridad Minera. Temel maden güvenliği genel yönetmeliği (İspanya)
- TAEK** : Türkiye Atom Enerjisi Kurumu
- Safe Work Australia**: İş sağlığı ve güvenliği konusunda politika üreten Avustralya devlet kurumu.



- WL** : Working Level. 2,08 x 10E5 J/m3 potansiyel alfa enerji konsantrasyonu (Radon kaynaklı)
- WLM** : Working Level Month. 1 WL x 173 saat. Ayda 173 saat çalışma kabul edilmiştir.
- EU-BSS** : European Basic Safety Standards. Avrupa Temel Güvenlik Standartları
- DPM** : Diesel Particulate Matter. Dizel Partikül Maddesi
- IARC** : International Agency for Research on Cancer. Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı
- nm** : Nanometre, 1 metrenin milyarda biridir. Örneğin hücre zarı 12 nm'dir.
- TC** : Total Carbon. Toplam Karbon. Organik veya inorganik, uçucu veya sabit, çözülmüş veya askıda kalmış tüm karbonlar.
- IECEX System**: International Electrotechnical Commission System for Certification to Standards Relating to Equipment for Use in Explosive Atmospheres. Tehlikeli (patlayıcı) ortamlarda kullanıma yönelik ekipmanlara ilişkin standartlara sertifikasyon için uluslararası elektroteknik komisyonu sistemidir. IECEX globaldir.
- ATEX** : Atmosphère Explosive. Patlayıcı Ortamlar. Avrupa'daki patlayıcı ortamları kontrol etmek için oluşturulan iki Avrupa Birliği mevzuat yönergesine verilen genel isimdir. ATEX, AB ile ilgilidir.
- PLC** : Programmable Logic Controller. Programlanabilen Lojik Kontrol Cihazı
- NDIR Sensor**: Non Dispersive Infrared Sensor. Dağıtıcı olmayan kızılötesi sensör.
- GPS** : Global Positioning System. Global Konumlama Sistemi
- VOD** : Ventilation On Demand. İhtiyaca Bağlı Havalandırma
- OSMRE** : Office of Surface Mining Reclamation and Enforcement. Yerüstü Madencilik İslah ve İcra Dairesi
- LEL** : Lower Explosive Limit. Alt Patlama Sınırı (Havada yanma için gerekli minimum konsantrasyon)
- UEL** : Upper Explosive Limit. Üst Patlama Sınırı (Hava ile yanacak maksimum konsantrasyon)
- EQI** : Exhaust Quality Index. Egzoz Kalite Endeksi
- RGTI** : Relative General Toxicity Index. Genel bağıl zehirlilik endeksi.
- DCS** : Distributed Control Sistem. Dağıtık kontrol sistemi
- CPS** : Cyber Physical System. Siber fiziksel sistem
- ICT** : Information Communication Technologies. Bilgi ve haberleşme teknolojileri
- Cx Process**: Commissioning Process. BİD (Belgeleme, İletişim, Doğrulama) Prosesi
- UPS** : Uninterruptible Power Supply. Kesintisiz güç kaynağı
- HMI** : Human Machine Interface. İnsan makine arayüzü
- CMMS** : Computerized Maintenance Management System. Bilgisayarlı bakım yönetim sistemi

## 2. GİRİŞ

Yer altı madencilik faaliyetleri M.Ö.3000 yıllarına kadar dayanmaktadır. İlk yer altı sistemleri yalnızca sığ derinlikteydi ve çekiç ve kazma gibi temel aletlerle inşa edildi. Zamanla, yeni teknolojiler daha derin ve daha karmaşık madenlere izin verdi ve havalandırma, güvenli bir maden ortamı için bir gereklilik olarak kabul edildi. Georgius Agricola (1494 – 1555) “De Re Metallica” adlı kitabında şunları belirtmiştir: “[...] eğer bir tünel çok uzunsa ve diğer şaftlara bağlantı yoksa, hava seyreltilmez ve kalınlaşarak, madencilerin nefes almasını zorlaştırır. Bazen gerçekten boğulurlar ve ışıkları söner. Bu nedenle madencilerin nefes alabilmesi ve işlerini yapabilmesi için makinelere ihtiyaç var.” Agricola yer altı madenlerinde temiz hava sağlamak için kullanılan ayrıca ilk otomatik makineyi tasarladı. Takip eden yüzyıllarda 1700 yılı civarında, insanların 300 m ve daha fazla derinliklere inildiği belgelendi.



**Şekil-1** Agricola tarafından tasarlanmış maden havalandırma sistemi. [20]

17. yüzyıldan itibaren patlatma işlemlerinin başlaması ve devam eden sanayileşme ile havalandırma ihtiyacı daha da arttı. Baca etkisi kullanılarak, 18. yüzyıldan itibaren hava akışını artırmak için yüzey fırınlarında ateşler kullanıldı. İlk gaz algılama sistemleri olarak kanarya ve kemirgenler gibi hayvanlar ve güvenlik lambaları (Davy Lambası) kullanıldı. Yaklaşık 1800'den sonra, madenlerin içindeki hava akışını daha iyi yönlendirmek için kontrol cihazları kullanıldı. Akışkanlar mekaniği ve termodinamik konusundaki bilimsel farkındalık, sistemlerin birbiriyle ilişkilerinin anlaşılmasını artırdı.

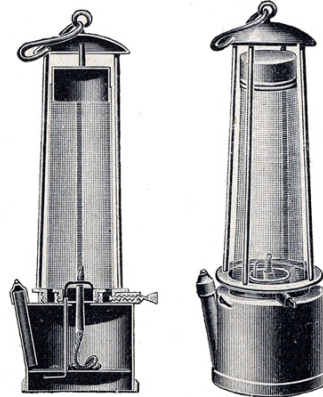


Fig. 192. Davy'sche Sicherheitslampe

**Şekil-2** Madenci (Davy) feneri. [26]

Bugün, 1.000 m'den daha fazla derinlikler yaygındır ve dizel ekipman, 1970'lerde piyasaya sürülmesinden bu yana ana kirleticilerden biri olarak kabul edilmektedir. Yeni teknolojiler – pnömatik ve elektrik motorları –büyük miktarda hava sağlayacak büyük maden fanlarının kurulmasına izin verdi. Ayrıca, yer altı sistemlerinde daha iyi akış kontrolü sağlamak için 1900'lerden beri daha küçük fanlar kullanılmaktadır. Havalandırma yazılımının geliştirilmesi (yaklaşık 1950'den itibaren), madencilik projelerine başlamadan önce bile bir maden havalandırma sistemi planlamayı nispeten basit hale getirdi.

Madencilik, çoğu zaman yeni teknolojilerin itici motoru olmuştur. Bununla birlikte, havalandırma sistemlerinde optimizasyon yaygın olarak yapılmamakta ve bu da “ayarla ve unut zihniyetine” yol açmaktadır. Mevcut sistemlere dokunulmaz ve yalnızca madene yeni bölümler eklendikçe sistem genişletilir. Bu da genel verimlilik kaybına neden olur.

Madencilik şirketleri sürekli olarak yer altı madenlerinin işletme maliyetlerini düşürmenin yollarını aramaktadır. Havalandırma kontrol stratejilerinin uygulanması, madende yeterli düzeyde taze hava sağlarken enerji tüketimini azaltmak için uygun bir seçenektir. Bir yer altı madenin toplam enerji tüketiminin tahminen %50'si havalandırma sisteminden gelir. Bu bildiri, maden havalandırma sistemi otomasyonu verimliliğini artırmak için tasarımdan başlayarak sistem gereksinimlerine, çeşitli stratejilere ve sistemi ihtiyaca bağlı olarak kurma ve işletme konusunda genel bir bakış sunmaktadır. 2005 yılında Kanada Ulusal Kaynaklar Kurumu'nun (NRC) yaptığı “Kanada Yer altı Madenleri Enerji Tüketimi Kıyaslaması” çalışması dahilinde 10 adet madendeki toplam ortalama enerji tüketimi çıkartılan ton cevher başına 90,4 kWh olarak tespit edilmiştir. Havalandırmanın bu değer içindeki değeri 44,3 kWh olarak bulunmuştur ve toplam değer içindeki oranı %49'a karşılık gelmektedir.

Bir yer altı madeni, cevheri yüzeye çıkarmak için çok sayıda delme, patlatma, kırma, yatay-düşey taşıma ve kaldırma işlemlerinin yapıldığı yoğun bir ortamdır. Tipik olarak temiz hava, üfleme veya egzoz fanları kullanılarak taze hava giriş şaftı aracılığıyla madenin ana omurgasına, iletilir. Kirleşmiş hava bir egzoz şaftı aracılığıyla yüzeye atılır. Tali fanlar (ikincil ve üçüncül) daha sonra gerektiğinde bu omurgaya bağlı uzak çalışma yüzlerine (ayak, arın) taze hava vermek için kullanılır. Tali fanlar, aktif cevher çıkarma alanındaki aerosollerin ve gazların uzaklaştırılması ve patlamadan sonraki bekleme zamanını kısaltmak gibi görevleri üstlenir.

Maden havalandırmasının ana görevleri aşağıdaki gibidir:

- Yeterli miktardaki taze havayı maden ocağındaki gereken yere ulaştırmak
- Maden ocağında bulunan zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazları seyreltmek, dışarı atmak veya bulunduğu yerden ötelemek
- Maden ocağında bulunan tozu seyreltmek, dışarı atmak veya bulunduğu yerden ötelemek
- Maden ocağındaki sıcaklık ve nem değerlerini ihtiyaca göre yükseltmek veya azaltmak
- Gerekli olduğunda çalışanlar arasında oluşabilecek hastalık (covid19, grip, tüberküloz vb..) bulaşını azaltmak

Yer altı maden ocaklarında havalandırma yönetmek için üç ana stratejiden söz edilebilir:

**Programlama (Zaman Programı):** Normal günlük maden işletmesi sırasında, temiz hava gereksinimleri genellikle personel ve mobil dizel ekipmanın hava akışı gereksinimlerine bağlıdır. Ancak patlatma sırasında hava akışına daha fazla kirletici eklenir. Herhangi bir patlatmadan önce, tüm personel iki saat veya daha uzun bir süre için yüzeye geri gönderilir, bu da etkin yer altı üretim süresini kısaltır. Ancak, ana yüzey fanlarında ve yardımcı fanlarda değişken hızlı sürücüler (VFD) kullanarak fan hava debileri programlanarak ve artırılarak, patlatma etkisini seyreltme süresi etkili bir şekilde %50 oranına kadar azaltılabilir. Bu, personelin aktif yüzlere (arın) daha hızlı dönmeye ve normal maden işletmesine devam etmesine olanak tanır.

**Telemetri:** Çalışanlar ve araçlar, radyo frekansı tanımlama (Wifi, 5G, 4G, RFID, GPS, Zigbee) etiketleri/vericileri ile donatılabilir ve bu, kontrol odası operatörlerinin yer altındaki aktiviteyi konuma göre görüntülemesine olanak tanır. Etiketler veya vericiler, kablosuz sinyallerle iletişim kurduğundan, etiketlerle iletişim kurmak ve verileri yüzeye geri göndermek için alıcılar (ek yer altı ağ altyapısı) gerekecektir. Etiket konumunun tam veya genel alanını sağlamak için telemetri veya varlık izleme yazılımı da gerekli olacaktır. Telemetrinin kullanılması, tek kademeli, iki kademeli veya bazı

durumlarda VFD'li yardımcı fanların giren aracın türüne veya başlıkta yer alan faaliyete bağlı olarak gerekli hava akışını kontrol etmesine olanak tanır.

**Çevresel:** Yer altı madenlerinde hava debisi, sıcaklık ve dizel veya diğer ekipmanlar tarafından üretilen çeşitli kirleticilerin konsantrasyonunu izlemek için çevresel izleme sistemi kurulabilir. Tipik dizel ekipmanın fren beygir gücüne ve ayrıca karbon monoksit (CO), dizel partikül maddesi (DPM), nitrojen oksitler (NOx) ve diğer tehlikeli gazlar gibi kirletici maddelere dayalı olarak gereken hava akışı miktarını belirlemek için düzenlemeler mevcuttur. Bu gazlar izlenerek fanlar, bu gazların tespit edilmesi durumunda taze hava akışını artıracak şekilde programlanabilir. Ayrıca söz konusu çevresel izleme sistemleri ilgili alandaki giriş ve çıkış havası çevresel özelliklerini izleyerek ihtiyaca uygun havalandırma yapılmasına olanak tanır ve bu durum patlatma sonrası iş bırakma ve işe geri dönme arasındaki süreyi de 30 ila 90 dakikaya kadar kısaltabilir.

### 3. VOD (ihtiyaca bağlı havalandırma)

#### 3.1. Genel

Maden işletmelerinde faaliyet yoğunluğu ve derinlik arttıkça yer altındaki çalışmalar için yeterli miktarda besleme havası sağlamak zorlaşmaktadır. Havalandırma, ısıtma ve soğutma için harcanan elektrik miktarı toplam maden enerji tüketiminin %30 ila %40'ına hatta bazı maden işletmelerinde %50'sine bile ulaşmaktadır. Maden derinleştikçe havalandırma ve soğutma maliyetleri de artacaktır. Bu noktada enerji verimliliğini iyileştirmeye yönelik işletme önlemi olarak VOD (ihtiyaca bağlı havalandırma) konsepti birçok maden işletmesinde uygulanmaktadır. Doğru uygulandığı zaman VOD yer altı maden işletmelerinde ocak çevresel şartlarını iyileştirirken, havalandırma için tüketilen enerji miktarını önemli ölçüde düşürmektedir. VOD uygulaması, bazı maden işletmelerinde havalandırma maliyetlerini %50'ye kadar düşürmektedir.

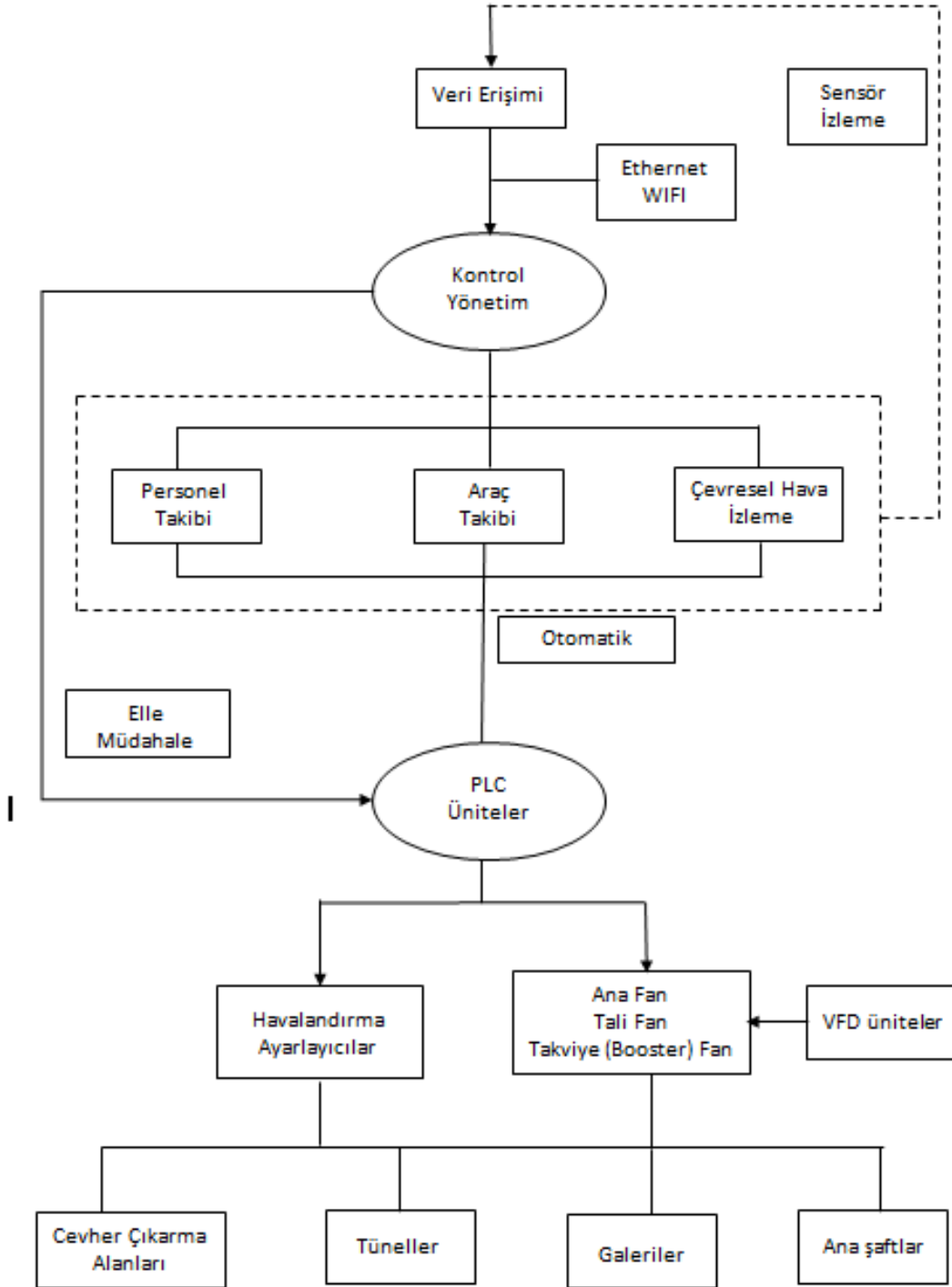
Fanlarda afinite kuralı olarak bilinen kavrama göre, fan debisi fan dönüş hızıyla, fan basıncı dönüş hızının karesiyle, fanın çektiği akım (elektrik gücü) ise fan dönüş hızının küpüyle orantılıdır. Dolayısıyla ihtiyaca bağlı olarak fan debisinde oluşturulan kısılma, fanın çekeceği elektrik akımının küp oranında azalmasına sebep olacaktır. Örnek vermek gerekirse, debide %20'lik bir azalma (tasarruf), fanın çektiği elektrik akımından (fan çalışması için gereken elektriksel enerji) yaklaşık %49 tasarruf anlamına gelecektir.

VOD sistemi esas olarak uzaktan kumandalı havalandırma ekipmanı, haberleşme sistemi, ekipman ve personel takip sisteminden oluşur. VOD sistemi, maden ocağında belirlenen yerlerde gerekli taze havayı sağlarken havalandırma verimliliğini artırabilir. VOD haberleşme kademeleri diyagramı Şekil-3'de verilmiştir.

Tipik bir VOD sistemi işletebilmek için, maden ocağındaki havalandırma ekipmanına, yer altı ana hava yollarına, tünellere ve cevher çıkartılan hacimlere çeşitli sensörler yerleştirilmektedir. Hava debisi, hava hızı, fan frekansı, güç tüketimi, titreşim, sargı sıcaklığı, yatak sıcaklığı gibi havalandırma ekipmanı bilgilerinin yanısıra kanal sıcaklığı, statik basınç, nem, hava hızı, hava debisi ve NO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, CO vb. konsantrasyonu gibi diğer çevresel parametreler ölçülmelidir. Yer altındaki personel ve araçlar kimlik kartları ile donatılmıştır. VOD, merkezi olmayan iletişim baz istasyonu/istasyonları aracılığıyla (sınırsız iletişim ve konumlandırma işleviyle) tüm çalışanların ve araçların doğru konumunu tespit edebilir. Toplanan veriler, yer altı iletişim sistemi aracılığıyla yer üstü VOD kontrol sistemine iletilmektedir. Üç boyutlu havalandırma simülasyonu yazılımı, gerçek zamanlı verilere dayalı otomatik simülasyon yaparak, tüm alanlar için gerekli güncel hava miktarını hesaplayabilir. Gerçek hava miktarı ile gerekli hava miktarı arasındaki farkı karşılaştıran VOD sistemi, yer altı çevresel güvenlik gereksinimlerini karşılamak için fanları ve hava ayarlayıcı üniteler gerçek zamanlı olarak uzaktan ayarlayabilir ve kontrol edebilir.

VOD uygulanan maden ocaklarında havalandırma işlemi gerçek ihtiyaçlara göre ayarlanabilir. Buna göre:

- Maden ocağında ihtiyaç olan bölgelerde havalandırma yapılır. Bu da çoğu zaman maden ocağındaki aktif bölgelere tekabül eder.
- Maden ocağında havalandırılan bölgelerde hava akışı ihtiyaçları zamana bağlı olarak değişir.
- Tüm yardımcı fanlara aynı anda ihtiyaç duyulmaz
- Başlangıç tasarım değerleri zaman içinde değişmek zorundadır. Dolayısıyla maden ocağı havalandırma sistemleri “ayarla ve unut” tipinde sistemler değildir.



Şekil-3 VOD haberleşme kademeleri diyagramı. [8]

VOD, beş değişik seviyede uygulanabilir:

1. Kullanıcı müdahalesi: Havalandırma ihtiyaçlarının sağlanması için fanların ve ayarlayıcıların elle kontrol edilmesi. Bu kontrol bizzat mekanizmaların başından veya yazılım üzerinden işletme personeli tarafından yapılır.
2. Zaman programı: Fanlar ve ayarlayıcılar elle kumanda edilmez. Önceden ayarlanmış zaman programları devreye girer.
3. Olay tabanlı: Maden ocağındaki belli aktivite ve olaylar (patlatma veya yangın) doğrultusunda havalandırma sisteminde otomatik değişiklik yapılması.
4. İşaretleme: Maden ocağındaki havalandırma personel ve iş makinalarının gerçek zamanlı konumlarına göre ayarlanır. Personel ve iş makinalarının gerçek zamanlı konum bilgileri işaretleme ve takip sistemi ile elde edilir.
5. Çevresel: Maden ocağındaki gaz konsantrasyonlarının bilgisayarlı izleme sistem yazılımı vasıtasıyla takip edilmesi (Çevresel İzleme Sistemi).

VOD sisteminin görev yapabilmesi için, gaz ve hava akış hissedicileri, personel ve iş makinası takip cihazları, fan kontrol sistemleri, yetkin işletme personeli gereklidir.

VOD sisteminde çalışılan bölgelere havalandırma yapılırken çalışılmayan bölgelere minimum seviyede veya hiç havalandırma yapılmaz. Birçok yasal mevzuat kömür madenlerindeki minimum havalandırma miktarı konusunda net sınırlar koymuştur. Bu noktada hissedicilerin ve sistemlerin ayarsız, kalibrasyonsuz olması durumunda kömür madenlerinde debi kısmak ölümcül sonuçlara sebep olabilir. Dolayısıyla, bu yöntem tipik olarak metal madenlerinde ve metalik olmayan cevher çıkarılan (tuz, potas, vb..) madenlerde uygulanırken kömür madenlerinde uygulanmaz.

Artan enerji fiyatları ve sonuç olarak istenmeyen gazlar ve toza ilişkin daha katı mesleki maruz kalma limitleri ile madencilik şirketleri gelecekte bu değişen taleplerle nasıl başa çıkacakları sorusuyla karşı karşıya kalmıştır. Günümüz toplumu çevresel kaygıların bilincinde olduğu için, ekonomik nedenlerin yansısı sosyal itibar da şirketleri sistemlerini optimize etmeye motive eden bir faktördür.

Bu noktada çözüm, ihtiyaca bağlı havalandırma (VOD) sistemlerinin yeterli şekilde kullanılması olabilir. İhtiyaca bağlı havalandırma, bölgesel maden alanlarına yalnızca ihtiyaç duyuldukları zamanlarda gerekli miktarda taze hava sağlanması anlamına gelir. Bu kavram, sabit miktarda ve sürekli bir havalandırma yerinen dinamik ve akıllı bir hava beslemesine yol açar ve bu da bir maden içinde gerekli olan toplam hava akışının azalmasına yol açar. Toplam hava akışını azaltarak, hava akışı ile fan gücü arasındaki kübik ilişki (fan afinite kuralları) nedeniyle yüksek miktarlarda enerji tasarrufu sağlanabilir.

Örneğin bir madende, hava akışında %20 artış ihtiyacı duyulursa bu durum, basma yüksekliğinin %44 artmasına ve ardından fan gücünde %73 artışa yol açacaktır. VOD uygulamasını akıllı hava yönetimiyle birlikte kullanarak, ilave havalandırma yapmadan ihtiyaç karşılanması mümkündür. Ortalama olarak havalandırma, bir madenin enerji maliyetlerinin %50'sine karşılık gelirken bir madenin toplam maliyetinin %15'ine kadarını oluşturur. Buna göre, VOD madenlerde yüksek tasarruf potansiyeline sahiptir denebilir.

Akıllı havalandırma ile madenlerde hava kalite taleplerinin karşılanması daha kolay olacaktır. Bu sayede VOD, genel olarak daha temiz ve daha güvenli bir maden ortamı sağlar. Ayrıca, yeni dizel motorlar gibi diğer iyileştirmeler daha düşük kirletici emisyonlu egzoz gazına sebep olarak temiz maden havası kavramını destekler, ancak bunlar havalandırmanın kontrol edilmesiyle doğrudan ilişkili olmadığı için VOD ile ilgili değildir. Maden Havalandırma Optimizasyonu konsepti içinde VOD uygulaması önemli yer tutar.

Havalandırmanın maden ocağı ortam hava sıcaklık şartlarının üzerindeki etkisi tartışılmazdır. Yapılan çalışmalarda maden ortamındaki yaş termometre sıcaklığı ile çalışanların verimliliği arasında ilişki kurulmuştur. ABD metal madenlerinde 27 C veya altında maksimum verim elde edilirken, 27 C ile 29 C arasında ise verim bir alt seviyeye düşmektedir. Ayrıca, farklı kömür üreticisi ülkelerin denetim kurulları da madencilerin sağlığını göz önünde bulundurarak iklim koşullarına göre izin verilen maksimum yaş termometre sıcaklığı değerini şart koşturmuştur. Bu değerler Hindistan, ABD, İngiltere kömür madenleri için sırasıyla 33,5 C, 30,0 C ve 33,0 C'dir. Havalandırma miktarının artırılmasıyla mahal sıcaklıklarının



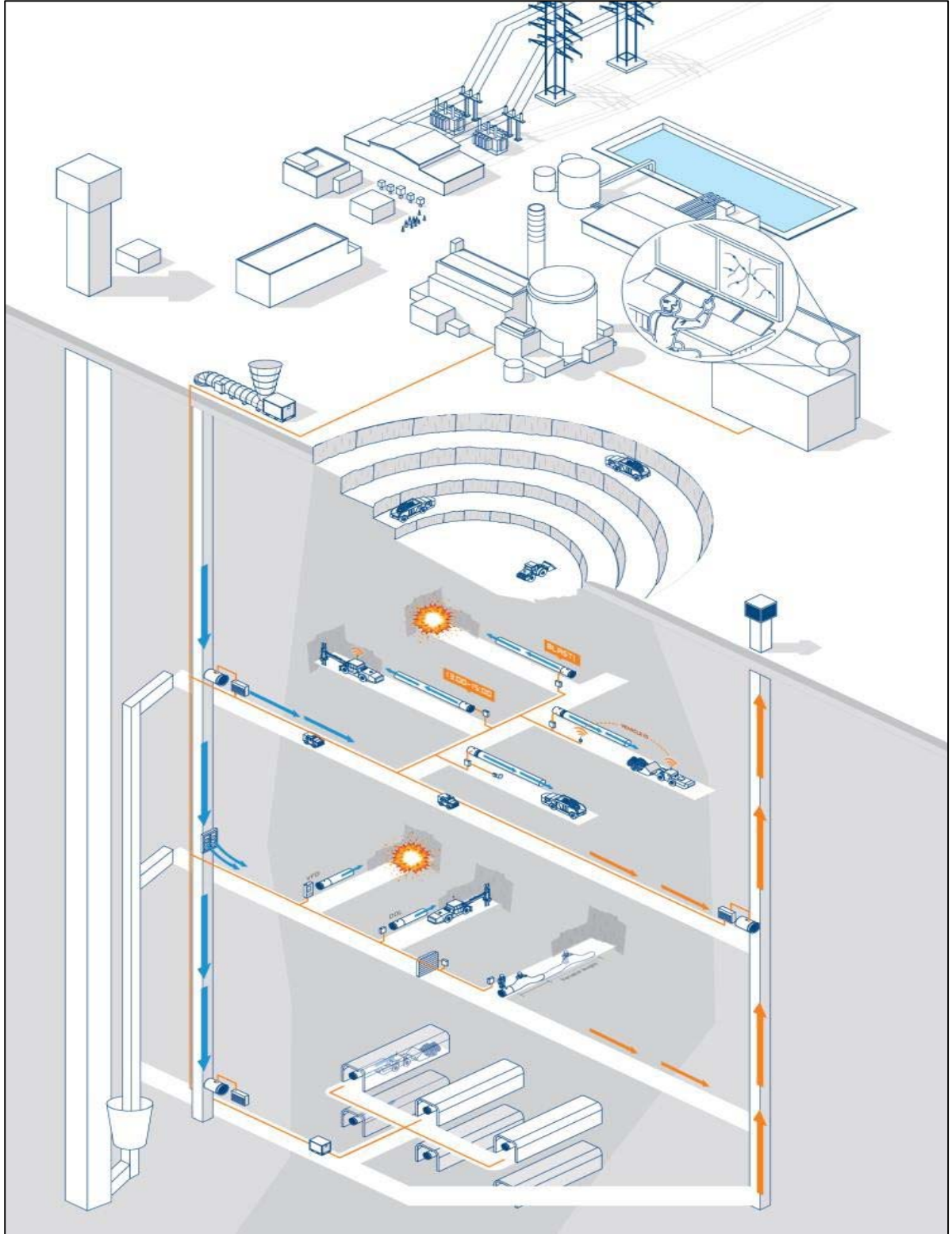


azaltılması mümkündür. Derin madenlerde oluşan “otomatik sıkıştırma” (auto-compression) etkisi şaftlardan madenin derinliklerine akan havaya entalpi eklenmesine sebep olur. Derin olmayan madenlerde bu etkinin getirdiği ilave ısı göz ardı edilebilir. Fakat maden derinleştikçe (örneğin 300 metreden sonra) maden havalandırma/iklimlendirme hesaplarına bu etki dahil edilmelidir.

Madenler derinleştikçe havanın katetmesi gereken mesafe uzamakta, dirençler (şok ve sürtünme kayıpları) artmakta ve gereken havanın ilgili aktif yüzlere ulaştırılması ve zararlı emisyonları seyreltme ve maden ocağı dışına atma işi zorlaşmaktadır. Öte yandan maden derinleştikçe gönderilen hava otomatik sıkıştırma etkisi yüzünden ısınmaktadır. Bu durum bazı derin madenlerde havalandırma sisteminde cebri soğutma yapılmasını gerektirebilir.

Madende çalışan dizel araçların sayısının artması durumunda araçların yaydığı ısı ve zararlı egzoz emisyonlarını seyreltmek için havalandırma miktarlarının da artırılması kaçınılmazdır. Dizel araçlar elektrikli olanlarla yer değişse bile araçların ısı yayma durumu değişmeyecektir. Özellikle derin maden işletmelerinde havalandırma sistemleri işletme maliyetleri dikkatle yönetilmesi gereken husus olarak karşımıza çıkmaktadır. Artan elektrik, yatırım ve bakım maliyetleri de eklenince, yer altı kaynaklarının ekonomik olarak çıkarılması için havalandırma sistemleri optimizasyonu giderek daha fazla bir gereklilik haline gelmiştir. Optimizasyon olmadan eklenecek hacimler madenlerdeki enerji maliyetlerinde önemli ölçüde artışa yol açacaktır. Günümüz havalandırma otomasyon sistemleri ihtiyaç duyulan optimizasyonu güncel bilgi toplayıp işleyen ve dinamik kararlar verebilen senaryolar yardımıyla sağlayabilmektedir.

İhtiyaca bağlı havalandırma ve havalandırma sistem optimizasyonu süreçlerinin genel hedefi, üretimi arttırmak ve hava akışını yönetmelikler doğrultusunda etkin bir şekilde kontrol ederek enerji tasarrufu sağlamaktır. Örneğin, patlatmadan sonra kontrollü havalandırma ile yeniden giriş sürelerini kısaltılır ve üretim artırılabilir.



Şekil-4 VOD (ihtiyaca bağlı havalandırma) sistem şematik görüntüsü. [28]

VOD uygulanan havalandırma sistemlerinde ayarla-unut mantığı kullanılmaz, sistem dinamik olarak işletilir. İlgili maden havalandırma sistemine VOD uygulamadan önce aşağıdaki konuların sorgulanması gereklidir:

- Tüm mahallerde havalandırma gerekiyor mu?
- Havalandırma gereken alanlarda sabit havalandırma miktarları gerekiyor mu?
- Tüm tali havalandırma sistemlerine aynı anda ihtiyaç duyuluyor mu?
- Orijinal sistem tasarım kriteri aşıldı mı?
- Aktif olmayan zamanlarda havalandırma gerekli mi?

Tekil proseslerin (patlatma, çıkartma, taşıma) zamanlamasını ayarlayarak işletme verimliliği daha da artırılabilir. Akıllı yükleme yönetimi daha düşük işletme maliyetlerini sağlayabilir. (Örneğin yüksek elektrik enerjisi gerektiren proseslerin düşük elektrik tarifeli zaman dilimlerine kaydırılması).

VOD sisteminin uygulanması için, maden havalandırma ağı, süreçler ve yönetmelik gerekleri hakkında eksiksiz ve ayrıntılı bilgi gerekir.

Bölgesel hava taleplerini kesin olarak tanımlamak için, tüm araçların özellikleri ve konumları bilinmelidir. Ayrıca, personel konumları bilinmelidir. Herhangi bir alanda personel olmadan debiler izin verilen minimum değerlere düşürülebilir. Personel ve araçların konumlarının tespiti için izleme ve tanımlama sistemi gerekli olacaktır. Ayrıca konumları tespit edilen araçların aktif halde olanları da bilinmelidir.

Daha sonra araç ve personel hakkındaki bilgiler, gerekli hava akışlarını belirlemek ve uygun davranışları üretmek için analiz edilmelidir. Verilerin analiz edilmesi ve komutların tetiklenmesi, merkezi bir kontrol sistemi veya merkezi olmayan bir sistem tarafından yürütülebilir. Her iki durumda da bilgi akışı için uygun haberleşme altyapısı gereklidir.

Ayrıca, hava akışlarını hesaplanan ihtiyaçlara göre dinamik olarak ayarlayabilmek ve ilgili bölgelere ulaştırabilmek için havalandırma sisteminde gerekli altyapı kurulmalıdır. Fanların değişken debili olmaları, hava ayarlayıcılar, damperler, kapılar gibi hava akışı yönlendirme mekanizmalarının sistemde yer almaları gereklidir. İhtiyaç duyulan kısa reaksiyon zamanlarını temin edebilmek için havalandırma altyapısının uzaktan kontrol edilebilmesi gereklidir. Bu durumda fanlar için VFD üniteler, hava yönlendirme ve ayar mekanizmaları için ise elektrikli veya pnömatik tahrik ünitelerinin sisteme dahil edilmeleri gereklidir.

Yönetmelik taleplerini karşılamak için, sadece kullanılan araçlara göre statik hesap yapmak (örneğin dizel araçların egzoz gaz emisyonları) dizel motorlu ekipman yeterli olmayacaktır. Özellikle büyük madenler, gaz patlamaları gibi beklenmeyen olaylar açısından çok büyük tehlike barındırmaktadır. Maden ocağını gaz algılama sensörleri ve ölçüm cihazlarıyla izlemek, hava kalitesini analiz etmek ve belirli yönetmelik gerekleri doğrultusunda havalandırmayı yönetmek verimli ve güvenli maden işletmesi için gereklidir.

VOD, hesaplanan miktarları ezbere uygulamak yerine bir izleme sistemi kullanır. Böylece, maden havalandırma sistemi ani olaylara tepki veremeyen miktara dayalı bir sistem olmaktan çıkıp kaliteye dayalı bir sistem (ihtiyaca dayalı) haline gelecektir.

VOD değişik seviyelerde uygulanabilir. Genel olarak 5 seviye VOD uygulamasından bahsedilebilir. Uygulama açısından seviye yükseldikçe elde edilen kazanımlar artacaktır.

Seviye-1: Kullanıcı müdahalesi. Havalandırma ihtiyaçlarının sağlanması için fanların ve ayarlayıcıların elle kontrol edilmesi. Bu kontrol bizzat mekanizmaların başından veya yazılım üzerinden işletme personeli tarafından yapılır.

Seviye-2: Zaman programı. Fanlar ve hava ayarlayıcılar elle kumanda edilmez. Önceden ayarlanmış zaman programları (önceden ayarlanmış günlük aç-kapa yapısıyla) devreye girer.

Seviye-3: Olay tabanlı. Maden ocağındaki belli aktivite ve olaylar (patlatma veya yangın) doğrultusunda havalandırma sisteminde otomatik değişiklik yapılması.

Seviye-4: İşaretleme. Maden ocağındaki havalandırma personel ve araçların gerçek zamanlı konumlarına ve durumlarına göre ayarlanır. Personel ve araçların gerçek zamanlı konum bilgileri işaretleme ve takip sistemi ile elde edilir.

Seviye-5: Çevresel. Maden ocağındaki gaz konsantrasyonlarının, havalandırma parametrelerinin bilgisayarlı izleme sistem yazılımı vasıtasıyla takip edilmesi (Atmosfer İzleme Sistemi).

Seviye 1 dışındaki tüm seviyelerde otomatik kontrol yazılım bazlıdır.

İhtiyaca bağlı havalandırma (VOD), maden ocağında ihtiyaç duyulan zamanda gerekli miktarda havanın akıllı ve kontrollü bir şekilde sağlanmasını hedefleyen maden havalandırma sistemlerindeki optimizasyonun kavramsal adıdır. Bir VOD sistemlerinin uygulanması için aşağıdaki hususlara dikkat edilir:

- Havalandırma ihtiyaçları emisyon kaynakları, tüketiciler ve düzenleyici yönergeler doğrultusunda tanımlanır.
- Emisyon kaynakları, tüketiciler, personel konumları, araç konumları, araç tanımları bilinir.
- Havalandırma sistemi değişken debili ana ve tali fanlar, ayarlayıcılar ve kapılar yardımıyla ayarlanır
- Hava, gaz ve toz ölçüm cihazları ve sistemleri doğrulanır
- Takip sistemiyle, ağ altyapısı ile, kontrol üniteleri ve yazılım ile ağ haberleşmesi sağlanır.

### 3.2. VOD Uygulamalarına Dünya'dan Örnekler

#### 3.2.1. Güney Afrika

Güney Afrika'daki 7 adet altın, 3 adet platinyum olmak üzere toplam on adet madende yapılan enerji denetimi çalışması, VOD uygulamalarının hayata geçirilmesiyle yıllık toplam 179 421 MWh elektrik enerjisi tasarrufu sağlanabileceğini ortaya koydu. Ortaya çıkan maliyet tasarrufunun, ortalama 9 aylık geri ödeme süresiyle 11,57 milyon ABD doları olduğu tahmin edilmektedir. Ortalama sera gazı emisyon azaltımı yıllık %53 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu çalışmada, maden havalandırma fanlarına orta gerilim değişken hızlı sürücülerin monte edilmiştir. Verimliliği artırmak ve emisyonları azaltmak için VOD uygulamalarının bir parçası olarak ilgili maden havalandırma fanlarında orta gerilim değişken hızlı sürücülerin monte edilmesinin uygulanabilirliği kanıtlanmıştır. Sonuçlar, VOD uygulamalarının maden işletmesindeki güvenlik ve çalışma ortamı koşullarından taviz vermeden, maden işletmesinin sürdürülebilirliğini ve karlılığını artırdığını göstermiştir.

#### 3.2.2. Brezilya

Brezilya'da madenlerde VOD havalandırma uygulaması 2013 yılında Ipueira madeninde başlamış ve kısa bir süre sonra Cuiabá, Córrego do Sítio I ve Vazante madenlerinde uygulanmıştır. Her maden, ana havalandırma için frekans invertörlerini benimsemiştir; bu sayede ana fan hızı, ihtiyaca göre ayarlanmaktadır. Uygulanan VOD sistemi tali fanlarda VFD uygulamalı değil, koşullara bağlı aç-kapa şeklindedir. Bahsedilen yer altı madenlerindeki havalandırma sistem özellikleri ve VOD kaynaklı tasarruf değerleri aşağıda Tablo-1'de verilmiştir.

Özellik	Córrego do Sítio I Madeni	Cuiabá Madeni	Vazante Madeni
Fan Sayısı (adet) (Ana ve Tali)	25	35	50
Cevher	Altın	Altın	Çinko
Mevcut Derinlik (m)	800	1.400	850
Konum	Santa Bárbara-MG	Sabará-MG	Vazante- MG
Debi (m <sup>3</sup> /s)	440	400 to 720	500
Senelik Tasarruf (%)	21	25	15

**Tablo-1** VOD uygulanan Brezilya madenlerindeki havalandırma bilgi özeti. [16]



### 3.2.3. İsveç

Kankberg altın madeni İsveç'in Kuzeyinde yer alan Skellefte bölgesindedir. 2 adet 315 kW lık ana fan ve 7 adet 37 kW lık tali fan maden ocağı havalandırma sistemine hizmet etmektedir. Tüm fanlar VFD lidir. VOD uygulaması 2016'da devreye girmiştir. Fanların toplam elektrik tüketimi %54 düşmüştür. Bu değer yılda 1918 MWh elektrik enerjisine karşılık gelmektedir. Ana fan debileri %21 azalmıştır. Bu durum propan kullanan ısıtıcıların yakıt tüketimini de azaltmıştır. Dolayısıyla ana fan havalandırma sistemi ısıtması aynı oranda azalmıştır. Bu da kabaca yıllık 1000 MWh lik bir enerji değeri olarak hesaplanmıştır. İlâveten, debiler azaldığı için fanlardan kaynaklanan gürültü miktarı da azalmıştır.

### 3.2.4. Çin

Çin'de yer alan Pulang bakır madeni işletmesi yılda 12,5 milyon ton bakır üretimi yapmaktadır. Yaklaşık 4 km derinliği olan bu maden için fizibilite değerlendirmesi amaçlı VOD simülasyonu yapılmıştır.

Buna göre; madende yer alan havalandırma sistemini oluşturan ana ve tali fanlar VFD lidir. İlâveten havalandırma sisteminde hava ayarlayıcılar da vardır. Gaz ve aerosol izleme sistemi, havalandırma sistemi sensörleri (debi, hava hızı, sıcaklık, basınç, nem vb.), personel ve araç takip sistemi madende kuruludur. Eğer Pulang Bakır madeni yıllık 650 m<sup>3</sup>/s sabit havalandırma debisi kullansaydı, yıllık havalandırma enerji tüketimi 21,5 MWh (0,1 USD/kWh) üzerinden bedeli 2,15 milyon USD olacaktı. VOD uygulamasıyla enerji tüketimi 9,8 MWh (0,1 USD/kWh) üzerinden bedeli 0,98 milyon USD olmuştur. Simülasyon sonucu olarak VOD uygulaması havalandırma enerji tüketiminde yaklaşık %54,5'lik bir tasarruf tespit edilmiştir.

### 3.2.5. Kanada

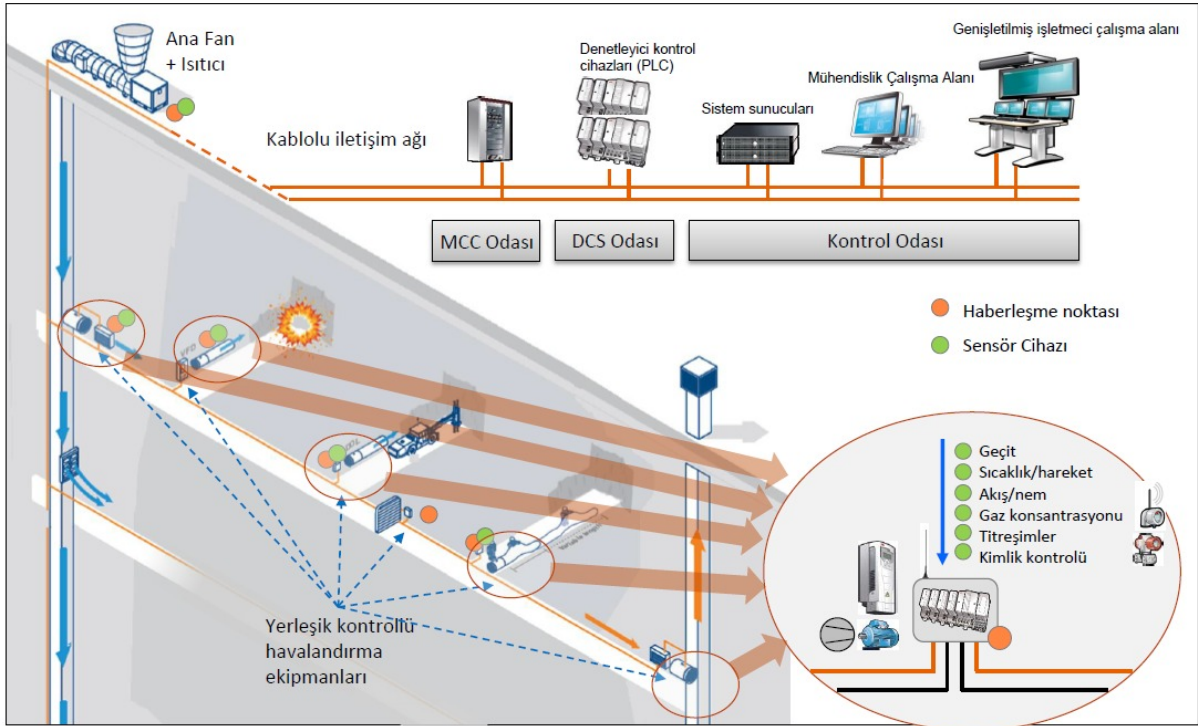
Kanada'daki Bousquet Madeni. 1990'da Havalandırma sistemi, 188 m<sup>3</sup>/s kapasiteli olarak maksimum on iki yüzeyde 1.800 ton/gün üretim kapasitesi için tasarlandı. Ancak, 1999'da üretim yaklaşık 2.100 ton/gün'e çıktı ve ilave 110 m<sup>3</sup>/s havalandırma gerekti. VOD uygulaması ile sistem kendi artırılmış üretim kapasitesini aynı havalandırma kapasitesi ile (188 m<sup>3</sup>/s) sağlayabildi.

## 4. ADAPTİF HAVALANDIRMA SİSTEMLERİ

### 4.1. Genel

Mevcut yaklaşımlar temel olarak ihtiyaca bağlı havalandırma konseptleri (VOD) ve sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanmasına odaklanmaktadır. Ancak, akıllı ve güvenli "Geleceğin Madeni", gelişmiş ve uyarlanabilir havalandırma sistemlerinin daha da geliştirilmesini gerektirir.

Madencilik süreçleri ile havalandırma sistemi arasındaki etkileşimi daha da geliştirmek için, adaptif maden havalandırma sistemleri açısından yeni bütünsel kavramların geliştirilmesi gerekmektedir. Günümüzün ihtiyaca bağlı havalandırma sistemleri, meydana gelen ve ölçülen duruma tepki vermek için sensörlerden gelen giriş verisini kullanır. Ancak daha gelişmiş sistemler, gerçek zamanlı optimizasyon için tahmine dayalı modeller sağlamak üzere dinamik simülasyonlar ve makine öğrenimi ile birleştirilebilir.

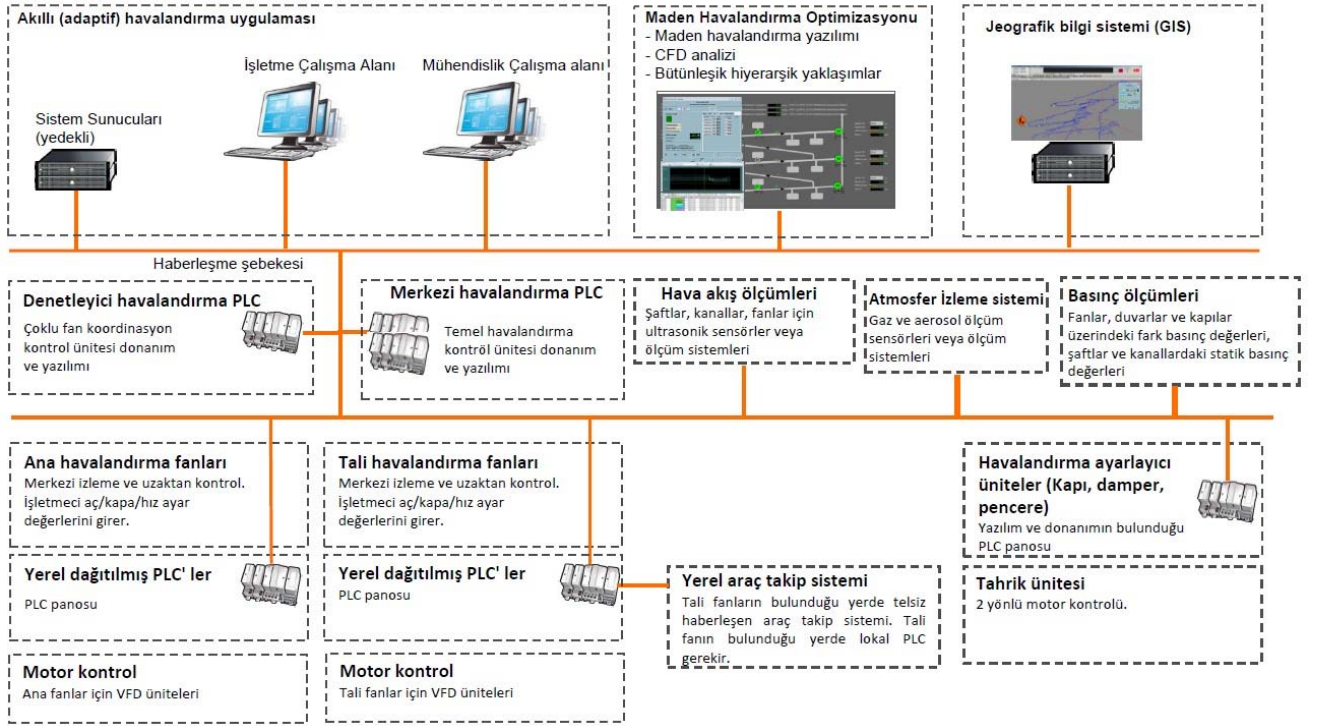


**Şekil-5** Akıllı maden havalandırma otomasyon sistemi genel bakış. (Kullanıcıların sisteme erişimi sabit veya seyyar ekranlar vasıtasıyla olabilir. Sistem haberleşmeleri telli telsiz olabilir. Emisyon ölçümü doğrudan sensörlerin sistem PLC ünitelerine bağlanmasıyla olabildiği gibi bağımsız atmosfer izleme sistemlerinin havalandırma otomasyon sistemine entegrasyonu ile de olabilmektedir. Havalandırma yazılımı ve CFD analizi de akıllı maden havalandırma kontrolünde yer alır) [32]

Bir madencilik veya havalandırma sisteminin kendisi siber-fiziksel bir sistem (CPS) olarak anlaşılabilir. CPS kavramı insanlara ve işletmelere çok çeşitli yenilikçi uygulamalar ve hizmetler sağlayan birbirine bağlı ve iş birliği yapan yeni nesil gömülü ICT sistemleri (Bilgi ve haberleşme teknolojileri) olarak tanımlanabilir. (Bilgi ve haberleşme teknolojisi (ICT) insanların ve organizasyonların dijital dünyada etkileşimlerini mümkün kılan tüm cihazlar, uygulamalar, sistemler, ağ cihazları, internet bağlantısı, bulut hesaplama sistemleri, dijital alışveriş, internet bağlantısı, haberleşme teknolojileri gibi kavramların tamamını içine alan terimdir).

Fiziksel bileşen, sistemdeki tüm nesnelere, sensörleri ve sürücülerini içerir. Sistemin kendisi, bağlam yönetimini ve sistemdeki farklı nesnelere ve varlıklar arasındaki ilişkileri dikkate alan bütüncül bir sistem mühendisliği yaklaşımı içerir. Süreç modelleme, (gerçek zamanlı) simülasyon, kendi kendine öğrenme modellerine dayalı optimizasyon ve ağ içindeki iletişime izin veren tüm bilgiler siber sistem içinde mevcuttur.

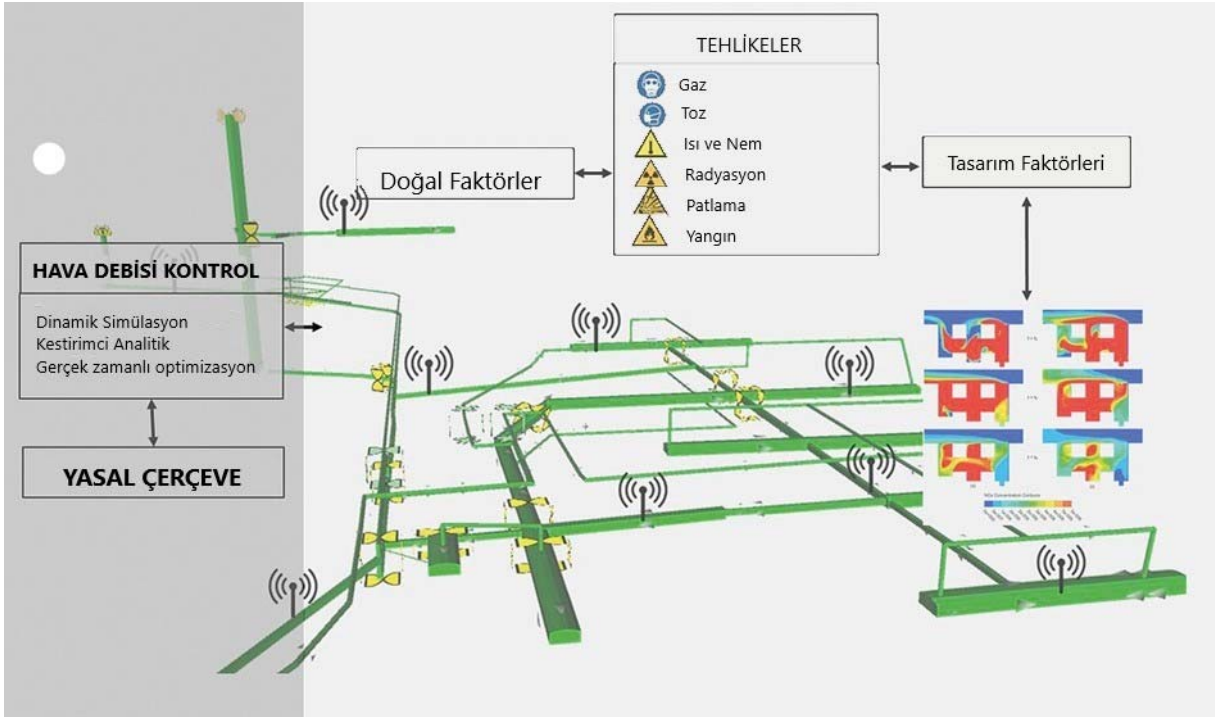
Değişen ortam ve koşullara uyum sağlayabilmek, belirsiz ve acil durumlarla başa çıkabilmek için sistemin sadece operasyonu kontrol etmesi değil, aynı zamanda öz-farkındalık, bağlam-farkındalık ve hedef-farkındalık anlamında adaptif olması gerekir.



Şekil-6 Adaptif havalandırma sistemi genel bileşenleri. [32]

Adaptif havalandırma sistemlerinin geliştirilmesinin temeli, uygun ICT yapılarının kullanılmasının yanı sıra, sistemin kendisinin, ilgili nesnelerin durumu ve konumu, davranışları ve ilişkileri hakkında bilgi farkındalığına sahip olması, daha da önemlisi sistemdeki değişikliklerin oluşturduğu (genel) etkilerin sistem tarafından anlaşılmasıdır. Mevcut gereklilikleri karşılamak için genel havalandırma sisteminin ayrıntılı olarak anlaşılması gereklidir. Bunun için adaptif havalandırma sistemlerinin aşağıdaki fonksiyonlara sahip olması gereklidir:

- Uygun maden havalandırma yazılımı tarafından desteklenen kapsamlı havalandırma şebekesi analizi ve hesaplaması.
- Ayrıca hesaplamalı akışkan dinamiği (CFD) kullanarak akışkan davranışlarının incelenerek (tali) yüzey havalandırması analizi.
- Maden havalandırma yazılımı sonuçları ile hesaplamalı akışkan dinamiği analiz sonuçlarının "bütünleşik hiyerarşik yaklaşımlar" yoluyla birleştirilmesi.



Şekil-7 Adaptif maden havalandırma sistemi. [23]

Maden havalandırma yazılımı: Havalandırma şebekesinin analizi ve hesaplaması için kullanılır. Sıkıştırılabilir havalandırma modellerini, hava akışlarını, basınçları, termodinamik özellikleri, kirleticileri, otomatik doğal havalandırma basıncı, geçici akış süreçleri, finans ve yangını modellemek ve simüle etmek için tasarlanmıştır. Canlı sensör verisi kullanan yazılımlar dinamik simülasyon ve kestirimci analitik alanlarında yeni fırsatlar sunmaktadır.

Hesaplamalı akışkanlar dinamiği: İlgili gazların özelliklerini (basınç, sıcaklık, hız, yoğunluk) göz önünde bulundurarak yüz havalandırmasıyla ilgili akışkan dinamiklerini analiz etmek kullanılır. Maden havalandırma işlemleri için tipik uygulamalar:

- o Zor jeolojik koşullarda gazların davranışının modellenmesidir.
- o Patlatma sonrası yeniden giriş süreleriyle bağlantılı olarak patlatma dumanlarının davranışının modellenmesidir.
- o Yükleyici-taşıyıcı araçlar gibi dinamik gaz kaynaklarının davranışının devridaim veya modellenmesinin etkisinin araştırılmasıdır.

Bütünleşik hiyerarşik yaklaşımlar: Hem bireysel modelleme hem de simülasyon tekniklerinin ve akışkan analiz araçlarının (maden havalandırma yazılımı ve hesaplamalı akışkanlar dinamiği) avantajlarını birleştirmek için hiyerarşik bir yaklaşım önerilmiştir.

CFD kullanımıyla elde edilen (optimum) tali yüz havalandırmasından elde edilen bireysel sonuçlar daha sonra doğrulama için genel havalandırma ağına entegre edilecek, yaklaşımın ve sonuçların fizibilitesi gözden geçirilecektir.

Maden havalandırma yazılımının hiyerarşik yaklaşım içindeki ana özellikleri, havalandırma sisteminin sıkıştırılabilir havalandırma şebeke analizi ve hesaplaması açısından temsili, değişen havalandırma durumlarının gösterilmesi, değiştirilmesi ve analizi, sonuçların akla yatkınlık ve uygulanabilirlik analizidir.

Hiyerarşik yaklaşımdaki CFD analizinin ana işlevleri ve özellikleri, belirli (uzamsal olarak sınırlı) alanlar için (çok fazlı) akış modellemesi ve simülasyonu, (optimum) ikincil yüz havalandırma stratejileri



geliştirme ve analiz için basınç, sıcaklık, ısı ve ivme gibi ilgili sıvı özelliklerini dikkate alma olarak ifade edilebilir.

## 4.2. Adaptif Havalandırma Uygulamasına Dünyadan Örnek

### 4.2.1. İsveç

2018'in başlarında İsveç'teki Boliden Garpenberg madeni, VOD havalandırma sistemine ek olarak adaptif (optimize edilmiş) bir kontrol stratejisi uyguladı. Stratejinin amacı, ana ve yardımcı fanlar için enerji kullanımını daha da en aza indirirken aynı zamanda fanlar üzerindeki min/maks diferansiyel basınç ve madenlerdeki alanlar arasındaki hava etkileşimi gibi kısıtlamaları ihlal etmeden hava debisi ayar değerlerini sağlamaktır.

Hava akışı ölçümleri ve havalandırma sisteminin dinamik bir modeli kullanılarak, fanların maden genelinde koordinasyonu ve kontrolü gerçekleştirilebilir. Sayısal model, verilere dayalıdır ve işletmenin geçmiş verilerinden veya adım cevabı deneylerinden türetilmiştir. Sayısal model hem ilk çalıştırmayı hem de maden geliştikçe ömür boyu model bakımını nispeten kolay bir işlem haline getirir. Kontrol sisteminin, modeli yeniden kalibre etmek zorunda kalmadan uzun süreler boyunca istikrarlı bir şekilde çalıştığı kanıtlanmıştır. Sonuçlar, ilgili fanlar için enerji kullanımında %40'lık bir azalma (900 kWh) ve hava akışının daha fazla kontrol edilebilir olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, madene giren toplam hava akışının %15 oranında azaltılması, kış dönemlerinde ek orantılı ısıtma tasarrufu sağlayacaktır.

## 5. ATMOSFER İZLEME SİSTEMLERİ

### 5.1. Giriş

Kanarya kuşları, metan ve karbonmonoksit özellikle duyarlı oldukları için bir zamanlar kömür madenlerinde erken uyarı sistemleri olarak kullanılmışlardır. Kuşlarda gözlemlenen herhangi bir stres işareti madencilere ortamın güvenli olmadığı fikrini vermekteydi. Günümüzde ise madenlerde kanaryalar emekli olmuşlar, mekanik havalandırma ve gaz algılama sistemleri maden ortam havasını güvenli ve çalışmaya uygun hale getirmektedir.



Şekil-8. Kömür madenlerinde kullanılan oksijenli kanarya kafesi [33]

Madenlerde sabit veya seyyar cihazlar vasıtasıyla zararlı gaz konsantrasyonlarını ölçmek mümkündür. Sabit ölçüm cihazları (dedektörler) madende birçok sabit lokasyonda ilgili zararlı gaz konsantrasyonunu ölçüp merkezi bir sisteme aktarırlar. Böylece gaz algılama sistemi madende belirlenmiş sabit lokasyonlardaki ilgili gaz miktarını merkezi olarak izleyip kaydeder. Tanımlanmış eşik değerleri aşıldığında alarm üretir. Üretilen alarmlar doğrultusunda maden havalandırmasıyla ilgili birtakım senaryolar yönetilir. Örneğin alarmın olduğu bölgedeki havalandırma miktarını artırmak için gerekli fanların debilerini artırmak, alarmın olduğu bölgeyi fiziki olarak kapatmak ve zararlı gaz konsantrasyonu bulunan ortamı izole etmek.

Seyyar cihazlar ise gaz ölçüm ve izleme amaçlı maden çalışanlarının yanlarında taşıdıkları cihazlardır. Ayarlanan eşik aşıldığında oluşan alarm üzerine personel gerekli eylem planını uygular ve oluşmadan önce riski azaltır. Örneğin havalandırma otomasyonu yönetimini uyararak merkezi sistem üzerinden erkenden müdahale edilmesini sağlarlar.

Madencilikte güvenlikle ilgili en önemli endişelerden biri, madendeki uygun havalandırma. Uygun olmayan havalandırma teknikleri, yer altı hava kalitesinin düşmesine, oksijen seviyesinin düşmesine ve hatta zararlı gazların birikmesine neden olabilir. Bu nedenle, havalandırma sistemlerini uygun şekilde kontrol etmek için maden ocaklarındaki hava akışını izlemek ve ölçmek çok önemlidir.

Zehirli ve patlayıcı gazları algılamak ve maden ortamından uzaklaştırmak, madende çalışan insanlara ve içten yanmalı motor kullanan araçlara taze hava sağlamak amacıyla kullanılan havalandırma ve atmosfer izleme sistemleri günümüz madenlerinde işletme için olmazsa olmaz sistemler arasında yer almaktadır.

Madenlerde atmosfer izleme sistemi faydaları:

#### **1. İş verimini artırır**

Çalışma ortam havasının tehlikeli ve zararlı kirleticilerden arındırılmış olması iş verimini iyi yönde etkiler ve üretkenliği artırır.

#### **2. Patlatma sonrası işe geri dönüş sürelerini kısaltır**

Sert kaya madenleri patlatma işlemi içerir. Patlatma işlemi zararlı gaz ve aerosollerin maden havasında bulunması anlamı taşır. Bunlar seyreltilmeden çalışmalara geri dönülemez ve iş durur. Patlatma sonucu maden havasında oluşan kirleticiler hava kalite izleme sistemleri tarafında izlenerek ihtiyaca bağlı havalandırma yapılırsa işe geri dönüş süreleri her vardiya için 30 ila 90 dakika arasında kısalmaktadır.

#### **3. Enerji tüketimini azaltır**

VOD gibi senaryoların uygulanmasının önünü açar. Madenlerde havalandırma sistemi enerji tüketimi maden toplam enerji tüketiminin %50 sine kadar ulaşabilmektedir. Maden havalandırma otomasyon sistemi gereği gibi VOD uygularsa, sert kaya madenlerinde sabit debili sürekli havalandırma senaryosuna kıyasla VOD senaryosu maden yıllık enerji tüketimini %30-%40 mertebesinde azaltacaktır. Bu tasarruf miktarının derin madenlerde yıllık 1 ila 5 milyon USD arasında olduğu tahmin edilmektedir.

#### **4. İşçi verimini artırır**

Çalışma ortam havasının temiz ve zararlı kirleticilerden arındırılmış olması çalışan verimini iyi yönde etkiler ve üretkenliği artırır.

#### **5. Yatırım maliyetlerini azaltır**

Havalandırma havasının doğru işçi konumuna ve programlanan zamanda iletilmesi, madeni havalandırmak için gereken toplam hava miktarını büyük ölçüde azaltabilir. Bazı madenler, havalandırma havasını izleyerek ve kontrol ederek, madenin ömrünü uzatmak için maliyetli hava



şaftları, ana veya yardımcı fanların eklenmesi fikrinden vaz geçmişleridir. Tasarruf hem zaman hem de sermaye maliyetlerinde tipik olarak milyonlarca USD'dir.

## 6. İşçi sağlığı ve güvenliği kurallarına uyulmasını sağlar

Hemen hemen tüm madencilik bölgelerinde, dizel üretim ekipmanının her HP'si için belirli bir hava akış oranı ile toksik veya patlayıcı gazlar için izin verilen maksimum değerleri gerektiren katı düzenlemeler vardır. Düzenlemeler, düzenlemeleri karşılamak için kilit havalandırma ve atmosfer değerlerine ait kayıtların doğru tutulmasını gerektirir. Gerçek zamanlı atmosfer izleme sistem kurulumu, patlayıcı gazların kontrolü gibi insan gücü yoğun ve tehlikeli faaliyetleri basitleştirmiş ve otomatikleştirmiştir.

## 7. Kazaları, yaralanmaları ve tazminatları azaltır

Maden ocağındaki patlama, yangın ve zehirlenme gibi akut olayları önler.

## 8. Yangın algılamaya destek olur

Konveyör kaynaklı yangınların azaltılmasında CO izleme sistemlerinin katkısı vardır. Birçok maden işletmelerinde tipik noktasal ısı dedektörlerine ilave olarak veya onların yerine CO izleme sistemleri kullanılmaktadır.

## 9. Sera gazı emisyonlarının ölçülmesi ve azaltılması

Karbondioksit ve metan kaçak emisyon olarak tanımlanırlar. Atmosfere salındıklarında potansiyel bir ekonomik kaybı temsil etmenin yanı sıra sera gazı seviyelerinin artmasına katkıda bulunurlar. Örneğin kömür madenlerinde damar gazı metan, basınç altında kömür damarlarında depolanır. Kömür çıkarıldığında basınç düşer ve gaz açığa çıkar. Avustralya Ulusal Sera Gazı Envanteri 'ne (ANGGI) göre kömür madenciliğinden kaynaklanan kaçak emisyonlar, Avustralya'nın toplam sera gazlarının yaklaşık %5'ini oluşturmaktadır. Yer altı madenciliği ise bu toplamın %61'inin oluşmasına sebebiyet vermektedir.

### 5.2. Maden Atmosferinde Gaz Ölçümü

Yer altı maden ocaklarında zehirli, boğucu, patlayıcı ve yanıcı gaz emisyonları bulunur.

GAZ	KAYNAKLAR
<b>CO</b> Karbonmonoksit	Eksik Yanma Sızıntı Patlama Patlatma
<b>CO2</b> Karbondioksit	Tam Yanma Fermentasyon Solunum Asidik su ile karbonatlar arasındaki kimyasal reaksiyonlar Patlatma
<b>CH4</b> Metan	Organik maddenin su varlığında ayrışması Gözeneklerdeki metan
<b>SO2</b> Kükürtdioksit	Dizel motorlar Kayalardan sızıntı Patlama Patlatma
<b>N2</b> Azot	Patlatma
<b>NOx</b> Azotoksitler	Dizel motorlar Patlama Patlatma
<b>NH3</b> Amonyak	ANFO patlayıcısının çimento ile reaksiyonu
<b>H2S</b>	(Yüksek miktarlarda nadir görülmektedir)

Hidrojen Sülfür	Organik maddenin bakteriyel ayrışması Durağan sular Dizel motorlar (Sülfürlü yakıt kullananlar) Elektrikli motorlar
<b>H2</b> Hidrojen	Aküler Yangınlar Kuvvetli asitler ile metaller arasındaki reaksiyon
<b>C6H6</b> Benzen	Dizel motorlar
<b>Rn</b> Radon	Kömürde, kayaçlarda veya yer altı sularında bulunan uranyum elementinin bozunması

**Tablo-2** Madenlerde bulunabilecek bazı zararlı gazlar ve kaynakları [12]

### 5.2.1. Karbondioksit Ölçümü

Karbon Dioksit, dağılmayan bir kızılötesi (NDIR) sensör kullanılarak ölçülebilir. Ölçüm, CO<sub>2</sub> moleküllerinin kızılötesi ışığı veya belirli dalga boylarını soğurduğu fiziksel özelliğe dayanır. Hedef gaz üzerinden ışık geçirerek ve uygun optik filtreler kullanarak, ölçüm cihazında yer alan ışık detektörünün bir CO<sub>2</sub> konsantrasyon değerine dönüştürülebilen bir çıktı vermesi sağlanır.

### 5.2.2. Karbonmonoksit Ölçümü

Karbon Monoksit, bir elektrokimyasal gaz sensörü kullanılarak tespit edilir. Bu sensör CO konsantrasyonunu bir elektrotta oksitleyerek ve ardından ortaya çıkan akımı ölçerek ölçer. Diğer yanıcı gazlara çapraz duyarlılığı azaltmak için H<sub>2</sub>S, N<sub>2</sub>O, NO ve SO<sub>2</sub> için kimyasal filtrelerle sahiptir.

CO seviyelerinin ölçülmesi, yangınların ve yer altında ısınmanın tespit edilmesine yardımcı olur. Sensörler, azalma olmadan CO konsantrasyonlarında sabit bir artış algılayacaktır. İş makineleri kaynaklı dumanlar ve dizel egzozu karbon monoksit alarmlarını tetikleyebilse de hızlı artış ve düşüş modelleri bilinmektedir.

Karbon Monoksit, madenlerde kömürün oksidasyon süreci sırasında olduğu kadar, maden ocaklarında odunun oksidasyonu ve maden atmosferindeki gaz halindeki metanın eksik yanması sonucu oluşabilir. Solunduğu zaman, çalışanlar baş dönmesi, halsizlik, mide rahatsızlığı, kusma, baş ağrısı, göğüs ağrısı ve kafa karışıklığı gibi CO zehirlenmesi semptomlarından mustarip olabilir. Yüksek konsantrasyonlarda CO, bireylerin bilincini kaybetmesine veya daha kötüsü komaya (ölüme) neden olabilir. Karbonmonoksit renksiz, tatsız ve kokusuz olduğu için var olduğu ortamda çalışanlar için daha da tehlikelidir. Madenciler, bir maden yangını veya patlamasının ilk etkilerinden sağ çıkabilseler de hala karbon monoksit boğulması (oksijensiz kalma) riski altında olabilirler.

### 5.2.3. Hidrojen Sülfür Ölçümü

Güçlü hidrojen sülfür kokusu, 1 ppm kadar düşük koku konsantrasyonları ile tespit edilebilir; ancak bir uyarı sistemi olarak bu son derece güvenilir bir yöntemdir ve kullanılmamalıdır.

Hidrojen Sülfür, elektrokimyasal sensörlerle donatılmış bir gaz detektörü kullanılarak ölçülebilir. Elektrokimyasal sensörler, akımları ölçerek gaz seviyelerini ölçer; ilgili gaz, atmosferde bulunan gazın konsantrasyonuyla doğru orantılı bir akım üreten bir kimyasal reaksiyona girer.

### 5.2.4. Metan Ölçümü

Metan gazı monitörleri, dağılmayan bir kızılötesi (NDIR) sensöre sahiptir. Ölçüm, CH<sub>4</sub> moleküllerinin kızılötesi ışığı veya belirli dalga boylarını soğurduğu fiziksel özelliğe dayanır. Hedef gaz üzerinden ışık geçirerek ve uygun optik filtreler kullanarak, ölçüm cihazında yer alan ışık detektörünün bir CH<sub>4</sub> konsantrasyon değerine dönüştürülebilen bir çıktı vermesi sağlanır.

Ateş alma eğiliminin daha yüksek olması nedeniyle, madenlerdeki gaz seviyelerinin çalışma yüzeyinde rutin olarak izlenmesi gerekir. Seviyeler %1'i aştığında uyarı sağlamak için monitörlere ihtiyaç vardır.

Seviler hızla yükselip düşebildiğinden ve personelin reaksiyon süreleri kritik olduğundan, yeterli ve zamanında müdahale sağlamak için tehlikeli seviye olan %5 yerine %1'de bir uyarı sağlanması yerinde olmaktadır.

Metan, doğrudan kömür çıkarma işlemi sırasında açığa çıktığı için madencilik uygulamalarında çok gerçek bir risk oluşturur. Kömür çıkarma işlemi, kömür damarı içinde hapsedilmiş gazı serbest bırakır ve bu daha sonra madenin hava beslemesi üzerinden madendeki işçiler tarafından solunabilir, boğucu veya patlayıcı etki oluşturarak ve sağlık ve güvenlik tehlikesine neden olabilir.

Maden gazı doğal bir üründür. Bu gazın bir takım ana unsurları vardır; bunlar oksijen, azot, karbondioksit ve metandır. Madenlerde kullanılan patlatma işlemleri, hidrojen sülfürün yanı sıra büyük miktarlarda karbon monoksit oluşmasına neden olabilir. Maden gazı hem çatlaklarda serbest bir gaz hem de kömürün iç yüzeyinde emilmiş bir gaz olarak kendini gösterir. Madencilik faaliyetleri sırasında maden gazı salındığında yanıcılığı nedeniyle tehlike arz eder. Hava ile karıştığında yangına ve patlama riskine neden olabilir.

Maden işletmesinde gaz algılama ve izleme ekipmanı kullanmak, metan konsantrasyon seviyeleri ile tehlikeli hale gelebilecek alanların yüzeyden temiz hava ile havalandırılmasını sağlar. Bu havalandırma işleminin getirdiği metan konsantrasyonundaki seyreltme maden ortamındaki patlama riskini azaltır.

Madenden çıkan egzoz havasının metan içeriği izlenerek, içeri giren taze hava miktarı uygun şekilde kontrol edilebilir ve mahalde çalışanların operasyonlarını gerçekleştirirken güvende kalması sağlanır. Madencilik sektöründe yasal gerekliliklere uyum çok önemli olsa da güvenlik süreçlerinin yerinde olmasını sağlamak sektördeki işletmelerin sahipleri ve yöneticileri için sorumluluk anlamı taşımaktadır. Madencilik işletme kavramı geniş kapsamlı olduğundan, ihtiyaca uygun olan doğru algılama ekipmanı temin ve tesis etmek için ön çalışma ve araştırma gereklidir. Doğru yerleşimde, doğru ekipmanın doğru bir şekilde montajlanarak kullanılması, gaz seviyelerinin doğru bir şekilde izlenmesini ve çalışanların erkenden ortamdaki tehlikeli konsantrasyonlara karşı uyarılmasını ve havalandırma sisteminin bunu destekleyecek şekilde çalışmasını sağlayacaktır.



**Şekil-9** Atmosfer izleme istasyonu ve maden havalandırma bilgilendirme ekranı. [31]

### 5.2.5. Maden Ocaklarındaki Patlayıcı Tozlar

Maden ocaklarında toz patlaması oluşabilmesi için aşağıdaki faktörlerin varlığı gerekmektedir:

- Yanıcı toz
- Yeterli konsantrasyon
- Oksijen varlığı
- Ateşleme kaynağı
- Âtil kapalı alan

Kömür tozu, sülfür tozu, alüminyum tozu, titanyum tozu, magnezyum tozu patlayıcı tozlara örnek olarak verilebilir. Etkin çalışan maden havalandırma otomasyon sistemi söz konusu patlayıcı toz konsantrasyonlarını azaltmada faydalı olacaktır. ATEX direktifi doğrultusunda işletme faaliyeti ise etkin havalandırma ile patlama ve yangınların önüne geçmede faydalı olacaktır. Eğer patlama olursa, yine havalandırma sistemi yoluyla patlamayı izole etmek ve patlama sonucu oluşan atmosfer şartlarını tahliye etmek patlamanın oluşturacağı hasarı, kayıpları ve madenin kapalı kalma süresini azaltacaktır.

### 5.2.6. Radon Ölçümü

Radon; doğada bütünüyle radyoaktif olarak bulunan, havadan daha ağır, renksiz, kokusuz, tatsız bir soy gazdır. Radon, başta kayalık, toprak ve su olmak üzere doğada değişik miktarlarda bulunan uranyum (U) elementinin radyoaktif bozunmasıyla açığa çıkan radyum ( $^{226}\text{Ra}$ ) izotopunun radyoaktif bozunum ürünüdür. Radon gazı ile özellikle uranyum madenlerinde karşılaşılması olası olup kömür madenlerinde de karşılaşılabilir. Ülkemizde bazı kömür havzalarında geçmişte radon ölçümü yapılmış olup, Zonguldak taşkömürü havzasında ölçülen değerler 253-1470 Bq/m<sup>3</sup> arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir.

Tütün dumanı ile radon gazı akciğer kanseri oluşumlarında önemli rol oynamaktadır. WHO, akciğer kanseri vakalarında radon ile ilişkilendirilen vaka oranını, oranın hesaplanma yöntemine ve ülkedeki ortalama radon konsantrasyonuna bağlı olarak, %3-14 arasında değiştiğini belirtmektedir.

Türkiye 2013 maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği'nde Radon gazı için maruz kalma sınır değerine dair bir bilgi yer almamaktadır. Öte yandan TAEK'na göre kapalı alanlardaki maruz kalma sınır değeri 400 bq/m<sup>3</sup> tür. ABD'de radon ölçümü tüm madenlerde zorunludur. Güncel Avrupa EU-BSS değerine göre işyerlerinde yıllık ortalama maruz kalma sınır değeri 300 Bq/m<sup>3</sup> olarak açıklanmıştır. Benzer kavram için OSHA değeri ise 333 Bq/m<sup>3</sup> şeklindedir.

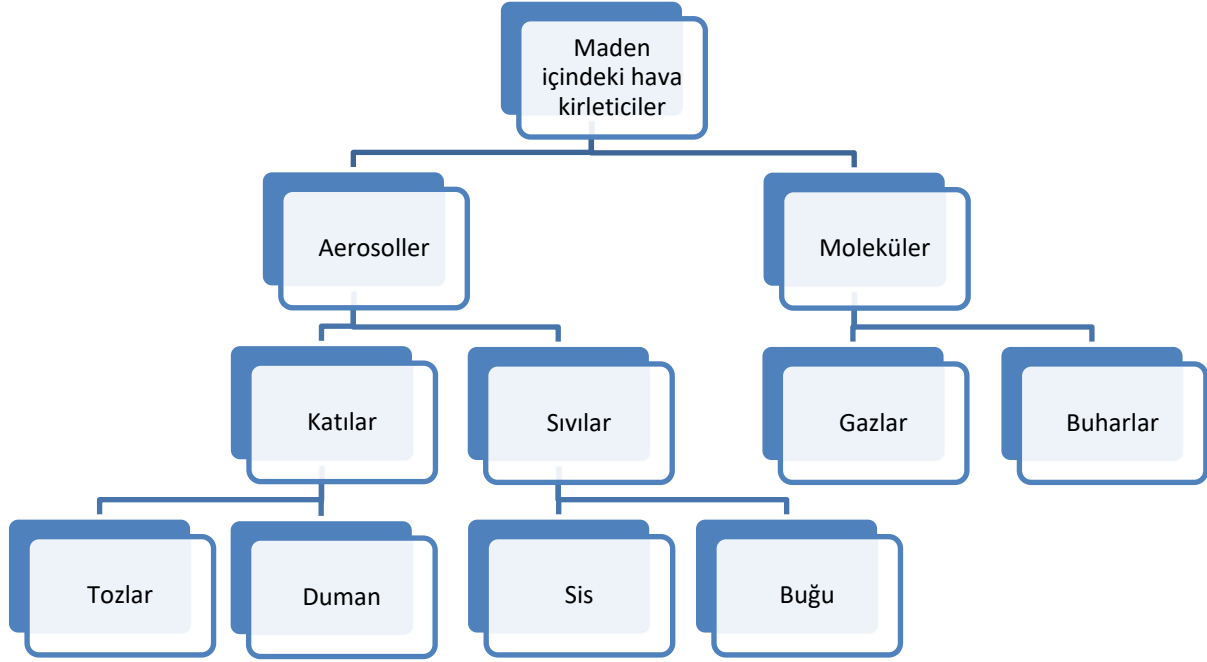
Radon gazı olsa da bozunma ürünleri katıdır ve tozlara yapışır. Dolayısıyla filtrelenebilirler. Koruyucu önlem olarak, mümkün olduğu kadar insansız maden işletmesi yapmak, yoğun havalandırma, genel havalandırma filtrelemesi, toz için bireysel koruyucu ekipman kullanımı, maruz kalma zamanını azaltmak için rotasyonlu personel çalışması önerilebilir.

Madenlerde radon gazını ölçmek için seyyar ve sabit ölçüm ve analiz cihazları/sistemleri geliştirilmiştir. Seyyar cihazlar numune alınarak laboratuvarlarda yapılan tespit çalışmalarına göre kesintisiz ve daha hızlı sonuçlar vermektedir. Söz konusu sistemler tıpkı aerosol ölçme sistemleri gibi ölçüm ve analiz yazılımları ile iş güvenliği ekibini erken uyarılmaktadır ve maden işletmesine radyoaktif gaz emisyonunu ve dolayısıyla radyoaktif toz miktarını azaltıcı, çalışan sağlığını koruyucu aksiyonları alma yeteneği kazandırmaktadır. Öte yandan merkezi laboratuvara gönderilmek üzere kullanılan kısa süreli ve uzun süreli numune setleri de sıklıkla kullanılmaktadır.

### 5.3. Maden Atmosferinde Aerosoller

Maden havasında bulunan ana aerosol tipi tozdur. Toz taneleri genellikle 1 ila 100 mikron arasında büyüklükte olurlar. Tozlara ek olarak duman partiküllerine (1 mikrondan küçük) de sık rastlanır. Bunlar çoğunlukla dizel makinaların yanma prosesinden veya yangın sonucu ortaya çıkmaktadır (DPM).

Katıların havada yayılmasının yanı sıra, havada sıvıların da sis (daha yoğun) veya buğu (daha hafif) halinde bulunması da sıklıkla rastlanır durumdur. Havadaki sıvı varlığı maden ortamındaki yüksek nem ve yüksek sıcaklık sonucu ortaya çıkmaktadır.



**Şekil-10.** Madenlerdeki hava kirlenitçi tipleri [12]

Madencilerin en çok etkilendiği iş hastalığı Pnömonyoz'dur. Akciğerde toz birikimine bağlı doku reaksiyonu ile kendini gösteren akciğer hastalığı durumudur. Pnömonyoz'un birçok çeşidi vardır, Silikozis madencilerde en çok görülen tipidir. Silikozis kuvars şeklinde kristal yapıya sahip silika tozlarının bir süre solunması sonucu akciğerlerde kalıcı ve ilerleyebilen hasara yol açan bir meslek hastalığıdır. Kazma, delme, tünel açma işlemleri; taş ocakları ve madenler (kömür, altın, kalay, demir, bakır, nikel, gümüş, granit, tungsten, uranyum, vb..) silikoz açısından riskli iş kollarıdır.

Silika IARC tarafından insanlarda kanser yapıcı olarak sınıflandırılmıştır. Silika ile ilgili olarak uluslararası standartlar ve otoriteler tarafında belirlenmiş maruz kalma sınır değerleri şu şekildedir:

OSHA: 0,05 mg/m<sup>3</sup> (PEL-TWA)

ACGIH: 0,025 mg/m<sup>3</sup> (TLV-TWA)

EU Directive 2017 2398 BOELV: 0,1 mg/m<sup>3</sup> (TWA)

Öte yandan, Uranyum madenlerinde Radon gazının bozunmasıyla radyoaktif hale gelebilen tozlar madencilerin soluduğu başka bir toz çeşitidir. Dizel motor egzozundan çıkan katı emisyonlar (yanmış ve yanmamış hidrokarbonlar, sülfatlar, metal parçacıkları ve onların oksitleri ve tuzlar) DPM olarak adlandırılırlar. Bu parçacıklar 5 ila 50 nm boyutları arasında olup birleşerek mikrometre boyutu altına yaklaşılırlar. 100nm boyutun altındakilere nano DPM denmektedir ve en zararlı olan tür bunlardır, zira solunum üzerinden kan yoluyla vücudun her yerine merkezi sinir sistemine kadar ulaşılırlar. Mesleki maruziyet kısa vadede göz ve boğazda tahriş, baş dönmesi ve baş ağrısı gibi şikayetlere sebep olmaktadır. Uzun vadede ise kalp akciğer hastalıklarına ve akciğer kanserine sebep olur. Amerikan 30CFR 57.5060 yönetmeliğine göre yer altı madenlerinde çalışanların günlük 8 saatlik çalışma süresindeki ortalama maruz kalma sınır değeri birim metreküp havadaki 160 mikro gram toplam karbon miktarı olarak (160TC [MICRO]g/m<sup>3</sup>) olarak belirtilmiştir.

Maden ortamında çalışanları korumak için çalışılan yüzeylerin ıslatılması, dizel makinalarda düzenli bakım, dizel motorlarda partikül filtrelerin ve katalitik konverterlerin kullanılması, düşük emisyonlu dizel motor kullanılması, yakıt olarak biyodizel kullanımı, elektrikli iş makinası kullanmak, makine operatörleri kabinlerinin izole edilmesi, madende filtreli havalandırma, işçilerin bireysel koruyucu ekipman kullanması gibi tedbirler yoluyla zararlı aerosol emisyonları sınırlandırılabilir.



**Şekil-11** Kömür madeninde su püskürterek havada asılı toz önemeli faaliyet [35]

Maden ortamındaki zararlı aerosollerden çalışanları koruyabilmek için ölçmek başta gelir. Çalışanların aerosole maruz kaldıkları ortamlarda, bu maruziyetin tehlikeli seviyelere ulaşmadan tespit edilmesi ve buna göre önlem alınması çok önemlidir. Ölçüm seyyar cihazlarla veya örnek alınıp gravimetrik örnekleme testi için laboratuvarlara gönderilerek yapılır. Seyyar cihaz kullanımı, aerosol konsantrasyonunun ışın saçılımı metoduyla gerçek-zamanlı olarak izlenmesi zamandan tasarrufu nedeniyle kullanılan bir yöntemdir. Ölçüm sonuç verilerine hızlı erişim ve analiz yapabilme, problemi tespit etmek ve çözüm için önlem almak konusunda işletmeye zaman kazandırır. Gerçek zamanlı izleme ve analiz, geleneksel gravimetrik örnekleme testi sonucu gelene kadar maruziyetin azaltılması için acil müdahale gerektiren durumlarda iş güvenliği uzmanlarına önemli zaman kazandırır, çalışanların sağlığını korur.

Dünyada ve ülkemizde maden işletmelerinde kullanılmak üzere PM10, PM2,5, PM1, Silika, DPM ölçen seyyar aerosol izleme çözümleri (cihazları, sistemleri) arzı mevcuttur. Bu cihazların yanıcı patlayıcı ortamda (örneğin kömür madenleri) kullanılabilen (IECEX / ATEX onaylı) tipleri de mevcuttur.



**Şekil-12** Yer altı madenlerinde zararlı aerosol ölçüm istasyonu [32]



#### 5.4. Maden Havalandırma/İklimlendirme Parametreleri Ölçülmesi

Maden iklimlendirmesinin yapılabilmesi için ilgili parametrelerin otomasyon sistemi tarafından doğru olarak izlenip, analiz ve kontrol edilmesi temel ihtiyaçtır. Hava miktarını doğru ayarlayabilmek için hava hızı, basınç gibi parametrelerin muhakkak ölçülmesi gerekmektedir. Ayrıca, zararlı gaz ve aerosol konsantrasyon değerlerinin yanısıra ortam sıcaklık ve nem değerlerinin ölçülüp kontrol edilmesi personel sağlığı ve üretkenliği, işletme verimi açısından gereklidir. Zira özellikle derin madencilikte yerden aşağıya doğru inildikçe otomatik sıkıştırma etkisiyle havaya entalpi eklenir. Buna araçlar, maden cevheri ve insanlardan yayılan ısı enerjisi eklendiğinde derin madenlerde ortam sıcaklıkları 40 C ve üstüne çıkabilir. Bu ortam sıcaklığı kontrol altına alınamazsa personel üzerinde oldukça olumsuz etki yapacaktır. Sıcak iklim bölgelerinde yer alan derin madenlerde cebri soğutma ve sıcaklık kontrolü sıklıkla görülmektedir. Öte yandan soğuk iklimde bulunan madenlerde madene veriş havasının donma önleme amaçlı yüzeyde ısıtılarak verilmesi, derin madenlerde ise kışın yüzeyde madene verilecek havanın ısıtılması gerekirken, aşağıya ulaşan havanın soğutulması gerekebilir. Sonuç olarak, maden ocaklarında hava hızı, fark basınç, statik basınç, sıcaklık, nem gibi parametreler ölçülerek debi ve sıcaklık kontrol döngüleri işletilir. İlaveten, fan izleme sistemleri fanlara ait debi, titreşim, sıcaklık, çekilen güç gibi bilgileri de havalandırmanın ihtiyaç duyulduğu zamanlarda fanların kesintisiz çalışabilmesi için gereklidir.

#### Eşdeğer Sıcaklık (Te)

Bu kavram, çevresel sıcaklık, bağıl nem ve hava hızını içerir. Bir insanın termal açıdan hissetmesini yaklaşık olarak tanımlar. Bu sıcaklık değeri ölçülmez, hesaplanır.

Eşdeğer Sıcaklık için madencilikte en çok kullanılan formül:

$$Te = 0,9 Tw + 0,1 Td \quad \text{VEYA} \quad Te = 0,7 Tw + 0,3 Td - v \quad \text{olarak kullanılmaktadır.}$$

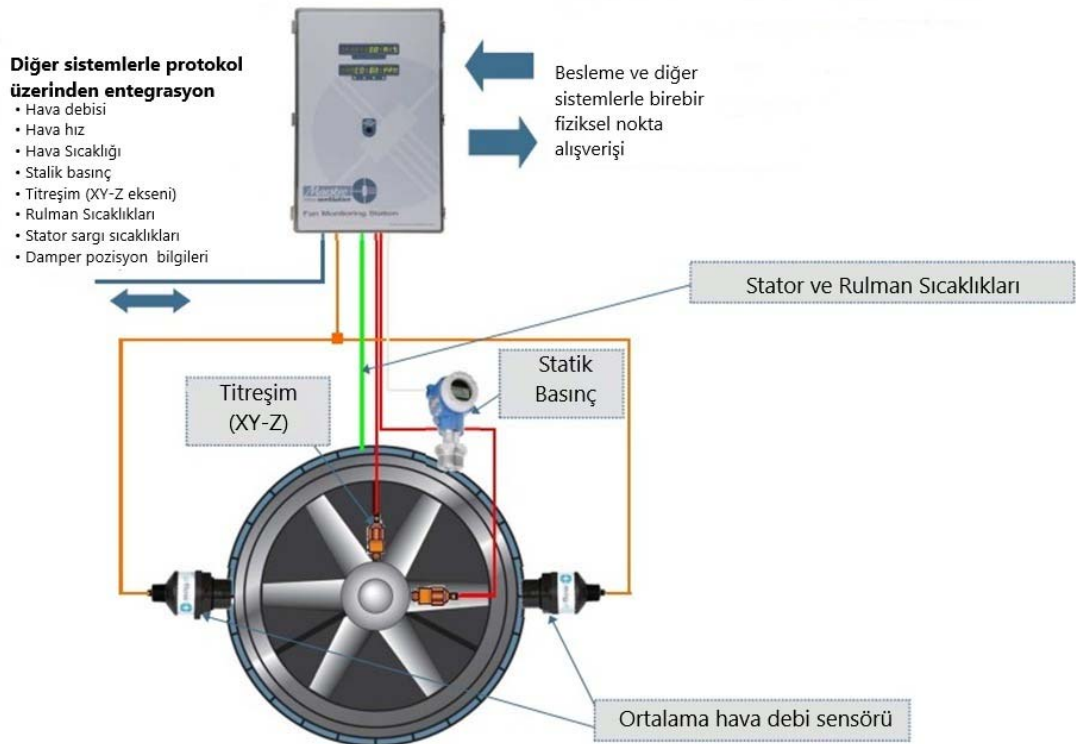
Te: Eşdeğer Sıcaklık (C),

Td: Kuru termometre sıcaklığı (C),

Tw: Yaş termometre sıcaklığı (C),

v: Hava hızı (m/s)

#### 5.4.1. Fan İzleme ve Kontrol Sistemi



Şekil-13 Ana fan tipik izleme ve kontrol sistemi ve noktalarından bazıları [31]

#### 5.4.2. Ultrasonik Hava Akışı Ölçer

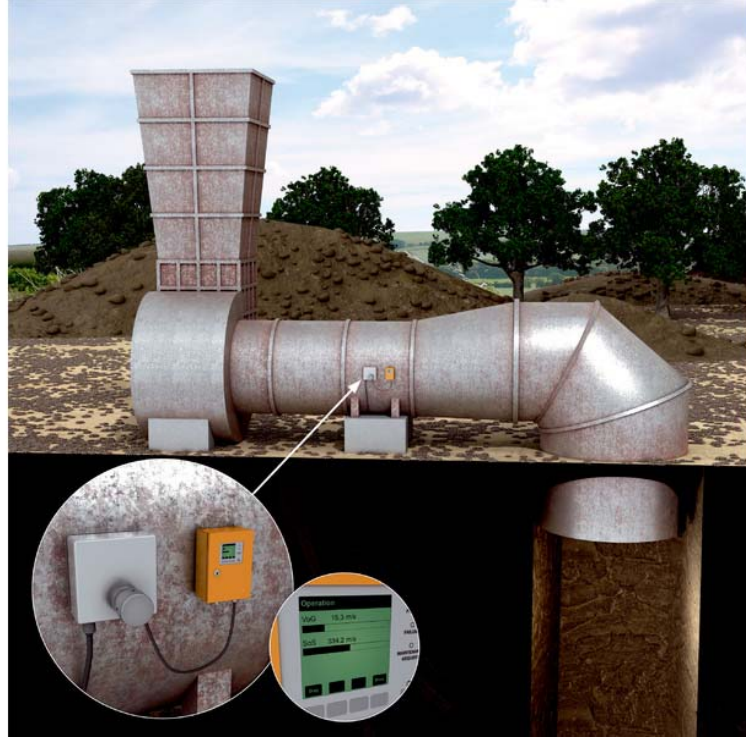
Havalandırma sistemlerinde hava akışını ölçmek için çeşitli metotlar vardır. Pitot tüp, anemometre, sıcak tel prensibi ile ölçer gibi metotlara göre gerek ortalama ölçebilmesi gerekse de montaj kolaylığı ve ölçüm doğruluğu gibi nedenlerden dolayı maden havalandırma sistemlerinde ultrasonik ölçüm prensibiyle çalışan hava akış ölçüm sistemleri fanlarda, kanallarda ve şaftlarda hava hızı ölçüp debi hesaplamak için sıklıkla tercih edilmektedir.

Ultrasonik akış ölçerler, ultrasonik dalgalar kullanarak hava akışını ölçer. Bir ses dalgasının bir ortamda yayılma hızına sesin hızı denir. Ultrasonik sensörler, bir sensörden bir tünel veya kanalın kesiti boyunca bir sinyal gönderecek ve diğer uçtaki bir sensör tarafından alınacak şekilde düzenlenebilir. İki sensör kesite açılı olarak konumlandırılırsa, ses dalgası hava akışından etkilenir. Örneğin, bir sensörden bir sinyal gönderilirse ve hava akış yönü boyunca bir sonraki sensöre hareket ederse, sensörün bu sinyali alma süresi, sinyalin hava akış yönünün tersine gönderilmesinden daha kısa olacaktır. Biri hava akışına ve diğeri hava akışına karşı olmak üzere iki sinyal göndererek, iki sinyal arasındaki zaman farkına göre hava akışının hızı hesaplanabilir. Bu ölçüm işlemi sırasında hava sıcaklığı sabit kaldığı için zaman farkı hava hızı ile doğru orantılı olacaktır.

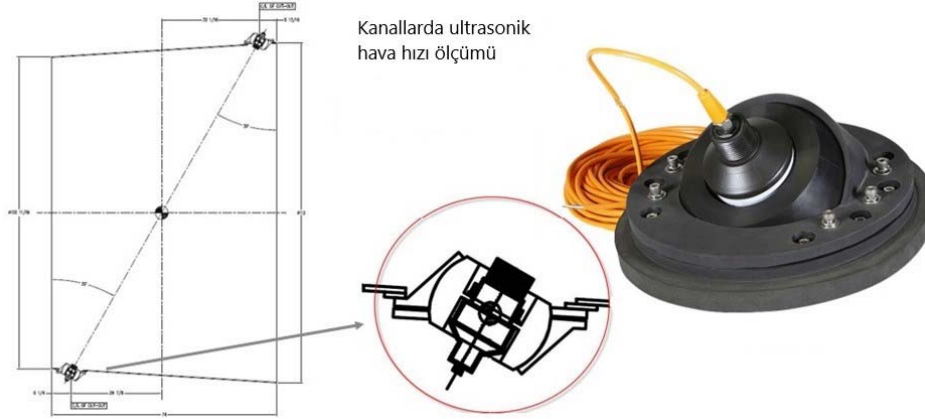
Ortalama hava hızı ölçülünce, ilgili kesit ile çarpılarak debi değer elde edilmiş olur. Ultrasonik hava hızı ölçer cihazlar oldukça geniş kesitlerde başarıyla ölçüm yapabilmektedir. 0,25 mt ila 35 mt ye kadar genişliği olan kesitlerde ölçüm yapılabilmektedir. Hız ölçüm aralığına örnek olarak -40 m/s ila + 40 m/s aralığı verilebilir.



**Şekil-14.** Madende galeride ultrasonik hava akışı ölçüm sistemi [32]



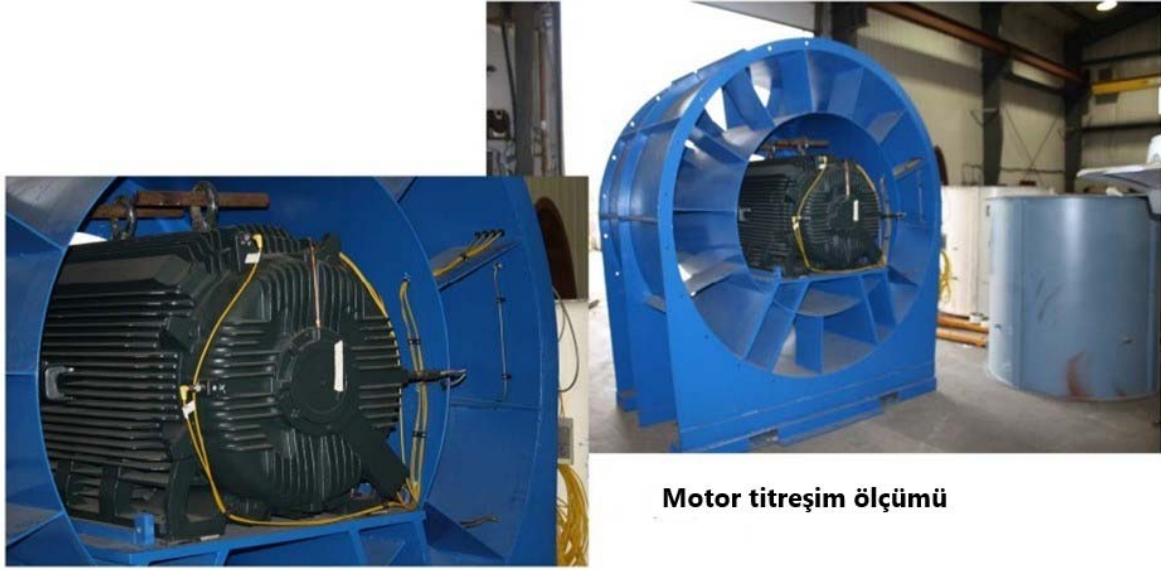
Şekil-15 Maden ana fanlarında ultrasonik hava akışı ölçümü [30]



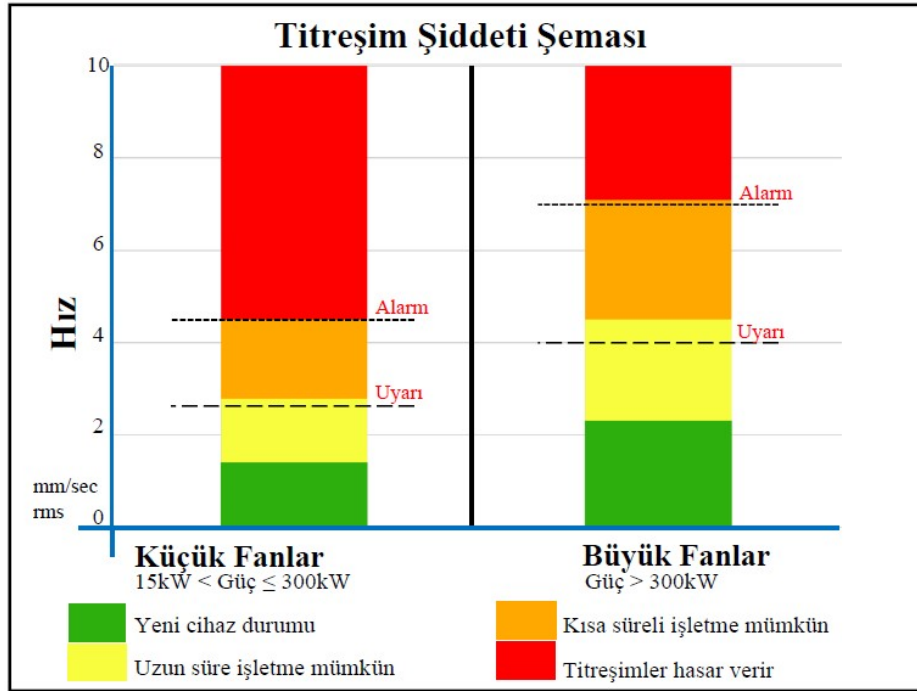
Şekil-16 Kanal tipi ultrasonik hava akış ölçer [31]

#### 5.4.3. Fan Titreşim Ölçümü

Fan motorunda ve rulmanlarında yatay, düşey veya üç eksenli titreşim ölçmek vasıtasıyla fan motorunun ve fan mekanizmasının sıhhatli çalışmasıyla ilgili izlenim edinilir. Havalandırmayı sekteye uğratabilecek fan arızalarını önleyip kesintisiz faaliyet imkanını hep mümkün kılmak için önemlidir. Titreşim bilgileri otomasyon sistemi tarafından sürekli izlenip kaydedilir. Titreşim değerleri belirlenen eşik değerlerine göre değerlendirilerek otomasyon sistemi üzerinden işletme uyarılır. Gerekli müdahale işletme tarafında zamanında sağlanmış olur.

**Motor titreşim ölçümü****Şekil-17** Fan motor titreşim sensörleri [31]

Fan başına 6 noktadan titreşim ölçülmesi tavsiye edilmektedir. İki tane fan sabit yatağına, bir tane fan gezer yatağına, bir tane motorun mil çıkan tarafına, iki tane ise motorun diğer ucuna takılarak fan titreşimleri izlenir.

**Şekil-18** Fan motor alarm seviyeleri [36]

#### 5.4.4. Fan Sıcaklık Ölçümü

Fanlar tarafından yönlendirilen havanın sıcaklığı, fan motoru stator sargı sıcaklığı, yatak rulman sıcaklığı gibi bilgiler havalandırma otomasyon sistemi tarafından izlenir. Genellikle RTD (Pt100) tipinde sıcaklıkla

##### Sıcaklık izleme

- Fan kanal havası
- Stator sargıları
- Fan motor rulmanları



Şekil-19 Fan sıcaklık sensörleri [31]

birlikte dirençleri değişen, pasif sinyal (ohm) veren sensörler kullanılmaktadır. Kablo veya kanal tip olarak kullanılırlar. Soğuk iklimdeki madenlerde donma önleme amaçlı, sıcak iklimdeki madenlerde soğutma amaçlı maden yüzey veriş havası sıcaklık kontrolü yapılabilir. Ayrıca fan elektrik motorunun ve rulmanların (yatakların) sıcaklıkları otomasyon tarafından izlenerek fiziksel arızaların erkenden fark edilmesi ve sistemi durduracak kesintilerin önlenmesi sağlanmış olur. Genelde sıcaklık sensörleri ölçüm aralığı 0-250 C dir. Normal şartlarda yataklardaki sıcaklığın 85 C den az olması istenir. Yatakların ısınması motor ömrünü olumsuz etkiler.

#### 5.4.5. Statik Basınç Sensörü

Maden havalandırmalarında fanların basınçlandırmalarını ölçmek için kullanılır. Genelde 0-6kPa ölçüm aralığında ve oransal sinyal (0-10Vdc, 4-20mA vb.) veya haberleşme üzerinden doğrudan veya atmosfer izleme sisteminden dolayı olarak havalandırma otomasyon sistemine bağlanırlar.



Şekil-20 Statik basınç sensörü [31]

### 5.5. Dünyada Yasal Mevzuat

Dünyada birçok ülkede güvenlik ve yönetmelikleri ve kılavuzları doğrultusunda madenlerde gaz seviyesi izleme mecburiyeti vardır.

Batı Avustralya'da 1995 yılı maden güvenliği ve denetleme yönetmeliği doğrultusunda zehirli, boğucu ve patlayıcı gazların izlenmesi ve kontrol edilmesi için gerekli önlemlerin alınması mecburi kılınmıştır. İngiltere'de 2014 yılı Madenler Sağlık ve Güvenlik Yürütme Yönetmeliği doğrultusunda madenlerde gaz seviyelerinin izlenmesi ve maden havalandırması ile ilgili gerekli önlemlerden bahsedilmektedir.

Kanada'da 2021 yılı Kömür madeni iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği doğrultusunda kömür madenlerinde solunabilir toz miktar limitleri, zehirli ve patlayıcı gaz limitleri, oksijen ve karbondioksit gaz limitleri ve bunlara yönelik havalandırma ile ilgili önlemlerden bahsedilmektedir.

ABD'de 2023 yılı 30 CFR Part 1-199 Maden Güvenliği ve Sağlığı İdaresi yönetmeliği doğrultusunda madenlerdeki zehirli, boğucu, radyoaktif ve patlayıcı gazların yönetilmesi, havalandırma yöntemleri konusunda gerekliliklerden bahsedilmektedir. 1872 tarihli Genel Madencilik Yasası, ABD'de federal topraklarda tespit edilebilir mineralleri yöneten birincil yasadır. Madencilik ortamlarındaki tehlikeli gaz güvenliğinin sağlanması açısından, yasa, bir maden işletmesi her bir yer altı madenci grubuna ve yalnız çalışan her bir kişiye metan, oksijen ve karbon monoksiti ölçmek için MSHA onaylı, el tipi, çoklu gaz dedektörü sağlanmasını gerektirir. ABD yasa ayrıca, her bir yer altı madencisi grubundan en az bir nitelikli kişinin ve tek başına çalışanların çoklu gaz dedektörünü kullanmak üzere eğitilmesini şart koşmaktadır. Yasa, tüm ekipmanın da uygun şekilde bakımının yapılmasını ve kalibre edilmesini gerektirmektedir.

### 5.6. Türkiye'de Yasal Mevzuat ve Ocak Atmosferi Sınır Değerleri

Türkiye'de 19.09.2013 tarihli 28770 sayılı Resmî Gazete 'de yayınlanan maden işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği doğrultusunda sağlığa zararlı ve patlayıcı gazların ölçülmesi, izlenmesi ve madenlerin havalandırılması konusundaki tedbirlerden bahsedilmektedir. Bu yönetmeliğe göre maden atmosferi izleme ve havalandırma sistemleri otomasyonu konusunu ilgilendiren maddeler orijinal metninden alınarak aşağıda listelenmiştir:

10.5. Havalandırma bir veya daha fazla mekanik sistemle sağlanır.

10.4. Bütün grizulu ocakların, havalandırma planında tespit edilen istasyonlarında, en geç 10 günde bir gerekli ölçümler yapılır. Hava akımını etkileyecek bir değişikliğin olması durumunda gerekli ölçümler yenilenir. (Ek cümleler: RG-10/3/2015-29291) Ocakta yeterli sayıda kalibre edilmiş seyyar gaz ölçüm cihazları bulundurulur, birbirinden ayrı noktalarda çalışan her ekipte en az bir adet cihaz bulunur. Bu cihazlar metan, karbonmonoksit, oksijen ve hidrojen sülfür gazlarını ölçecek özellikte olur. Bu cihazlarla; sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilen sıklıkta ocağın çalışan bulunan bölgelerinde, baraj önlerinde, hava istasyonlarında ve su ceplerinde ölçümler yapılarak, bu ölçümler havalandırma defterine kaydedilir. Herhangi bir cihazın arızalanması halinde kullanıma hazır yeterli sayıda yedek cihaz bulundurulur.

10.3. Grizulu ocaklarda havalandırma ile ilgili değerler her vardiyada ölçülür, metan gazı ölçümleri bu ölçümlerle beraber yapılır. Havada % 1'den çok metan gazı tespitinde, bu oran % 1'in altına düşünceye kadar ölçümler aralıksız sürdürülür. Üretim ünitelerinden dönüş havası içinde ve üretim yerlerindeki gazların birikebileceği yerlerde metan gazı seviyesi sürekli olarak izlenir. (Ek cümleler: RG-10/3/2015-29291) Merkezi izleme sistemine bağlı sensörler; oksijen, metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür, sıcaklık ve hava hızı değerlerini ölçecek şekilde, sayıları ve yerleri sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilerek yerleştirilir. Ancak, bu sensörler, asgari olarak, ocağın ana hava giriş yolunda, üretim bölgelerinin her birinin temiz hava giriş ve hava dönüş yollarında, hazırlık çalışması yapılan bölgelerin hava dönüş yollarında ve ocağın kirli havasının ocak dışına çıktığı nefesliklerde bulunur. Sensör ölçümleri; farklı ölçüm metotlarıyla doğrulanır. Bu ölçümler sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilen sıklıklara göre yapılır ve havalandırma defterine kaydedilir. Merkezi izleme sistemine bağlı sensörler ile bu sisteme bağlı diğer tamamlayıcı unsurların bakım ve onarımı İş Ekipmanlarının Kullanımında Sağlık ve Güvenlik Şartları Yönetmeliği hükümlerine uygun olması sağlanır.

8.9. Ocağın çeşitli kısımlarında, sıcaklık ve nem oranı düzenli olarak ölçülür. Nem oranı göz önünde bulundurularak hava sıcaklığının sağlığa zararlı düzeye yükselmemesi için gerekli tedbirler alınır. Bu

düzeğe yaklaşıldığında ölçme işlemi her gün gerekli görülecek aralıklarla yapılır ve ölçme sonuçları havalandırma defterine yazılır. Söz konusu şartların sağlık için tehlikeli olması halinde çalışma geçici olarak durdurulur.

8.8. Ana vantilatör ve aspiratörler birbirinden bağımsız iki ayrı enerji kaynağına bağlanır. Bu enerji kaynaklarından birinin durması halinde diğer kaynağın ocak havalandırmasını aksatmayacak en kısa zamanda devreye girmesi sağlanır.

8.4. İnsan ve malzeme taşımada kullanılan kuyularda, lağımlarda, ana nefeslik yollarında, eğimli ve düz yollarda, hava hızı, saniyede 8 metreyi geçmez.

8.5. **(Değişik: RG-10/3/2015-29291)** Havasında %19'dan az oksijen, % 2'den çok metan, % 0.5'ten çok karbondioksit, 50 ppm (%0.005) den çok karbonmonoksit ve diğer tehlikeli gazlar bulunan yerlerde gerekli güvenlik önlemleri alınarak mevcut olan tehlikeyi bertaraf etmek amacıyla önleyici faaliyetler ve kurtarma çalışmaları dışında çalışılmaz. 8 saatlik çalışma için müsaade edilen en yüksek hidrojen sülfür oranı 20 ppm (%0,002)'dir.

8.3. Havalandırma ile ilgili değerler periyodik olarak ölçülür ve ölçüm sonuçları kaydedilir. Havalandırma sisteminin detaylarını kapsayan bir havalandırma planı hazırlanır, periyodik olarak güncellenir ve işyerinde hazır bulundurulur. **(Ek cümleler: RG-10/3/2015-29291)** Ocaktaki hava miktarı; temiz hava giriş yolu ve havanın ayrıldığı bütün kollarda dâhil olacak şekilde, hava ölçüm istasyonları kurularak, gerekli ölçümler yapılmak suretiyle takip edilir. Bu ölçümler sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilen sıklıklara göre yapılır ve havalandırma defterine kaydedilir. Hava hızı her halde 0,5 m/s'den az olamaz

8.2. 8.1 numaralı maddede belirtilen şartların doğal havalandırma ile sağlanamadığı yerlerde, havalandırma bir veya daha fazla mekanik sistemle sağlanır. Havalandırmanın sürekliliğini ve kararlılığını sağlayacak tedbirler alınır. Mekanik havalandırma sistemi kullanılan ocaklarda hava akımı mümkünse doğal hava akımı doğrultusunda yönlendirilir. Havalandırma sistemlerinin devre dışı kalmaması için bu sistemler devamlı surette izlenir ve istenmeyen devre dışı kalmaları bildirecek otomatik alarm sistemi bulunur.

8.1. Çalışma yapılan bütün yer altı işletmelerinde uygun havalandırma sağlanır. Üretime başlamadan önce, her ocakta, uygun bir havalandırma sistemi kurulur. Ocaklarda;

- Sağlığa uygun solunabilir hava sağlanması,
- Ortamdaki patlama riskinin ve solunabilir toz konsantrasyonunun kontrol altında tutulması,
- Kullanılan çalışma yöntemi ve çalışanların fiziki faaliyetleri dikkate alınarak çalışma şartlarına uygun hava özelliklerinin sağlanması ve bu durumun sürdürülebilmesi için sürekli havalandırma yapılması, zorunludur.

7.2. Radyoaktif maden ve minerallerin arama, üretim ve çıkarılmasıyla ilgili çalışmalarda bunların zararlı etkilerini giderici önleyici ya da koruyucu tedbirler alınır.

MADDE 7 – (1) İşveren, patlama ve yangın çıkmasını ve bunların olumsuz etkilerini önlemek üzere, patlayıcı ve sağlığa zararlı ortam havasının oluşmasını önlemek, yapılan işlemlerin doğası gereği patlayıcı ortam oluşmasının önlenmesi mümkün değilse patlayıcı ortamın tutuşmasını önlemek, patlama ve yangın başlangıçlarını tespit etmek, yayılmasını önlemek ve mücadele etmek için yapılan işe uygun tedbirler alır.

5.4.6. **(Değişik: RG-10/3/2015-29291)** Kendiliğinden yanmaya elverişli madenlerde, bekleme barajları dahil olmak üzere gerekli tedbirler alınır. Yangın veya sızdırmazlık bekleme barajları üretimi biten panoların ya da herhangi bir yangın riskine karşı asgari olarak her üretim panosunun alt taban ve üst taban yollarında kurulur, bunlar dışında kurulacak bölgeler sağlık ve güvenlik dokümanında belirlenir. Ocağın ana hava giriş ve çıkışında bir yangın tehlikesine karşı, ocağın giriş ve çıkışını tamamen kapatabilecek miktarda malzeme bulundurulur. Üretimi biten eski imalat ve panolardaki kalıcı bekleme barajları hava sızdırmaz, basınca dayanıklı ve tahrip olmayacak şekilde kurulur ve ocak gazları yönünden sürekli kontrol altında bulundurulur. Bu barajlar, baraj arkalarında oluşabilecek gaz basıncı ve su baskınına karşı dayanımı hesaplanarak kurularak sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilir. Barajların arkasında bulunan oksijen, metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür vb. ocak gazları ile sıcaklık ölçümleri 10 günde bir, değişiklik tespit edilmesi halinde sürekli yapılır ve kayıt altına alınır. Barajların açılmasında gerekli güvenlik tedbirleri alınır. Bu barajlar hazırlanacak olan yer altı çalışma planlarında gösterilir.

5.3.1. Zararlı maddelerin ortam havasına karıştığı veya karışabileceği yerlerde;

- Zararlı maddelerin çıkışının kaynağında engellenmesi,
- Kaynağından emilmesi veya uzaklaştırılması,
- Bu maddelerin ortam havasındaki yoğunluğunun azaltılması,

gibi tedbirler alınarak çalışanların risk altında olması önlenir. Bu tedbirlerle ilgili uygulanan sistem, çalışanların risk altında olmasını önleyecek şekilde ve zararlı maddeleri ortam havasından uzaklaştıracak kapasitede olmalıdır.

5.1.1. Ortam havasında sağlığa zararlı ve/veya patlayıcı maddelerin bulunup bulunmadığının tespit edilmesi ve bu maddelerin konsantrasyonunun ölçülmesi için gerekli tedbirler alınır. Sağlık ve güvenlik dokümanında gerekli görülmesi halinde, elektrikli tesisatlar ve içten patlamalı motorların gücünü otomatik olarak kesen aygıtlar, belirlenmiş yerlerdeki gaz birikimlerini otomatik ve devamlı olarak ölçen kontrol aygıtları ve otomatik alarm sistemleri sağlanır. Otomatik ve mekanik ölçüm sonuçları sağlık ve güvenlik dokümanında öngörüldüğü şekilde kayıt altına alınır ve saklanır.

2.1.6. Yer altı (**Ek ibare:RG-10/3/2015-29291**) kömür ocaklarında kullanılacak ekipman ve tesisatlar ile bu tip madenlerin grizu gazı ve/veya yanıcı tozlar tarafından muhtemel tehlike oluşturabilecek yerüstü tesislerinde kullanılan parçalar 30/12/2006 tarihli ve 26392 4 üncü mükerrer sayılı Resmî Gazete 'de yayımlanan Muhtemel Patlayıcı Ortamda Kullanılan Teçhizat ve Koruyucu Sistemler ile İlgili Yönetmelik (94/9/AT)'te belirtilen I. Grup (**Değişik ibare:RG-10/3/2015-29291**) Teçhizatın uygun kategorisinde olmalıdır.

### 5.7. Dünyada Ocak Atmosferi Sınır Değerleri

GAZ	ACGIH		BOELV / IOELV		OSHA	NIOSH
	TWA (ppm)	STEL(ppm)	TWA (ppm)	STEL(ppm)	PEL(ppm)	IDLH(ppm)
CO	25	-	20	100	50	1200
CO <sub>2</sub>	5000	30000	5000	15000	5000	40000
NH <sub>3</sub>	25	35	20	50	50	300
NO	25	-	25*--> 2	35	25	100
NO <sub>2</sub>	3	5	3*--> 0,5	5*-->1	5	20
H <sub>2</sub> S	10	15	5	10	20	100
SO <sub>2</sub>	2	5	0,5	1	5	100

Tablo-3 Maden gazlarına mesleki maruziyet limitleri. [12]

\*NO<sub>x</sub> limitleri için: AB'deki maden sektöründe 2023 ten sonra ok işaretinden sonraki değerler geçerli olacaktır.

GAZ	Safe Work Australia		RGNBSM	
	TWA (ppm)	STEL(ppm)	TWA (ppm)	Tavan(ppm)
CO	30	-	50	100
CO <sub>2</sub>	5000 (Kömür hariç madenler) 12500 (Kömür madenleri)	30000	5000 (%0,5)	12500 (%1,25)
NO	25	-	10	25
NO <sub>2</sub>	25	-	10	25
H <sub>2</sub> S	10	15	10	50
SO <sub>2</sub>	2	5	5	10
H <sub>2</sub>	-	-	1000 (%0,1)	10000 (%1)
CH <sub>4</sub>	1000	-	15000 (%1,5)	25000 (%2,5)

Tablo-4 Avusturalya ve İspanyol Maden Yönetmeliklerindeki Maruz Kalma Sınırları [12]



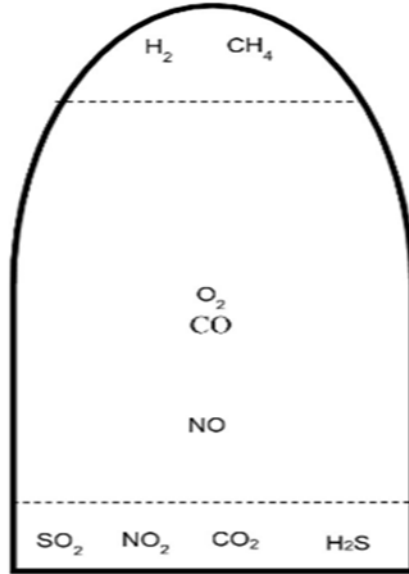
Gaz	Parlayıcı	Patlayıcı	Zehirli	Boğucu	Patlayıcı Limitler LEL%- UEL%
CO	x	x	x	x	12,5- 73
CO <sub>2</sub>				x	
CH <sub>4</sub>	x	x	x	x	5-15
SO			x		
N <sub>2</sub>				x	
NO <sub>x</sub>			x		
H <sub>2</sub> S	x	x	x	x	4,3-46
H <sub>2</sub>	x	x		x	4,1-74
Benzen	x	x			1,3-79

Tablo-5 Maden ocaklarında bulunabilen zararlı gazlar ve patlama limitleri [12]

### 5.8. Gaz Algılama Sensör Montaj Yerleri

Şekil 20'de gösterildiği gibi gaz ölçüm dedektörleri yerleşim yerleri ile ilgili tavsiyeler aşağıdadır:

1. H<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub> havadan daha hafif olduğu için bu gazlara ait dedektörlerin galeri tavanına monte edilmeleri gerekir.
2. SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S ve bazı hidrokarbonlar havadan yoğun oldukları için bu gazlara ait dedektörlerin galerinin alt tarafına monte edilmeleri gerekir.
3. CO ve O<sub>2</sub> dedektörleri yaklaşık insan baş hizasına monte edilir. NO ise havadan küçük bir miktar daha yoğun olduğu için baş hizasından daha aşağıya monte edilir.
4. Sensörler doğrudan taze hava beslemesi olan zonlara monte edilmemelidir. Zira taze hava gazların seyrelmesine ve yanlış ölçülmesine sebep olacaktır.
5. Bunu yerine sensörler gazların birikmesi muhtemel olan yerlere monte edilmelidir. Bu kural yanıcı gazlar için geçerli değildir. Yanıcı gazlar için tam tersi konsantrasyon artmadan (birikmeden) tespit etmek daha doğru olacaktır.
6. Çoğu zaman, spesifik bir gaz ölçülmesinden ziyade, O<sub>2</sub>'nin başka bir gaz tarafından (örneğin N<sub>2</sub>) süpürülmesi önemli bir risk teşkil eder.
7. Zehirli gazlar her zaman ortalama insan baş hizasından izlenmelidir.



Şekil-21 Maden galerisinde değişik gaz sensörleri için yerleşim yerleri [12]

## 6. HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEM TASARIMI

Yer altı madenlerinde kurulacak havalandırma otomasyon sistemleri için yapılacak tasarım için aşağıdaki başlıklarda detaylı çalışma yapılmalıdır. Maden işletmesinin ihtiyacına (ocağın tipine, havalandırma sistemi tasarımına, yasal yönetmeliklere, enerji verimliliği hedefine ve bütçeye) bağlı olarak çalışmalar şekillendirilir. Oluşturulan tasarım paketi, ihale, BİD faaliyeti ve işletme süreçlerini çok yakından etkileyeceği için çok dikkatli ve ihtiyaçlar doğrultusunda hazırlanmalıdır.

### 6.1. Çalışma Senaryoları

Uygulanabilecek bazı sistem çalışma senaryoları aşağıda listelenmiştir:

- Otomasyon sistemi ekranından (sabit bilgisayar, seyyar akıllı cihazlar, seyyar tablet, seyyar bilgisayar) elle müdahale
- Olaya bağlı aksiyon
- VOD ve tipleri
- Fanların eş yaşlandırılması
- Havanın resirkülasyonu (Potas ve tuz madenlerinde)
- Yedekli fanların otomatik asıl yedek değişiminin yapılması
- Bakım zamanı yönetimi (Önleyici, kestirimci, periyodik bakım, atmosfer izleme sistemi ekipmanı kalibrasyonu vb.)
- Fan takip etme; asıl ve tali fanların birbirini takip ederek koordine çalışması
- Sıcaklık kontrolü (hava giriş ana şaftında donma önleme amaçlı propan yakıtlı veya elektrikli ısıtıcı kontrolü veya hava yıkama yoluyla soğutma (çiğ nokta kontrolü)
- Soğutma sistemi kontrolü (chiller plant kontrol): Soğutma kulelerinin dış hava yaş termometre sıcaklığına bağlı olarak çıkış su sıcaklığı ayar değerinin kaydırılması, madenden gelen ısınmış su sıcaklığının ön soğutma kulesi ve (hava yıkamalı) soğutucu ve soğutma grupları vasıtasıyla hedeflenen sıcaklık değerine soğutulmuş su sıcaklığı ayar değerinin kaydırılması, maden ocağında yer alan sulu serpantinli fanlı ünitelere gönderilmesi. Bu süreçte sirkülasyon pompaları değişken debi kontrolü, soğutma gruplarının kulelerin ve pompaların EER değerine göre çalıştırılması, eş yaşlandırma, yedekli çalıştırma
- Yer altındaki soğuk su serpantinli soğutmalı fanların su sıcaklık kontrolü ve debi kontrolü
- Personel veya araç takip sistemine göre havalandırma miktarının ayarlanması
- Patlatma sonucu oluşan zararlı emisyonların miktarına bağlı havalandırma miktarının ayarlanması
- Maden içi havalandırma akış hızının belirlenen sınırlar içinde tutulması (örneğin 0,5 ila 8 m/s)
- Maden içi toz seyreltme havalandırması (örneğin 2 m/s)
- Maden için oksijen miktarının sınır değerinin altına inmeyecek şekilde havalandırma miktarının ayarlanması
- Yangın senaryosuna destek (işletme yangın senaryosu doğrultusunda)
- Maden ortam havası sıcaklık (ısıtma / soğutma) kontrolü
- Maden ana fan kanal sıcaklık kontrolü (temiz hava şaft girişi yaş termometre sıcaklığı 5 C'nin altına düşmeyecek şekilde)
- Maden havasındaki DPM konsantrasyonu sınır değerini aşmayacak şekilde aktif dizel araç bölgelerinde havalandırma miktarını ayarlamak
- Maden havasındaki patlayıcı yanıcı gaz konsantrasyonu sınır değerlerini aşmayacak şekilde ilgili bölgedeki havalandırma miktarını (sabit veya değişken havalandırma hedef değeri hesaplayarak) ayarlamak
- Maden havasındaki zehirli gaz konsantrasyonu sınır değerlerini aşmayacak şekilde ilgili bölgedeki havalandırma miktarını (sabit veya değişken havalandırma hedef değeri hesaplayarak) ayarlamak
- Zaman programı/Zamana bağlı havalandırma (Örneğin vardiya özelliği, patlatma süreci vb.)
- Telemetriye bağlı havalandırma (Personel ve araç takibi)
- Diğer

## 6.2. Nokta Listesi

Sistemde yer alabilecek (giriş/çıkış) bilgi kapsamı aşağıdaki gibi listelenebilir. Belirtilen noktalar birebir fiziksel kablolar yoluyla taşınabildiği gibi endüstriyel standart haberleşme protokolleri üzerinden entegrasyon yoluyla da sistem kapsamında yer alabilir.

### 6.2.1. Ana fanlar için noktalar

- Fan çalışma
- Fan arıza
- Fan Otomatik/ El Modu
- Fan stator U fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator V fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator W fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan ön yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Fan arka yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Maksimum Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Reaktif (kVAR)
- Fan akımı L1,L2,L3 (A)
- Fan gerilimi U1,U2,U3 (A)
- Güç faktörü
- THD
- Frekans
- VFD arıza
- VFD çalışma
- VFD hızı (%)
- VFD kumanda on-off
- VFD kumanda oransal ((0)4-20mA veya (0)2-10 Vdc)
- VFD By-Pass devresi durumu
- Elektrikli Isıtıcı Kumanda
- Elektrikli Isıtıcı Yüksek Sıcaklık Alarmı
- Elektrikli Isıtıcı Hava Akış Bilgisi
- Kanal tipi duman dedektörü alarmı
- Fan Hava Debisi (m<sup>3</sup>/sn)
- Fan Hava Hızı (m/s)
- Fan Kanal Sıcaklık Bilgisi (°C)
- Fan Statik Basınç Bilgisi (Pa)
- Fan çalışma zamanı (saat)
- Fan bakım alarmı
- Fan damper on-off
- Fan backdraft damper pozisyon bilgileri
- Fan giyotin damper on-off
- Fan giyotin damper pozisyon
- Diğer

### 6.2.2. Tali fanlar (besleme, egzoz, takviye amaçlı ikincil, üçüncül fanlar)

- Fan çalışma
- Fan arıza
- Fan Otomatik/ El Modu
- Fan stator U fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator V fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan stator W fazı sargı sıcaklığı (°C)
- Fan ön yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan arka yatak dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru yatay titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan motoru dikey titreşim bilgisi (mm/sn)
- Fan ön yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Fan arka yatak (rulman) sıcaklığı (°C)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Maksimum Fan Elektrik Gücü Aktif (kW)
- Toplam Fan Elektrik Gücü Reaktif (kVAR)
- Fan akımı L1,L2,L3 (A)
- Fan gerilimi U1,U2,U3 (A)
- Güç faktörü
- THD
- Frekans
- VFD arıza
- VFD çalışma
- VFD hızı (%)
- VFD kumanda on-off
- VFD kumanda oransal ((0)4-20mA veya (0)2-10 Vdc)
- VFD By-Pass devresi durumu
- Fan Hava Debisi (m<sup>3</sup>/sn)
- Fan Hava Hızı (m/s)
- Fan Kanal Sıcaklık Bilgisi (°C)
- Fan Basınç Bilgisi (Pa)
- Fan çalışma zamanı (saat)
- Fan bakım alarmı
- Fan kelebek damper oransal kumanda
- Fan kelebek damper pozisyon bilgisi
- Diğer

### 6.2.3. Hava Akışı Ayarlayıcılar

- Kapı kumanda on-off
- Kapı açık-kapalı pozisyon bilgisi
- Kapı oransal kumanda
- Kapı pozisyon bilgisi
- Pencere oransal kumanda
- Pencere pozisyon bilgisi
- Damper oransal kumanda
- Damper pozisyon bilgisi

### 6.2.4. Atmosfer İzleme Sistemi

#### 6.2.4.1. Gazlar

- Karbondioksit (CO<sub>2</sub>): 0- 50,000 ppm veya 0-%5 hacimsel
- Yanıcı gazlar: 0-100% LEL
- Metan (CH<sub>4</sub>): 0-%5 hacimsel.
- Oksijen (O<sub>2</sub>): 0-% 30hacimsel



- Karbonmonoksit (CO): 0-1,000 ppm veya 0-1500 ppm veya 0-2000 ppm veya 0-9999 ppm
- Hidrojen Sülfür (H<sub>2</sub>S): 0-500 ppm
- Azotdioksit (NO<sub>2</sub>): 0-150 ppm
- Azotmonoksit (NO): 0-250 ppm
- Sülfür dioksit (SO<sub>2</sub>): 0-150 ppm
- Hidrojen Klorür (HCL): 0-30 ppm
- Hidrojen Siyanür (HCN): 0-30 ppm
- Amonyak (NH<sub>3</sub>): 0-50/100 ppm
- Radon: 1-1,000,000 Bq/m<sup>3</sup> veya 2-2,000,000 Bq/m<sup>3</sup>

#### 6.2.4.2. Seyyar Ölçülen Aerosoller (Toz, Duman, Sis, Buğu)

- DPM ve Silika (PM<sub>1</sub>, PM<sub>2,5</sub>, PM<sub>10</sub> ve 0,8 µm DPM): 0,001- 100 mg/m<sup>3</sup> (konsantrasyon ölçüm aralığı) 0.1- 10 µm (ölçülebilen partikül boyut aralığı)

#### 6.2.5. Telemetri (Personel ve İş Makinası İzleme) Sistemi

##### 6.2.5.1. Personel takip

- Personel kimlik no
- Personel konum bilgisi
- Zaman
- Tarih

##### 6.2.5.2. Araç takip

- Araç kimlik no
- Araç konum bilgisi
- Araç çalışma durumu
- Zaman
- Tarih

#### 6.3. Ayar Parametreleri

##### 6.3.1. Genel Liste

- Tüm izlenen zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazların sınır değerleri
- İlgili maden ocağındaki çevresel şartlara (eşdeğer sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç) ait sınır değerleri
- Yedekli fanların eş yaşlandırma süreleri
- VFD ünitelerin alt ve üst hız ayar değerleri
- VFD ünitelerin rampa zamanları
- Damperlerin çalışma modlarına göre almaları gereken pozisyonları (Örneğin üretim, aktarma, patlatma var, patlatma yok)
- Fanların çalışma modlarına göre debi değerleri (Örneğin üretim, aktarma)
- Dizel araçların tiplerine göre gereken havalandırma miktarları
- Çalışan başına havalandırma miktarı
- Toz seyreltme için gereken optimum hava hızı
- Patlatma sonucu oluşan zararlı gaz seyreltmesi için havalandırma miktarı
- Elektrikli ısıtıcı yüksek sıcaklık alarmı sınır değeri
- Maden ocağı soğutma sistemi su sıcaklık ayar değerleri
- Maden ocağı ısıtma sistemi hava sıcaklık ayar değeri
- Diğer



### 6.3.2. Yer altı maden ocaklarında yapılan havalandırma sistemi ayar değerleri için spesifik bilgiler

#### 6.3.2.1. Cevher çıkartma bölgesinde gerekli hava akışı

##### 6.3.2.1.1. Cevher çıkaran madencilerin solunumu için gereken minimum hava miktarları

Bağımsız galeride bulunan maden işçisi başına 40 litre/sn (RGNBSM-ITC 04.7.01)

Dolayısıyla ilgili bölge minimum hava debisi: ilgili bölgede bulunabilecek (en kalabalık vardiya) maksimum personel sayısı \* 40 lt/sn olarak hesaplanabilir.

##### 6.3.2.1.2. Gazların düzenleyici minimum hızda dönmesi için gereken minimum hava akış hızı

Patlayıcı kullanılan madenlerde minimum hava hızı 0,2 m/s olarak uygulanmaktadır. (RGNBSM-ITC 05.0.01)

Kömür madeni galerilerinde minimum hava hızı 0,3 m/s olarak uygulanmaktadır. (RGNBSM-ITC 04.7.01)

Minimum hava hızı kesit ile çarpılırsa minimum hava akış miktarı hesaplanabilir.

##### 6.3.2.1.3. Dizel egzoz gazlarını seyreltmek için gerekli minimum hava debisi

Bertard ve Bodelle yaklaşımına göre, CO ve NOx konsantrasyonlarını kabul edilir seviyelere düşürecek minimum hava debisi (Qm) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$Qm (m3/s) = F * (10000 * CO + 40000 * NOx)$$

F: Dizel egzoz gazı debisi (m3/s)

CO: CO gazı konsantrasyonunun toplam egzoz gazlarına oranı

NOx: NOx gazı konsantrasyonunun toplam egzoz gazlarına oranı

Çeşitli ülke yönetmeliklerine göre aşağıdaki gibi ifade edilmektedir, değerler minimum olarak kabul edilmelidir:

Avustralya: 0,06 m3/sn x Motor gücü (kW)

Kanada: 0,045- 0,092 m3/sn x Motor gücü (kW)

Şili: 0,063 m3/sn x Motor gücü (kW)

Güney Afrika: 0,063 m3/sn x Motor gücü (kW)

İspanya: 0,066 m3/sn x Motor gücü (kW) (RGNBSM-ITC 04.7.02)

ABD: İlgili alanda DPM konsantrasyonunu 800 mikro gr. / m3 TC yapan debi (MSHA)

Öte yandan, konuyla ilgili günümüzde giderek yaygınlaşan Egzoz Kalite Endeksi (EQI) olarak adlandırılan bir başka yaklaşım daha vardır. EQI değerini 3'ün altına indirecek hava miktarı madenlerde havalandırma değeri olarak kullanılmaktadır. EQI formülü aşağıda verilmiştir:

$$EQI = CO/50 + NO/25 + DPM/2 + 1,5*(SO2/3 + DPM/2) + 1,2*(NO2/3 + DPM/2)$$

DPM (mg/m3)

CO, NO, SO2, NO2 (ppm)

##### 6.3.2.1.4. Patlatma sonrası oluşan zararlı gazları seyreltmek için gereken hava debisi

Patlatma sonrası oluşan zararlı gazlardan en tehlikeli ikisi NO2 ve CO dur. Bazı Avrupa ülkelerinde bu iki gaz dikkate alınarak patlatma sonrası oluşan zararlı gaz atmosferi ile ilgili zehirlilik endeksi hesaplanmaktadır. Bu endeks RGTI'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$Lco = CO + 6,5 * NOx$$

CO: Birim kütle (kg) patlayıcı sonucu oluşan CO hacmi – litre

NOx: Birim kütle (kg) patlayıcı sonucu oluşan NOx hacmi – litre

Patlayıcı	Birim patlayıcı kütesine (kg) bağlı gaz hacmi (litre)					
	CO <sub>2</sub>	CO	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO+6.5*NO <sub>x</sub> Genel bağlı zehirlilik değeri
Ammonite 1	145.15	5.87	3.58	1.15	4.74	36.65
Ammonite 2	110.22	2.63	0.77	0.56	1.22	10.56
Dynamite 1	167.45	5.93	0.92	0.07	0.99	12.38
Dynamite 2	181.60	4.37	2.61	4.50	0.64	8.53
Dynamite 3	185.12	4.58	1.89	0.11	2.00	17.59
Dynamite 4	171.53	1.56	5.49	0.46	5.96	40.31
MWE 1	109.34	21.85	0.62	0.06	0.68	26.28
MWE 2	123.72	21.43	1.09	0.06	1.15	28.90
MWE 3	105.26	21.43	0.38	0.02	0.40	24.03
Methanite 1	91.85	9.29	3.69	0.16	3.86	34.35

**Tablo-6** Farklı patlayıcıların ürettiği gaz hacim değerleri, genel bağlı zehirlilik değeri (CO+6,5\*NO<sub>x</sub>). [12]

Gaz	Birim kg ANFO karşılığında oluşan gaz kütesi (kg)	Gaz Yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	Birim kg ANFO karşılığında oluşan gaz hacmi (m <sup>3</sup> )
CO	0,0163	1,25	0,01304
CO <sub>2</sub>	0,1639	1,977	0,0829
NO <sub>2</sub>	0,0035	1,36	0,0026

**Tablo-7** Birim kütle ANFO patlatmasında oluşan zararlı gazların kütle ve hacimleri [12]

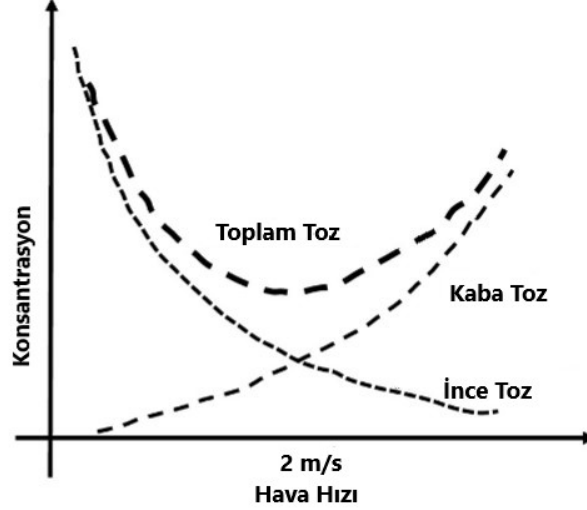
ANFO, birçok maden işletmesinde en çok tercih edilen patlayıcı olduğu için havalandırma hesaplarında ana referans olarak kabul edilir. Avustralyalı patlatma mühendislerinin kullandığı değerler Tablo-7'de gösterilmiştir.

ABD'de MSHA, yer altı kömür madenlerinde veya gaz sızdıran madenlerde izin verilen patlayıcıların üretebileceği gaz miktarını (kg patlayıcı başına) 156 litre CO eşdeğeri ile sınırlamıştır. AB standartı EN13631 ise maden patlayıcılarının üreteceği gazlar ile ilgili bir sınır getirmemiş, bu görevi birlik üyesi ülkelerin ulusal standartlarına bırakmıştır. Buna örnek vermek gerekirse, Polonya'da madenlerde kullanılan patlayıcılar birim kg başına 0,016 m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> ve 0,027 m<sup>3</sup> CO gaz hacmi ile sınırlıdır. Belçika, Slovakya, Fransa ve Çek Cumhuriyeti'nde kg patlayıcı başına 0,05 m<sup>3</sup> toplam gaz hacmine izin verilmektedir.

Solunabilir kadar küçük boyutlu partiküller olağanüstü yavaş çökelirler. Bu yüzden seyreltme hesaplarında gaz olarak düşünülebilirler. Bu toz partiküllerinin havadaki konsantrasyonunu azaltmanın yolu uygulanan hava debisi miktarıdır. Büyük partiküller çökelmeye meyilli olsalar da hava hızının yüksek olması havadaki konsantrasyonlarını korumalarına sebep olur. Hava hızı ne kadar yüksek olursa, havada asılı partikül sayısı o kadar çok olacaktır.

Yere çökelmiş partikülleri havaya kaldırmamak için galerilerde ve cevher çıkarma alanlarında hava hızının üstten sınırlanması gerekmektedir. Genel amaçlı olarak bu hız limiti 8 m/s civarlarında tutulur.

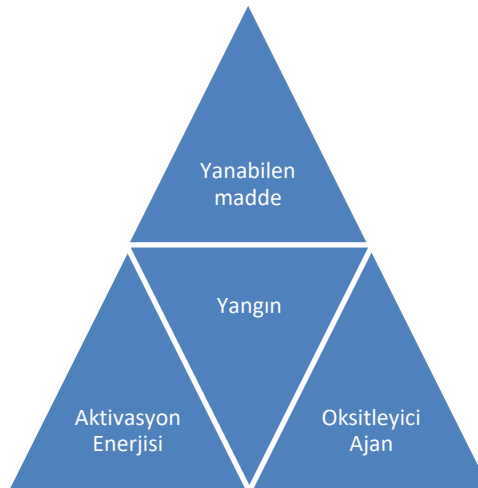
Aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi hava hızı arttıkça havada asılı kalan ince partiküllerin konsantrasyonu azalmaya başlamaktadır. Havada asılı toplam toz konsantrasyonu 2 m/s hız civarında minimum değerine ulaşmaktadır. Kalın toz partikülleri madencilere rahatsızlık verse de solunum sistemi için önemli bir risk teşkil etmez.



**Şekil-22** Maden ocağında farklı hava hızlarında bulunan ince, kalın ve toplam toz konsantrasyonu [12]

#### 6.3.2.2. Maden İşletmelerinde Yangın ve Patlama Durumunda Havalandırmanın Rolü

Aktif veya işletilmeyen madenlerde yangınlar ve patlamalar oluşabilir. Kömür yataklarında ani oluşan kendiliğinden tutuşmalar patlamalara sebep olur, çıkan yangınlar söndürülemez ve yıllarca yanmaya devam edebilir. Kömür yatağı yangınları global bir sorundur, çünkü tonlarca CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Hg ve küller toprak ve suyu kirletir. Bu etki o kadar yoğundur ki, dünyadaki fosil yakıt kaynaklı CO<sub>2</sub> emisyonunun %2 ila %3'ü söndürülemeyen kömür madeni yangınlarından kaynaklanmaktadır. Bu etkilere ilave olarak yangın çıkan kömür damarı kalın ise, ilgili bölgedeki yer kabuğu yüzeyinde çöküntü bile meydana gelebilir. OSMRE, 2020 yılı itibarıyla ABD'de tahmini 98 adet kömür yatağı yangının hala sürmekte olduğunu bildirmektedir.



**Şekil-23** Yangın üçgeni

Havalandırma sistemi oksijeni sağladığı için ve yanıcı, parlayıcı gaz veya buhar konsantrasyonlarını azaltabildiği için maden ocaklarında yangın ile mücadelede oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Öte yandan maden havalandırma sistemi mesela fanlar gereken durumlarda patlayıcı atmosferlerde çalışabilecek yapıda olmalıdırlar (EN 1127-2: 2014). Aynı standart ülkemizde "Patlayıcı ortamlar-



*Patlamayı önleme ve korunma- bölüm 2: Madencilikte temel kavramlar ve metodoloji* başlığıyla TS EN 1127-2:2014 olarak yürürlüktedir.

Madenlerde patlayıcı atmosfere uygun ekipman seçimi ile ilgili referans dokümanı 2014/ EU-ATEX direktifidir. Benzer direktif ülkemizde “*muhtemel patlayıcı ortamda kullanılan teçhizat ve koruyucu sistemler*” ile ilgili yönetmelik (2014/34/ab) olarak yürürlüktedir.

Galeri veya tünelde yangın oluşması durumunda dumanın tahliye yönünün tersine hareket ettirilmesi önemlidir. Yetersiz havalandırmaya bağlı olarak dumanın geriye doğru tabakalaşması ve tahliye yönünde hareket etmesi tahliyeyi olumsuz yönde etkileyecektir. Bu sorun yeterli miktarda taze hava besleme ile çözülebilir ki bu durumda beslenecek hava belirli bir hızdan daha düşük olmamalıdır (NFPA 502:2020).

Yer altı madenlerinde sorumlu disiplinlerin hazırladığı yangın senaryosu doğrultusunda havalandırma sistemine otomasyon üzerinden ve/veya elle müdahale yoluyla yangın ile mücadele edilir.

#### 6.4. Alarmlar

- Tüm izlenen zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazların aşılın sınırlar değeri
- Tüm izlenen, ölçülen aerosollerin aşılın sınırlar değeri
- Yangın Alarmları
- Patlatma Alarmları
- İlgili maden ocağındaki çevresel şartlara (eşdeğer sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç) ait sınırlar değeri aşılması
- Otomasyon Pano hacimleri sıcaklık alarmı
- MCC Pano hacimleri sıcaklık alarmı
- Jeneratör odası sıcaklık alarmı
- Jeneratör havalandırma sistemi arıza
- UPS Odası sıcaklık alarmı
- Trafo mahal sıcaklık alarmı
- VFD ünitelere ait alarmlar
- Fanlara ait alarmlar (titreşim, termik, faz hatası vb.)
- Kanal tipi elektrikli ısıtıcı alarmları (yüksek sıcaklık, duman alarmı, hava akış yok alarmı)
- Orta gerilim, düşük gerilim sistemine ait alarmlar
- Jeneratör sistemine ait alarmlar
- UPS sistemine ait alarmlar
- Yangın Algılama Sistemine ait alarmlar (yangın zon alarmları vb.)
- Yangın Söndürme Sistemine ait alarmlar (Yangın pompa istasyonu alarmları)
- Patlatma durum bilgileri (lokasyon, zaman ve tarih)
- Patlatma sonrası ilgili bölgede belli bir süre sonra ilgili fanların çalışmaması
- Regülatörlerin olmaları gereken konumda olmamaları
- Çalış komutu alan fanların çalışmaması
- Dur komutu alan fanların durmaması
- Açıl komutu alan regülatörlerin açılmaması
- Dur komutu alan regülatörlerin durmaması
- Fanların bakım alarmı (bakım için gereken çalışma saatinin tamamlanması)
- Hareket algılanmasına rağmen tali fan çalışmaması
- Takip sisteminin bilgi vermesine rağmen tali fanın çalışmaması
- Gaz alarmı olmasına rağmen ilgili fanın çalışmaması
- Aerosol alarmı olmasına rağmen ilgili fanın çalışmaması
- Zehirli, boğucu, yanıcı, patlayıcı gazlar ve/veya zararlı aerosol konsantrasyonunun sınırlar değeri üstünde olduğu bölgede işçi varlığı tespit edilmesi
- Maden ocağı soğutma sistemi alarmları
- Maden ocağı ısıtma sistemi alarmları
- Haberleşme alarmları
- Diğer

### 6.5. Trendler

- Tüm bölgelerde izlenen zehirli, boğucu, yanıcı ve patlayıcı gazların ölçülen değerleri
- İlgili maden ocağındaki tüm bölgelerde çevresel şartlara (eşdeğer sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç) ait ölçülen değerler
- Tüm fanların çalışma zamanları
- Tüm fanların arıza durumları
- Tüm fanlara ait ölçülen değerler (elektrik güç, titreşim, sargı sıcaklık, yatak sıcaklık, hava sıcaklık, hava debisi, hava hızı, statik basınç)
- Trend grafiklerinde çoklu parametre ve ilgili parametreye ait sınır değer bulunabilecektir.
- Diğer

### 6.6. Zaman Programı

- Vardiyaların başlama ve bitiş zamanları
- Fanların çalışmaya başlama ve durma zamanları
- Soğutma ve ısıtma sistemi zaman programları
- Fanların farklı çalışma ayar değerlerine geçiş yapacağı zaman dilimleri
- Havalandırma sisteminin farklı çalışma modlarının (vardiya türü) uygulanacağı zaman dilimleri
- Patlatmadan sonra başlanacak tali havalandırma
- Dizel araç tespitinden sonra başlanacak tali havalandırma
- Diğer

### 6.7. Kullanıcı Yetkilendirme

Maden Havalandırma Otomasyon Sistemi kullanıcı yetkilendirme süreci maden işletmesi tarafından karar verilecek bir konudur.

Genel olarak; aşağıda belirtilen dört kullanıcı profili üzerinden yetkilendirme örnek olarak verilebilir:  
Yönetici: Kullanıcı tanımlar, yetkileri ayarlar, şifrelerini belirler. Tüm bilgilere ulaşır, değişiklik yapabilir. Analiz yapar, rapor alır.

Operatör-1: Tüm bilgilere ulaşır, değişiklik yapabilir. Analiz yapar, rapor alır.

Operatör-2: Tüm bilgilere ulaşır, değişiklik yapamaz.

Teknisyen: Belirli bilgilere ulaşır, değişiklik yapamaz.

### 6.8. Sistem Mimarisi, Haberleşme

Sistem telli ve/veya telsiz haberleşme (hibrit de olabilir) üzerine kurulabilir. Genel olarak kullanılan haberleşme protokolleri ve yolları;

PLC düzeyinde: Modbus TCP, Ethernet IP, Profibus, Profinet,

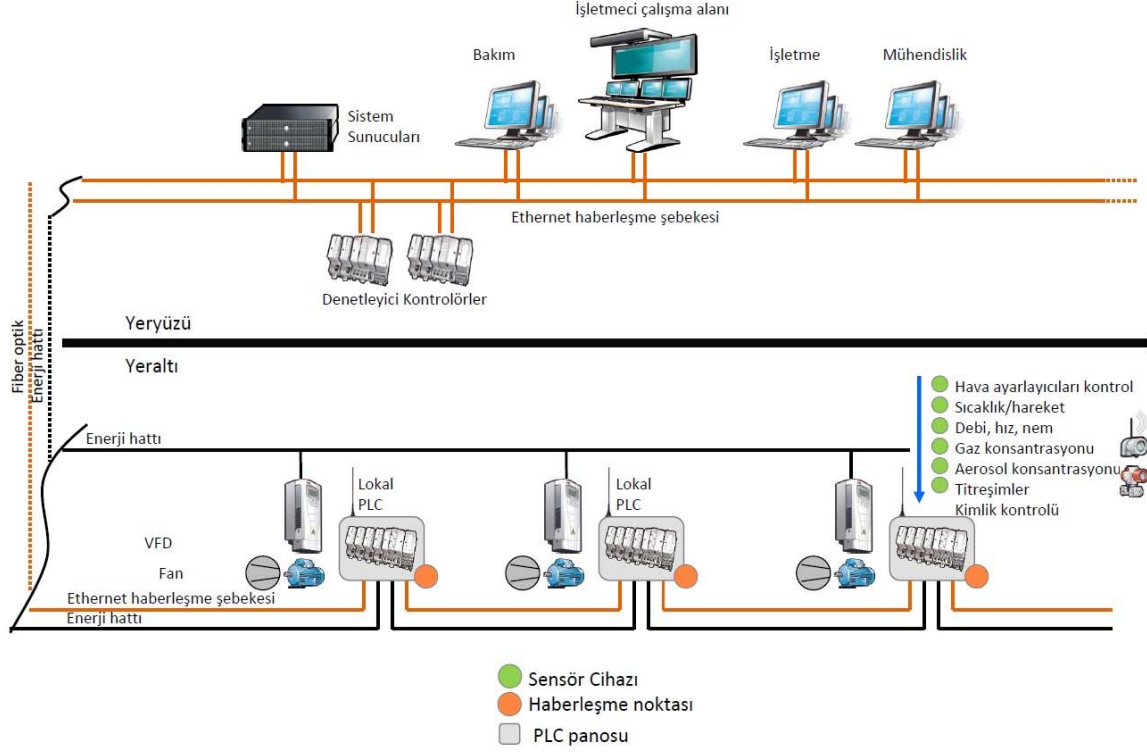
Telemetri (personel ve araç takip) sistemleri için telsiz olarak: Wifi, 5G, 4G, RFID, GPS, Zigbee

Yazılım düzeyinde: OPC, OPC UA, Web Servisleri (REST, SOAP), Wifi, 5G, 4G,

Şekil 23'te de görüleceği üzere, havalandırma otomasyon sisteminin yer altı ve yer üstündeki haberleşme hatları bileşenleri sistem mimarisi projesinde şematik olarak detaylı gösterilir. Bu proje, sistemin en önemli altyapısını tariflediği için dikkatli ve maden ocağı fiziksel yapısı dikkate alınarak üretilmelidir. Bu projede aşağıdaki bilgiler yer alır;

- Haberleşme ağı yapısı (telli, telsiz, kablo tipi, haberleşme protokolleri, ağ ekipmanı, kanal sayıları, arayüzler, diğer sistemlerin entegrasyon arayüzleri, ağ tipleri, yedekli donanım, yedekli haberleşme ağı, haberleşme ağında kullanılacak donanım etiket no bilgileri)
- Otomasyon panoları (her otomasyon panosunda yer alan PLC ünite listesi, otomasyon panoları kapsamındaki alt sistemlerin listesi (örneğin ACP-1 de yer alan tali fan ve motorlu damper vb.), otomasyon pano etiket isimleri)
- Sistemde kullanılacak IP adres sayısı ve yedek sayısı
- Otomasyon panolarında kullanılan ve yedek fiziksel nokta sayısı bilgileri
- Yazılım kullanılan adres ve kullanılmayan yedek adres sayısı bilgileri
- Projede gösterilen tüm ekipmanın yerleşim bilgisi, üretici model no ve cihaz etiket no gibi bilgileri

- Yazılıma erişim yapma metodu (telli, telsiz) ve erişim yapacak terminallerin tipi (seyyar, sabit), buldukları mahal bilgisi, terminallere yüklenecek yazılım listesi, yazıcı, ağ anahtarı, ağ yönlendiricisi (router) gibi ekipman üretici model numaraları ile projeye işlenmelidir.



Şekil-24 Akıllı (adaptif) havalandırma sistemi haberleşme mimarisine örnek [32]

## 6.9. Saha Elemanları

Sahada kullanılacak tüm sensörler, motorlu hava ayarlayıcılar için adetli keşif listesi üretilmelidir.

## 6.10. Entegrasyon

Günümüzde maden havalandırma ve atmosfer izleme sistem bilgileri üçüncü parti sistemlere/yazılımlara kolayca entegre olabilmektedir. Entegrasyon yoluyla maden işletmesindeki diğer kontrol sistemleri genel bir çatı altında toplanır ve tesis yönetimi verimi artar. Haberleşme yoluyla entegrasyon, birebir fiziksel kablolar yoluyla bilgi alışverişine göre daha ekonomik, daha hızlı ve esnekler.

Tüm sistemde en genel anlamda havalandırma sisteminde ve diğer sistemlerle entegrasyon için kullanılabilen telli,telsiz endüstri standart haberleşme protokollerine ve yollarına Modbus TCP, Ethernet/IP, Profibus, Profinet, Wifi, 5G, 4G, RFID, GPS, Zigbee, OPC, OPC UA, Webservisleri (REST, SOAP) uygulamaları örnek olarak verilebilir.

Maden havalandırma otomasyon sistemleri çatısı altına entegre olabilecek sistemler:

- GIS (Geographic Information System- Coğrafik bilgi sistemi)
- Atmosfer İzleme Sistemi,
- Yangın Algılama Sistemi
- Sıcaklık ve Debi Kontrol Sistemi
- Soğutma Sistemi (Chiller plant control system)
- Isıtma Sistemi (Main fan air heating system)
- Gaz Algılama Sistemi
- Personel ve Araç takip sistemi (Telemetry)
- Havalandırma Modelleme ve Simülasyon Yazılımı
- Tesis Bakım Yönetim Sistemi

- CFD Analizi
- Elektrik Enerjisi Yönetim Sistemi
- VFD
- Diğer

Sonuç olarak maden havalandırma otomasyon sistemi entegrasyon kapsamı bu bölümde netleştirilmelidir. Hangi sistemler entegrasyon kapsamında yer alacak ve hangi bilgiler havalandırma otomasyon sistemi ile nasıl (tek yönlü, çift yönlü) paylaşacak listelenmelidir. Öte yandan Maden havalandırma sistemi de bütünleşmiş maden yönetim sistemi çatısı altına girer. Bütünleşmiş maden yönetim sistemi havalandırma otomasyon sistemi yanısıra, video izleme ve analitik sistemleri, maden proses sistemleri, geçiş kontrol sistemleri, acil haberleşme sistemi gibi diğer sistemleri kapsamına alır.

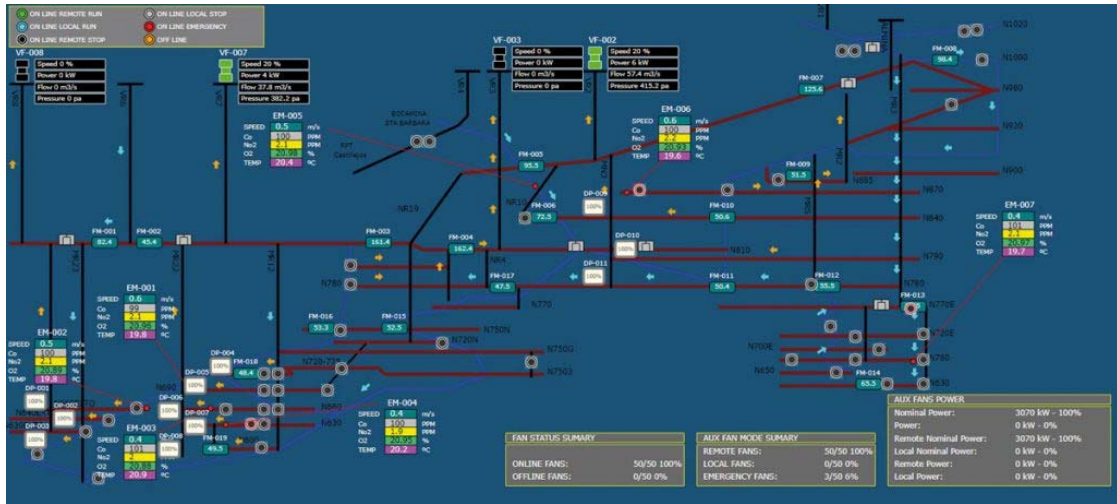
### 6.11. Raporlama

Havalandırma otomasyonu yazılımının otomatik olarak üretebileceği rapor çeşitleri aşağıda örneklendirilmiştir. Sistemin üretebildiği raporların adeti ve içeriği, işletmenin kararına göre şekillendirilir. Bu raporlar istenirse dijital belge olarak arşivlenir, istenirse konsol olarak ilgili kullanıcıya sunulur.

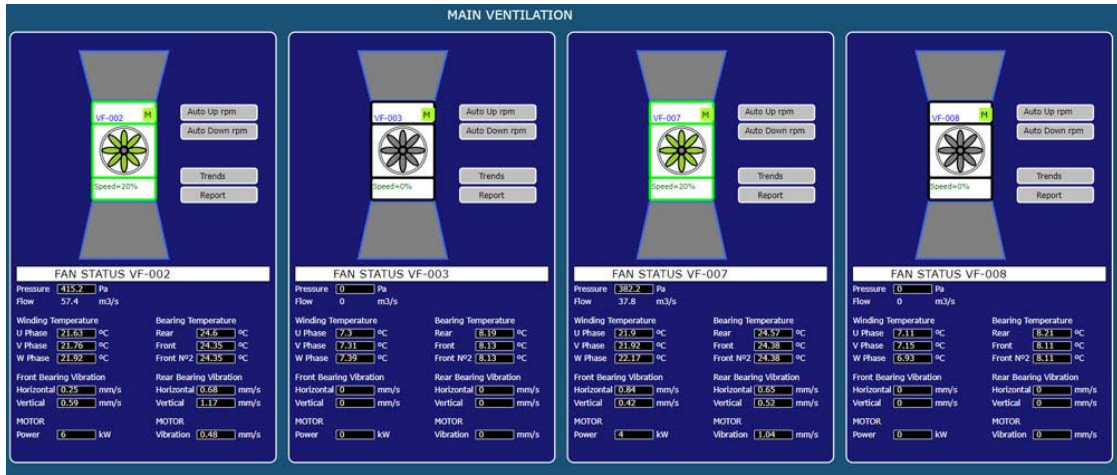
- Fanlara ait genel arıza ve çalışma durum bilgileri,
- Fan el / oto çalışma durumları
- Çalışan fanların toplam fan sayısına oranı
- El konumunda çalışan fan sayısı, Otomasyondan çalışan fan sayısı
- Fan güçleri, fan titreşim bilgileri, fan sargı ve rulman sıcaklıkları
- Maden ocağındaki gaz ve aerosol değerleri
- Maden ocağındaki hava hız, debi, basınç değerleri
- Bakım raporu: Sistemde yer alan cihazların çalışma zamanlarının kümülatif olarak yer aldığı rapor
- Güncel ayar değerleri raporu
- Sistem haberleşme durum raporu: Sistem haberleşmesiyle ilgili bilgiler
- Trafo, jeneratör, kesintisiz güç kaynağı (UPS) ve OG hücreler ile ilgili genel alarm bilgileri
- Maden ocağında havalandırma için gereken toplam elektrik gücü ile harcanan toplam güç
- Cihaz durum raporları: Cihazın çalışma senaryosu doğrultusunda hangi durumda bulunduğunu gösteren raporlar
- Kritik alarm raporu (Onaylanmamış)
- Adres raporları: Sisteme ait noktaların adreslerinin listelendiği rapor.
- Trend raporu: Sisteme ait bilgilerin geçmişe yönelik olarak tekil veya çoklu eğri formatında çizildiği rapor. Bu raporlarda istenilen limit değerlerinin de gösterilmesi gerekmektedir.
- Cebri soğutma sistemi genel arıza ve durum bilgileri, soğutma grubu su gidiş ve dönüş sıcaklıkları, soğutma grubu EER değeri, soğutma kulesi giriş çıkış su sıcaklıkları, dış hava yağ termometre sıcaklığı, soğutma sistemi pompa arıza, çalışma, el-oto pozisyon bilgileri
- Propan veya doğalgazlı ısıtıcı, elektrikli ısıtıcı çalışma, arıza ve sıcaklık bilgileri.
- Diğer

### 6.12. Ekran Resimleri

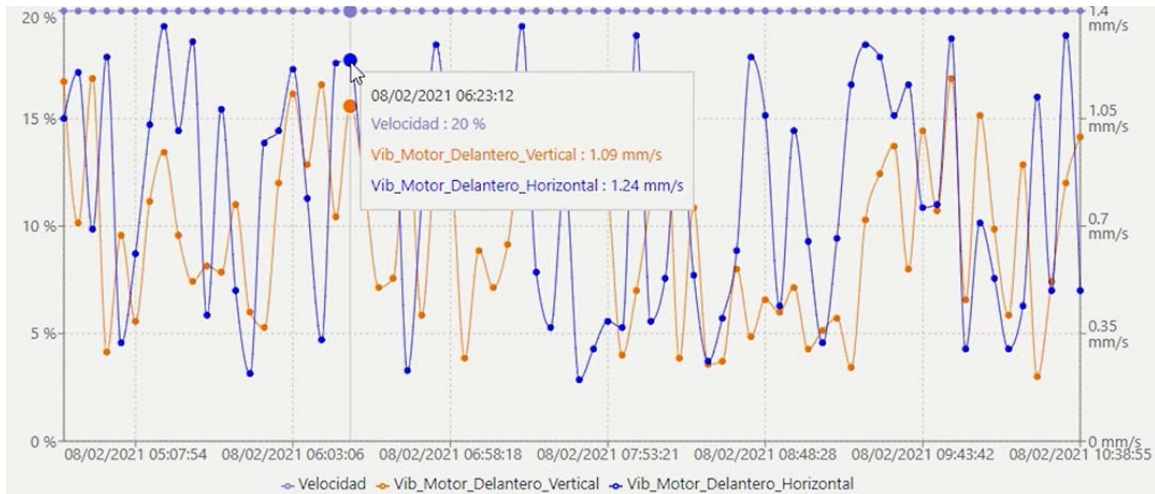
Ekran resimleri temsil ettikleri sistemi görsel olarak en kolay ve yeterli bilgi aktaracak şekilde kullanıcıya aktarabilmelidir. Renkli semboller, renk değişiklikleri, sesli ve hareketli objeler, yeterli seviyede bilgi noktası yoğunluğu ideal ekran resim sayfasında bulunmalıdır. Ekran sayfaları arasında geçiş kolay olmalı, trend, alarm, zaman programı, rapor, analiz, güvenlik gibi yazılım fonksiyonları ekran sayfaları üzerinden kullanıcıya hizmet vermelidir. İşletmenin isteğine bağlı olarak, otomasyon yüklenicisinin acil durumlarda irtibat bilgileri de ayrı bir ekran resminde yer alabilir. Sisteme ait sabit ayar değerleri, önemli işletme notları da yine ekran resmi olarak sistemde yer alabilir. Ekran resimleri maden işletmesinin onayı doğrultusunda son haline getirilmelidir.



Şekil-25 Maden havalandırma otomasyon maden ocağı genel sayfası örnek [29]



Şekil-26 Maden havalandırma otomasyon maden ocağı ana fanlar sayfası örnek [29]



Şekil-27 Maden havalandırma otomasyon maden ocağı ana fanlar titreşim izleme sayfası örnek [29]

### 6.13. Veri Tabanı ve Veri Yedekleme, Arşivleme

Otomasyon sistemine ait veriler otomasyon panolarında yer alan PLC ünitelerde ve arayüzlerde toplanır ve yazılım veri tabanına aktarılır. Yazılım veri tabanına aktarılan veriler fiziksel sunucu bilgisayarlarında veya bulut alanlarında depolanırken paralel bir ortamda yedeklenmesi ve arşivlenmesi akıllı maden havalandırma otomasyon sistemlerinde önemli bir konudur. Gerek verilerin analiz edilerek benzer madenler için modellemede kullanılması, gerekse de ilgili işletmenin yasal mevzuat açısından tutması gereken kayıtları koruma altına almış olması sağlanır. Sonuç olarak yedekleme ve arşivleme fonksiyonları tasarımda yer almalıdır.

## 7. BİD (Belgeleme, İletişim, Doğrulama) Faaliyetleri

### 7.1. BİD Süreci

Yeni kurulmakta olan maden havalandırma otomasyon sistemlerinin işletme beklentilerini karşılayabilmesi için, sırasıyla planlanma, tasarım, uygulama ve işletme fazlarının başarıyla yerine getirildiğinin üçüncü parti bir BİD firması liderliğinde işveren, yükleniciler, tasarımcılar ile doğrulanması ve belgelenmesi gereklidir. Söz konusu başarılı bir sistem için önerilen BİD faaliyetinin adımları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- o Maden ihtiyacını karşılayan planlama üzerinden yapılan tasarım doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Tasarımın ihtiyaçlarını karşılayan malzeme ve sistem temini doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Montaj, Çalışırlık ve Performans gerekliliklerini sağlayan doğru uygulama testleri
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Uygulamaya özel sistem işletme ve bakım kılavuzlarının hazırlanması doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Uygulamaya ve kılavuzlara özel sistem eğitiminin işletmeye verilmesi doğrulaması
- o Tespit edilen sapmaların düzeltilmesinin doğrulanması
- o Sistem işletilmeye başlandıktan sonra belli bir süre sistemin takip edilip işletme ekibi görüşleri ve kayıtlı sistem verileri incelenerek ince ayarlama yapılması,
- o Başından sonuna kadar tüm faaliyetlerin imza altına alınarak güncel olarak belgelenmesi ve işletmeye teslim edilmesi.

Bahsedilen BİD faaliyeti BİD ekibi tarafından yapılır. BİD ekibi maden sahibi, tasarımcılar, yükleniciler, BİD firması ve danışmanlardan oluşmaktadır. Bu ekibin idari amiri maden sahibi iken, ekip lideri ise BİD firmasıdır. BİD faaliyeti BİD firması tarafından hazırlanacak BİD planı hazırlanıp maden sahibine sunulmasıyla başlar. BİD planı; sürecin kapsamını, aşamalarını ve detaylarını, sorumluluk ve belge matrislerini, süreç boyunca yapılacak doğrulama faaliyetlerini, hazırlanacak belgeleri, iletişim ve raporlama araçlarını, ekibi oluşturan disiplinlerin temas bilgilerini, BİD prosesi akış şemasını, BİD iş programını içerir.

Yukarıda sıralanan adımların yerine getirilmesi ile gerçekleştirilen maden havalandırma otomasyon sistemiyle, maden işletmesinde hedeflenen üretim yapılırken mümkün olan üst düzey enerji verimliliği, işçi sağlığı ve iş güvenliği garanti altına alınacaktır. İhtiyacı esnmeden sağlayan maden havalandırma otomasyon sistemlerinin işletmeye kazandıracığı enerji verimliliği otomasyon sistemi ilk yatırım maliyetini kısa bir süre içerisinde amorti edecektir.

İşletme BİD firması ile çalışma sürecini sonuçlandırdıktan sonra kendi içinde kuracağı bir ekip ile kendi BİD faaliyetini devam ettirmelidir. Bu faaliyete sürekli BİD faaliyeti adı verilir. Bu faaliyet maden işletmesinin ömrünün sonuna kadar sürmelidir. Bu süreçte, maden ocağının dinamik karakteristiği doğrultusunda özellikle sistem değişikliği, bakım, ayarlama, kalibrasyon, tazeleme eğitimi, belgeleme gibi işletme sürekliliğini ve etkinliğini koruyacak faaliyetler sağlanır ve kayıt altına alınır.

### 7.2. BİD Süreci Tasarım Aşaması

Maden havalandırma otomasyon sistemleri BİD faaliyeti tasarım doğrulaması için yüklenici tarafından üretilen aşağıdaki tasarım belgelerinin işletme ihtiyacı doğrultusunda kontrol edilmesi ve doğrulanması

gerekir. BİD firması tarafından kontrol yapılır ve sapmalar tespit edilirse raporlanır, işletme tasarrufu doğrultusunda giderilerek tasarım paketi uygulanmak üzere son haline getirilir.

### **Maden Havalandırma Sistemi Tasarım Belgeleri**

- Saha elemanları keşif listesi
- Nokta analizi
- Motorlu hava ayarlayıcı ünite ve fan listesi
- Maden havalandırma prensip şemaları (Saha elemanlarının işaretlendiği şemalar (sembol tanımlamalarını gösteren tablo ile)
- Pano-PLC dağılım tablosu
- Dikey entegrasyon (havalandırma sistemi içinde yer alan alt cihaz ve sistemlerin haberleşme protokolleri yardımıyla havalandırma otomasyon sistemine entegrasyonu. Örneğin Modbus TCP üzerinden VFD entegrasyonu) kapsamı ve nokta detayları
- Yatay entegrasyon (kendine ait otomasyon sistemi olan diğer sistemlerle havalandırma otomasyon sistemi arasında haberleşme protokolleri yardımıyla kurulan entegrasyon. Örneğin gaz algılama sistemi ile havalandırma otomasyon sistemi arasında oluşturulacak entegrasyon veya kapsamı ve nokta detayları
- Sistem mimarisi (Sistem mimarisinde yer alan her haberleşme kanalında o kanal ile ilgili yedek kapasite bilgileri yer alacaktır)
- Veri merkezi cihaz listesi
- Otomasyon kablo listesi
- Otomasyon pano imalat projeleri
- MCC panolarının otomasyona uygun tipik projeleri
- Sistem çalışma senaryoları / genel
- Sistem çalışma senaryoları / ayar parametreleri
- Sistem çalışma senaryoları / enerji verimliliğine yönelik
- Sistem çalışma senaryoları / zaman programı
- Sistem çalışma senaryoları / kullanıcı-sistem erişimi
- Sistem çalışma senaryoları / dikey entegrasyon senaryoları
- Sistemde tanımlanacak alarmlar ve limitleri / alarm yönetimi
- Sistemde tanımlanacak trendler için nokta listesi / trend yönetimi
- Veri yedekleme yönetimi
- Veri saklama ve arşivleme yönetimi

### **7.3. BİD Süreci Uygulama Testleri**

Maden havalandırma otomasyon sistemleri BİD faaliyeti uygulama doğrulaması için aşağıdaki testler için gerekli yapım yöntemi ve ekleri işletme ihtiyacı doğrultusunda hazır edilir ve testler yapım yöntemleri doğrultusunda gerçekleştirilir. Sapmalar tespit edilirse raporlanır ve işletme tasarrufu doğrultusunda giderildiği doğrulanarak sonuçlar imzalı kayıt altına alınır. Test evrakı BİD firması tarafından hazırlanır. Testler BİD firması eşliğinde otomasyon yüklenicisi tarafından yapılır. Testler sırasında kullanılması gereken güncel kalibrasyonlu test cihazları yüklenici tarafından temin edilir ve testlerde kullanılır.

Önce montaj kontrol testleri yapılır, yerleşim, montaj, bağlantı gibi üretici tavsiyeleri doğrultusunda imalatlar kontrol edilir, sapmalar tespit edilip giderilir. Hemen sonra çalıştırma yeterliliği testleri başlatılır, havalandırma otomasyon sisteminde yer alan ekipman, alt ve yan sistemlerin enerjilenmesi, genel çalışma durumları yetkili servisleriyle beraber kontrol listeleri üzerinden doğrulanır. Sapmalar tespit edilip giderildikten sonra çalışma senaryoları üzerinden performans testleri yapılır. Sapmalar tespit edilip raporlanır ve giderildikten sonra işletme için gerekli çalıştırma ve bakım belgeleri tamamlanır, gerekli eğitim süreçleri doğrulanır. Sapmalar giderildikten sonra maden havalandırma otomasyon sistemi işletme kullanımına devredilmiş olur.

### **Saha Testleri (Montaj / Çalışma Yeterliliği / Performans Yeterliliği):**

- Otomasyon sistemi dahilindeki tüm panoların üretici atölyesinde (FAT) testlerinin yapılması
- Saha ekipmanı montaj ve etiket kontrol testi
- Kablo uç ve etiket kontrol testi

- Ayar parametreleri kontrol testi
- Alarm Listesi ve Alarm Geçmişi Kontrol Testi
- Raporlama kontrol testi
- Kullanıcı yetkileri kontrol testi
- Kullanıcı aktivite ve veri kayıt testi
- Trend fonksiyonları kontrol testi yapılması
- PLC üniteleri haberleşme kontrol testi
- Yatay ve dikey entegrasyon haberleşme ve nokta testleri
- Kullanıcı-sistem haberleşme performans testi
- Sunucu yazılımları kurulum kontrol testi
- Yedekleme ve arşivleme yazılımı performans kontrol testi
- Ekran resimleri ve ekran sayfaları ağaç yapısı kontrol testi
- Çalışma senaryoları performans kontrol testi yapılması

Maden işletme kullanımına geçtikten sonra işletmenin yorumları ve mevsimsel testlerden elde edilen sonuçlara göre havalandırma otomasyon sistemine ince ayar yapılabilir. Öte yandan, maden işletme süreci başladıktan sonra maden ocağı fiziksel yapısı ve ona bağılı olarak havalandırma sisteminin değışeceği de gözden kaçırılmamalıdır. Dolayısıyla maden işletilmeye başlamakla birlikte işletmenin kendi BİD sürecini maden ömrü bitene kadar sürdürmesi kesinlikle gereklidir.

## 8. Değışken Frekans Değıştirici Üniteler (VFD)

Maden havalandırma sistemlerinde yer alan alternatif akımla (AC) çalışan fanlarda değışken frekans değıştirici ünitelerin kullanılması değışken debili sistemlere imkân tanır ve bu durum enerji verimliliğı açısından oldukça önemli bir husus olarak karşımıza çıkmaktadır. İhtiyaca bağılı havalandırma senaryolarında önemli bir aktör olan bu üniteler gerek motorların yumuşak kalkmasına gerekse de fan afinite yasaları doğırltusunda elektrik motorlarının daha az akım çekmelerine imkân tanır. Öte yandan, bu ünitelerin temin ve tesisi konusunda dikkatli olunmaz ise özellikle otomasyon haberleşmesini etkileyecek birtakım sorunlar yaşanma ihtimali yüksektir. Dolayısıyla maden havalandırmasında kullanılacak değışken frekans sürücü üniteler ile ilgili aşağıdaki hususlar önemlidir:

- 1- Ünitelerin koruma sınıfları (IP dereceleri) uygulama yerine göre uygun seğıilmelidir. Toza karşı 5 veya 6; su korumasına karşı 4, 5 veya 6 en çok kullanılan sınıflardır. (Örneğın IEC 60721-3-3 Class 3C2)

- 2- Değışken frekans değıştirici ünitelerin fan elektrik motorlarından ayrık olduğu uygulamalarda ünite ile elektrik motoru arasına tesis edilecek enerji kablusunun uzun mesafeli olacağı bir gerçektir. Bu kablunun uzun olması gürültü oluşumuna sebebiyet verecektir. Özellikle harmonik gürültü üretimi haberleşmeleri olumsuz etkileyecektir. Dolayısıyla temin ve tesis edilecek frekans sürücünün lokal gürültü önleyici filtrelere (RFI, EMI vb..) sahip olması, harmonik üretiminin düşük olması oldukça önemlidir. (Örneğın IEC 61800-3 Kategori C3 uyumlu olmaları)

- 3- Ünitelerin az ısınması buldukları elektrik odalarının soğıutulması için harcanacak enerjinin daha az olmasına sebep olacaktır. Ünitelerin yüksek sıcaklığa sahip ortamlarda (örneğın 50 C) bile çalışabilmesi bazı uygulamalarda çok önem kazanmaktadır.

- 4- Ünitelerin endüstri standardı haberleşme protokollerine (Modbus TCP, Profibus, Ethernet/IP vb..) sahip olmaları ilave kablo çekmeden birçok marka kontrol ünitesiyle bilgi alışverişi yapmasını sağılar. Bu durum kablolamada tasarruf ve daha çok bilgi alışverişi anlamına gelmektedir. Modbus TCP, Profibus, Ethernet/IP vb. entegrasyonu yapılan havalandırma otomasyon sistemlerinde ilave cihaz (enerji analizörleri, akım sensörü vb...) kullanılmadan fan elektrik enerji tüketim bilgileri otomasyon sistemine aktarılmış olur. Bu durum işletmeye hem yatırım maliyetinde hem de yerden tasarruf getirir.

- 5- Enerji verimliliğı için yüksek verime sahip değışken frekans değıştirici kullanılması tavsiye edilir.

- 6- Patlayıcı tehlikesi olan ortamlarda kullanılması planlanan ünitelerin ATEX veya IECEx onaylarının olması gerekir.

- 7- Bazı derin maden uygulamalarında OG (orta gerilim) VFD üniteler kullanılmaktadır. Bu üniteler bina sektörünün alışağıeldiğı VFD'lerden farklı olarak 1000 VAC üstü beslemenin frekansını değıştirmekte ve dikili tip pano grupları olarak görev yapmaktadırlar. AG (alçak gerilim) VFD'lere göre çok fazla yer kaplar ve çok daha fazla ısınırlar. Bu ünitelerin yapılarına bağılı olarak hava veya su ile soğıutulmaları gereklidir





Şekil-28 OG VFD ünite [28]



Şekil-29 AG VFD ünite [34]

## 9. MADEN HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEMLERİ BİLEŞENLERİ

### 9.1. Giriş

Maden havalandırma otomasyon sistemi, maden ocağında değişik alanlara dağılmış olarak bulunan havalandırma sistem tesisatlarının ve çevresel izleme sisteminin merkezden kontrolü, denetimi ve gözlemlenmesini üstlenir.

Havalandırma otomasyon sistemi, birbirleriyle iletişim özelliği olan, ancak bağımsız olarak da çalışabilen programlanabilir kontrol cihazları, giriş/çıkış modülleri, arayüzler, bilgisayar sistemi, grafik kullanıcı arabirim yazılımı, havalandırma modelleme ve simülasyon yazılımı, CFD analiz yazılımı, bilgi ekranları, akıllı terminaller, tabletler, yazıcılar ve ağ cihazlarından oluşabilir.

Sistemin mimari tasarımı, kontrol ve alarm bilgilerinin tek bir cihaza bağımlı kalınmaksızın, sistemin herhangi bir cihazından toplanabilmesini sağlayacak yapıdadır. Kendi kontrol işlevlerini gerçekleştiren otomasyon panoları (PLC üniteler), mikroişlemcilerini ve programlarını bünyelerinde bulundurma özelliği ile sistem merkezindeki veya iletişim içerisinde bulunduğu ağdan bağımsız olarak kendi tanımlanmış kontrol işlevlerini, alarm ve diğer fonksiyonlarını yürütmeye devam eder. Sistemlerin merkezindeki, iletişim hatlarındaki veya diğer panoda (PLC ünite) herhangi bir arıza durumunda

bile, otomasyon panosu kendine bağlı tesisleri kontrol etmeğe devam etmelidir. Örneğin cevher işleme yüzündeki tali fan oradaki dizel araç varlığıyla egzoz gazı seyreltmesini kendi PLC panosuyla yapabilmelidir. Hatta, ilgili yüzde cevher bittiğinde hem havalandırma hem de varsa hava soğutma sistemi otomasyon ve kumanda panolarıyla sensörleriyle birlikte toplanıp bir başka aktif yüze kurulabilmektedir. Dağıtılmış akıl mantığı, maden gibi her an olumsuz olay (göçük, yangın vb.) yaşanabilecek bir ortamda telli telsiz haberleşmenin kesilmesi durumunda bile segmentlerin kendi yerel kontrol süreçlerini yürütebilmesini sağlar.

Sistem iletişimi üç seviyeli bir yapıya sahiptir:

- Yönetim seviyesi (Yazılım seti, bir veya birden çok merkezi bilgisayar, akıllı telefon, tablet, bilgi ekranı ve/veya bulut arası)
- Otomasyon seviyesi (Otomasyon panoları /PLC üniteler)
- Saha seviyesi (Otomasyon istasyonları ile saha elemanları arasında veya arayüzler ile diğer sistemler arasında)

Otomasyon sistemi işletmedeki tüm mekanik altyapı sistemlerini entegrasyon (bütünleştirebilme) özelliğine sahiptir ve kullanıcıların havalandırma sistem verisine, tesis içinde telsiz veya telli yerel ağ üzerinden ve (tesis dışında) internet üzerinden standart internet tarayıcı programları ile ulaşımına imkân verir. Sisteme ait bilgilerin depolanmasına ve bu bilgilerin daha sonra işlenmesine, analizine izin verir. Bilgileri depolayıp, işlenmesini ve kullanılmasını sağlarken internet üzerinden erişim güvenliğini de koruyacak özelliklere sahiptir (siber güvenlik).

Sistem, maden ocağında her bölümde arzu edilen çevre koşullarını sağlarken; enerji tüketiminde maksimum ekonomiyi sağlamak için, kullanılan enerjiyi optimize eden (enerji verimliliğine ve sürdürülebilirliğe yönelik) çalışma senaryoları doğrultusunda havalandırma sistemini çalıştırır. Dağınık alana yayılmış tüm elektrikli mekanik ekipmanın (örneğin ana ve tali fanlar, motorlu kapılar, motorlu damperler, soğutma sistemi, ısıtma sistemi vb..) belirlenecek lokasyonlarda bulunan görsel renkli grafik ekranlardan (HMI) ve/veya alfanümerik bilgi ekranlarından işletilmesine izin verir.

## 9.2. Haberleşme Sistemi

Madencilik iş güvenliği açısından en riskli işlerinden birisi olarak değerlendirilirler. Bu nedenle güvenlik, güvenilirlik ve gerçek-zamanlı erişim akıllı (adaptif) bir maden havalandırma otomasyon sistemi yapısı kurmak için önemli faktörler olarak değerlendirilir. Dolayısıyla ilgili tüm alt sistemleri birbirine bağlayıp iletişimlerini sağlayan bir ağ yapısı şu özellikleri taşımalıdır:

### 9.2.1. Ethernet ağ kurulumu

Maden havalandırma otomasyon sistemleri için, etkin bir ağ kurulumu bütün alt-sistemlerle bağlantı ve iletişim sağlamalıdır. Günümüzde, telli iletişim için ethernet iletişim veri yolu geleneksel iletim veri yollarına göre pek çok avantaja sahiptir. Çeşitli veri iletimi desteğine ek olarak diğer önemli avantajı ise veri hacmindeki yüksekliktir. Yerel ve geniş alan ağları üzerinden endüstriyel ethernet halka ağ anahtarları (switch) yoluyla aynı omurgaya bağlı bütün cihazlarla birlikte daha geniş kapsamlı ve yedekli kullanıma izin verir.

Sistem haberleşmesi telli veya telsiz olabilir. Telli haberleşme için ethernet üzerinden bakır veya fiber telli haberleşme yapılması yaygındır. Telli haberleşmede ethernet ağı yedekli yapıda inşa edilmelidir. Bunun için yönetilebilir ana ağ anahtarları ile sistem anahtarları halka şeklinde ağ yapısı ile kurulmalıdır. Sistemin kritikliğine bağlı olarak ana ağ anahtarları, sunucu bilgisayarları, ağ ethernet halkaları da yedekli olarak kurulabilir.

### 9.2.2. Haberleşme Kablolar

Elektromanyetik gürültü haberleşmeyi olumsuz etkiler. Fiber hatların gürültü dayanımı mevcuttur. Kesintisiz iletişim mesafesi 100 metreyi geçtiği zaman fiber kablo kullanmak ethernet için gereklidir. 2 km ye kadar çoklu modlu fiber kablo, 2 km'den fazla mesafelerde tekli mod fiber kablo kullanımı tavsiye edilir. 100 metrenin altındaki ethernet iletim hatlarında bakır kablo kullanılabilir. Bakır kablo tercihinde gürültü dayanımı olan kablo tipi olarak Cat6 ekranlı kablo kullanılır. Maden otomasyon sistemlerinde kullanılması planlanan bakır ve fiber kabloların ocaktaki sıcaklık dağılımına dayanıklı

(örneğin -40C ila +75 C) yangına dayanıklı, halojensiz, kimyasal ve yağ dayanımlı, darbe ve aşınma dayanımlı, bakır iletkenin korozyona dayanıklı olan kalaylı olması ve mümkünse kabloların uluslararası otoritelerden birinden (örneğin MSHA) onaylı olması tavsiye edilir. Öte yandan dünyada yanıcı patlayıcı atmosfere sahip tehlikeli maden ocaklarında (örneğin kömür ocakları) kullanılacak bakır veya fiber kablo tesisatlarının bu ortamlarda kullanılmaya uygun özelliklerde (ortam tehlikesinin sınıflandırılmasına göre örneğin bakır için “Ex-proof/instrically safe”, fiber için “Ex op is” veya “Ex op pr” uyumlu) olması gerekmektedir. Bu tesisatlar ile ilgili ulusal standart, ülkemizde Patlayıcı ortamlar-Bölüm 14: Elektrik tesisatlarının tasarımı, seçimi ve yapılışı (EN 60079-14:2014) olarak yürürlüktedir. Bu tesisatların tehlikeli ortam gereklerine uygun olarak çekilmesi gerekli özelliklerde muhafazalar, korumalar, çeviriciler ve bağlantı elemanları kullanmak gerekmektedir. Aksi takdirde tesisatlarda oluşacak kıvılcım veya ışık kaynağı yer altı maden ocağında patlamalara sebep olabilecektir. 15 Şubat 2021 tarihinde TSE tarafından yeni IEC EN 60079-10-1: 2021 standardı yayınlanmıştır ve bu standart “Patlayıcı Ortam Sınıflandırması” konusunun ülkemizdeki sürecini tanımlamaktadır.

Haberleşme omurgasını oluşturacak bu kabloların çevresel etkilerden (darbe, yüksek sıcaklık, rutubet vs..) korunacak şekilde çekilmesi ve uç bağlantılarının yapılması önemlidir. Kablo uçlarında kullanılacak proje kodlamalarının bulunduğu kalıcı kablo etiketleri maden ocağındaki zorlu çevresel şartlardan etkilenmeyecek, zamanla silinmeyecek şekilde olmalıdır.

### 9.2.3. Yedeklilik & Sürdürülebilirlik

Etkin maden havalandırma yönetim sistemleri haberleşme hatalarından olumsuz etkilenir. İş güvenliği etkilenmeyeceği için bağlantı hatasını anlayıp ters yönde yeniden yönlendirebilen ethernet ağ anahtarları yedeklilik esasına göre halka topoloji ile bağlanırsa haberleşme sürdürülmüş olur. Böylece maden havalandırma sistemi kesintisiz bir şekilde faaliyetini sürdürmüştür.

### 9.2.4. Hızlı ve Uzun Mesafe İletimi

Ağ kapasitesi iletilen veri miktarını yürütmeye yeterli olmalıdır. Ethernet ağ anahtarları ve fiber optik kablolama hızlı ve düşük maliyetli bant genişliği ve iletim alanı kontrolörleri, sahadan otomasyon panolarına ve oradan yazılıma gönderilen bütün bilgilerin güvenilirliğini temin eder. Standart Ethernet bant genişlikleri 10, 100, 1000 Mbps'dir. Fiber optik kablolama gücü varlığından etkilenmeden yüksek hız sağlayıp ocak içinde uzun mesafe gerektiren ağ uygulamalarının bağlantılarını güvence altına alır.

### 9.2.5. Zorlu Çevresel Şartlara Dayanıklı Tesisat

Görüntüleme, algılama ve havalandırma sistem sapmalarını anında giderme kritik-güvenlikli maden uygulamaları için bir zorunluluktur. Sistem güvenilirliğini daha fazla arttırmak ve otomasyon haberleşme sisteminin güvenliğini garanti edebilmek için sistemin dayanıklı endüstriyel-tip ürünlerden temin ve tesis edilmesi, toza ve suya karşı yüksek korumalı şekilde muhafaza edilmeleri ve geniş çalışma sıcaklık aralığı (örneğin -40°C ila 75°C veya -10°C ila 90°C) ve gerekli durumlarda patlayıcı atmosferlerde çalışabilme onayına (ATEX, IECEx) sahip olma gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

### 9.2.6. Telsiz haberleşme

Radyo dalgaları üzerinden telsiz haberleşmenin mümkün olduğu maden ocaklarında ise dizüstü bilgisayar, akıllı telefon, tablet gibi seyyar insan-makine arayüzleri wifi, 4G, 5G gibi hücreli ağ teknolojisi kullanarak maden havalandırma otomasyon sistemine erişim sağlayabilirler, profillerine özgü oluşturulmuş konsollar üzerinden çevresel faktörler ve havalandırma sistemleriyle ilgili bilgi alışverişinde bulunabilirler, kendilerine verilen yetkilendirme doğrultusunda izleme ve kontrol yapabilirler.

Maden işletmelerinin şehir dışında kırsal alanlarda olduğu varsayılırsa lokasyon olarak baz istasyonlarından uzakta kalabilmeleri ve hücreli ağ sinyali çekim şiddetinin düşük olması gayet mümkündür. Bu sorun sinyal güçlendirici, çoklayıcı üniteler ile aşılabılır. Cep telefonları elektromanyetik alanda statik elektrik alanı oluşumuna sebebiyet verebildikleri için bazı maden ocaklarında kullanılmaları güvenlik açısından sakıncalı olabilir. Bunun dışında kalan maden

ocaklarında gerek çalışanlar gerekse de iş makinelerinde wifi ve telsiz dışında üçüncü bir telsiz alternatif haberleşme yöntemi olarak kullanılırlar. Madenlerde ortaya çıkması olası yangın, patlama, göçük gibi tehlikeli süreçlerde kablolu haberleşmenin kablosuzla göre daha fazla olumsuz etkileneceği ve sektöre uğrayacağı ortadadır. Dolayısıyla iyi kurgulanmış, güvenli ve sinyal gücü yetkin altyapılı telsiz haberleşme altyapıları yer altı madenlerinde havalandırma otomasyonu ve maden yönetim sistemleri üzerinden çalışanların bilgilendirilmesi, iş makineleri ve süreçlerin koordine edilmesi açısından pratik ve daha dayanıklı çözüm teşkil etmektedir.

### 9.3. PLC Üniteler

Otomasyon seviyesi ağı haberleşme hızı ve yönetim düzeyi ağı ana haberleşme hızı 10/100/1000 Mbps olabilir, ağ yapısı ise Modbus TCP, Ethernet/IP, Profibus, Profinet protokolünü destekleyebilir. Sabit bilgi ekranları ve seyir, sabit operatör terminalleri (dizüstü bilgisayar veya tablet) veri merkezi bilgisayarındaki olası bir arıza durumunda sistem ile haberleşerek yönetilmesini sağlar. Havalandırma otomasyon sistemi için maden ocağındaki belirlenecek noktalarda akıllı ekranlar üzerinden kiosk (bilgi ekranı) uygulaması yapılabilir ve belirlenen değerler ekrandan gerçek zamanlı olarak işletmeye sunulur. PLC üniteler, bilgi iletişim şebekesi dışında taşınabilir operatör terminali (dizüstü PC veya seyir operatör paneli) vasıtasıyla değerlendirildikleri tüm bilgilerin gözlenmesine / kontrolüne kablo bağlantısı ve şifre aracılığıyla izin verirler.

Her otomasyon panosunda en az bir adet CPU ünite bulunur. Bir otomasyon panosundaki CPU ünite ile diğer otomasyon panolarına hizmet verilmez.

Otomasyon panoları (PLC üniteler) üst düzeyde bilgisayar ağı, izleme sistemleri, yangın algılama, telemetri sistemleri, GIS ile, alt düzeyde ise saha ekipmanı (motorlu hava ayarlayıcılar, bilgi ekranları, hissediciler) ile iletişimi sağlar. Maden havalandırma otomasyonu kapsamında kullanılan PLC üniteler için aşağıdaki hususlar önemlidir:

- PLC üniteler, ilgili oldukları sahaya ait kontrol işlemlerini gerçekleştirirler. Her yerleşim için ayrı olarak kullanılacak otomasyon istasyonları; ilgili oldukları sahaya ait bilgilerin toplanmasına, lokal kontrol mantığı çerçevesinde değerlendirilmesine ve uygun komutların üretilerek ocak içi mahalin ihtiyaç duyduğu havalandırma kontrol hareketlerine gerektiğinde, veri merkezinden bağımsız olarak karar verirler.
- PLC ünitelerde depolanan ve işlenen yerleşime ait bilgiler, bilgi iletim şebekesi üzerinden veri merkezine aktarılacaklardır. PLC üniteler; kendi mikro işlemcilerine uygun yazılımlar vasıtasıyla yerleşime ait bütün bilgileri izleme, alarm seviyeleri tanımlama ve bu alarmları izleyebilme/düzeltebilme, bütün saha elemanlarını çalıştırabilme/durdurabilme, trendleri ayarlayabilme, bütün kontrol ayar değerlerini/parametrelerini değiştirebilme ve ölçülen değerleri, ayarları kaydedebilme yeteneğine sahiptir.
- PLC üniteler, Modbus TCP, Profibus DP, Profinet, Ethernet/IP gibi endüstriyel standart olan haberleşme protokollerini kullanabilirler. Değişken frekans dönüştürücüler, enerji analizörleri, UPS, Jeneratör OG hücre sistemlerini içeren enerji izleme ve yönetim sistemleri vb. gibi alt sistemler üreticilerinin yaygın olarak kullandığı haberleşme protokolü olduğu için entegrasyon kolaylığı açısından Modbus TCP üzerinden maden havalandırma otomasyonu ana omurga haberleşme protokolü olarak uygulanabilir.
- PLC üniteler, yerleşimin kontrolü için gerekli; zaman saati, değişken zaman gecikmeli röleler, görev çevrimi, uyum kontrollü optimum başlama/bitirme, tatil programı, takvim ve otomatik yaz/kış saati vb. tüm zaman tabanlı fonksiyonları yapma yeteneğinde olacaktır.
- PLC üniteler yerleşimin kontrolü için gerekli; P veya PI veya PID kontrol blokları, analog/dijital açma ve kapama blokları, lineer seviye dönüştürücü blokları, limit blokları, ölçü seçme blokları, büyük/küçük seçme blokları, toplama/çıkartma blokları, bölme blokları, mutlak nem, entalpi/optimizasyon gibi hesaplanmış değer blokları vb. fonksiyonları yapma yeteneğine sahiptir.
- PLC üniteler RTD, termokupl, 0(2)-10 Vdc, 0(4)-20 mA, kuru kontak ve puls sayıcı gibi universal ölçüm giriş sinyallerini destekleyebilir. Genelde konumlandırma çıkış sinyali olarak da 0(2)-10 Vdc, 0(4)-20 mA analog sinyal ve röle çıkışı sinyallerini desteklenebilir.
- PLC işlemcileri yedekli olur, asıl işlemci arızalandığında yedek işlemci çok hızlı bir şekilde (milisaniyeler mertebesinde) otomatik olarak devreye girer. PLC üniteler yedekli güç besleme

ünitesi kullanılabilir. Asıl güç besleme ünitesi arızalanırsa yedek güç besleme ünitesi devreye girer. PLC panoları muhakkak kesintisiz güç kaynağı üzerinden beslenmelidir.

- o PLC ünitelerde yedekli ethernet haberleşme portu bulunması tavsiye edilir. Birinci portta bir aksama oluştuğunda PLC yedek ethernet portundan haberleşmeyi sürdürebilecektir.
- o PLC ünitelerde gerçek zaman saati bulunmalıdır ve bu fonksiyon ve dahili hafıza, enerji kesilmelerine karşı dahili pil ile desteklenmektedir.
- o PLC üniteler maden ocağı ortamına dayanıklı endüstriyel-tip ürünlerden temin ve tesis edilmesi, toza ve suya karşı yüksek korumalı şekilde muhafaza edilmeleri ve geniş çalışma sıcaklık aralığı (örneğin -40°C ila 70°C) ve gerekli durumlarda patlayıcı atmosferlerde çalışabilme onayına (ATEX, IECEX) sahip olma gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir.

#### 9.4. Yazılım

Yazılım seti, terminallerin (kablolu, kablosuz, sabit, seyyar, PC, tablet, akıllı el terminali) maden havalandırma otomasyon sistemine telli/telsiz bağlanarak maden ocağı çevresel koşullar ve havalandırma sistemiyle ilgili noktalarının renkli grafik ortamda gözlemlenmesini ve yönetilmesini sağlayacaktır. Grafik arayüzlerin tasarımı işletmenin ihtiyaçlarını karşılayacak detayda ve kullanımı kolay olmalıdır. Bazı kullanıcılara özel konsollar tasarlanarak ilgili bilgiler sabit veya seyyar terminalerden ulaştırılabilir.

Grafik ortamında maden ocağı havalandırma sistemi yapısının ekranda gözlemlenmesi ve kontrolü mümkün olmalıdır.

Sistemin çalışmasıyla ilgili bütün bilgilerin ayrıntısıyla listelenmesi ve ayar değerlerinin değiştirilebilmesi mümkün olmalıdır.

Maden ocağı çevresel şartlarını belirleyen zararlı gazlar ve aerosoller, hava hızları, hava debileri, statik basınç, eşdeğer sıcaklık, bağıl nem gibi kontrol parametrelerinde, belirli bir zaman dilimi içerisinde meydana gelen değişiklikleri gösteren trend (eğilim) bilgilerinin toplanması ve analiz edilmesi yazılım vasıtasıyla yapılabilecektir. Eğilim grafiklerinde ilgili parametre ile ilgili sınır değer eşliğinin gösterilmesi faydalıdır. Bazı eğilim grafikleri karşılaştırma maksadıyla çoklu parametre içermelidir. (Örneğin, dış hava yaş termometre sıcaklığı ile soğutma gidiş suyu sıcaklığının bir arada gösterilmesi veya aktif cevher yüzündeki oksijen konsantrasyonu ana ve tali fan debilerinin aynı trend şemasında gösterilmesi veya ana ve ilgili tali fan hava debilerinin aynı eğilim grafiğinde gösterilmesi).

Bütün sistem içindeki alarm noktalarının gözlemlenmesi ve uyarı ikazlarının alınması, bütün alarmların yönetimi, sistemde herhangi bir arıza durumunda önem sırasına göre grafik ortamda sistem resimleri üzerinden arızanın olduğu noktaya müdahale edilmesi ve arızanın giderilmesi önemlidir. Belirlenecek özel alarmlar lokal sesli, ışıklı ikaz düzeneleriyle, e-posta veya sesli mesaj yoluyla ilgililere gönderilmesi mümkündür. Sistemde oluşacak değişiklikler, sembol hareketi, renk değiştirme veya sesli uyarı şeklinde tanımlanır ve kullanıcıyı bilgilendirilir.

Ekranda kolaylık için tanımlanacak butonlar ve sembollerin işaret etmiş olduğu bilgilere (eğilim, alarm, ayar değişikliği, sayfa geçişleri vb..) kolayca ulaşılması önemlidir.

Sistemde geçmişe ait tüm veriler, kullanıcıların yazılım vasıtası ile sistemde yaptıkları işlemlerin türü, zamanı ve yetki aşırımları gibi tüm bilgiler yazılım tarafından güvenli bir veri tabanı dili olan SQL 'de tutulabilir. Sistemin işletme emniyeti veya arşivlenmesi açısından ve işletme bakım ve analizi için önem arz eden bu özellik sayesinde; yazılım, kullanıcıların yaptıkları tüm hareketleri ve sistem verilerini güvenli bir şekilde kaydedebilir ve böylece istenildiği anda geçmişe yönelik kontrol yapılabilir. Yazılım, sistem tasarım bölümünde sözü geçen işletmenin isteyebileceği hususları (alarm, eğilim, raporlama, yetkilendirme, zaman programı, ekran resimleri, kullanıcı yetkilendirme) yerine getirebilir. Yazılımın destekleyebileceği bazı haberleşme protokolleri ve yolları: Modbus TCP, Ethernet IP, Profinet, Profibus, OPC, OPC UA, Web servisleri (REST, SOAP)

Yazılım güvenliği ile ilgili olarak sisteme erişim yetkilendirilen profillerin kullanıcı adı ve parola yoluyla olmalıdır. İşletmenin değerlendirebileceği ilave güvenlik fonksiyonu olarak şifre yaşlanması, otomatik

dışarı atma, arka planda kayıt gibi özellikler sıralanabilir. Şifre yaşlanması kavramında sistem yöneticisinin ilgili kullanıcı için tanımladığı ve bildirdiği kullanıcı adı, şifre ikilisi bilgi grubu, yine işletmenin belirlediği zaman bittiğinde geçerliliğini yitirecektir ve kullanıcı yeni bilgi grubunu yöneticiden öğrenerek erişimine devam edecektir. Otomatik dışarı atma kavramında ise, işletmenin belirlediği süre boyunca kullanıcı ekranında işlem olmaz kullanıcı otomatik olarak otomasyon yazılımından dışarı atılacaktır, tekrar kullanıcı adı ve şifre girerek sistem erişimi sağlanacaktır. Arka planda kayıt özelliği ise, kullanıcıların yaptığı önemli işlemlerin (sisteme giriş, çıkış, ayar değeri değiştirme vb.) yazılım tarafından arka planda kaydedilmesi ve gerektiği zaman bu bilgilerin analiz ve rapor edilebilmesidir.

Otomasyon yazılımı fiziksel veya sanal sunucu bilgisayarına kurulabileceği gibi bulut teknolojisi altında da yer alabilir. Fiziksel veya sanal sunucu olarak tercih edildiği zaman yazılımın çalıştığı (tercihan yedekli) bilgisayar sunucuları veri merkezi odasında kabin içerisinde bulundurulur. Kullanıcı bilgisayarları veya diğer terminaller (akıllı cep telefonu, tablet, kiosk vb..) veri ağı üzerinden sunucuya erişim sağlayarak kullanıcı ile sistem arasında çift yönlü iletişim sağlar.

Yazılım setinin bakım yönetim özelliğine sahip olması gereklidir. Bakım yönetim sisteminin sistemde yer alan havalandırma ekipmanının çalışma sıhhatine yönelik parametrelerin (örneğin ana fan titreşim bilgileri veya fan akım bilgileri) izlenerek analitik yöntemlerle kestirimci bakım kararları alınabilmesi kesintisiz çalışma için önemlidir. Maden işletmesinde kurulu bağımsız bilgisayarlı bakım yönetim sistemleri (CMMS) mevcut ise maden havalandırma yazılımı ile entegrasyon tavsiye edilir.

PLC ünite konfigürasyonu, izleme ve kontrol yazılım ayarları yapmak ve gerektiğinde ekran grafiklerini değiştirmek için gerekli yazılım, kütüphane vb. gibi işletme ekibinin ihtiyaç duyacağı yazılım paketinin maden havalandırma otomasyon sistemi yazılım setinde içinde bulunması tavsiye edilen bir durumdur.

#### 9.5. İşletme, Analiz ve Bakım

Yer altı madenlerinde havalandırma çok önemlidir. Hafriyat kamyonları, ekskavatörler, dozerler ve delme makinalarının içten yanmalı motorları için ihtiyaç duyduğu oksijen ve iş güvenliği için gerekli olan egzoz gazı bertarafı etkin bir havalandırma ve iklimlendirme sistemi ile sağlanabilir. Aksi durumda söz konusu iş makinaları çalışsa dahi ürettikleri egzoz emisyonları zararsız seviyeye indirgenene kadar iş makinalarının çalışması durdurulmak zorundadır. Bu durum, iş makinalarının yatması ve önemli miktarda kira bedelinin boşa gitmesi tehlikesini doğurur.

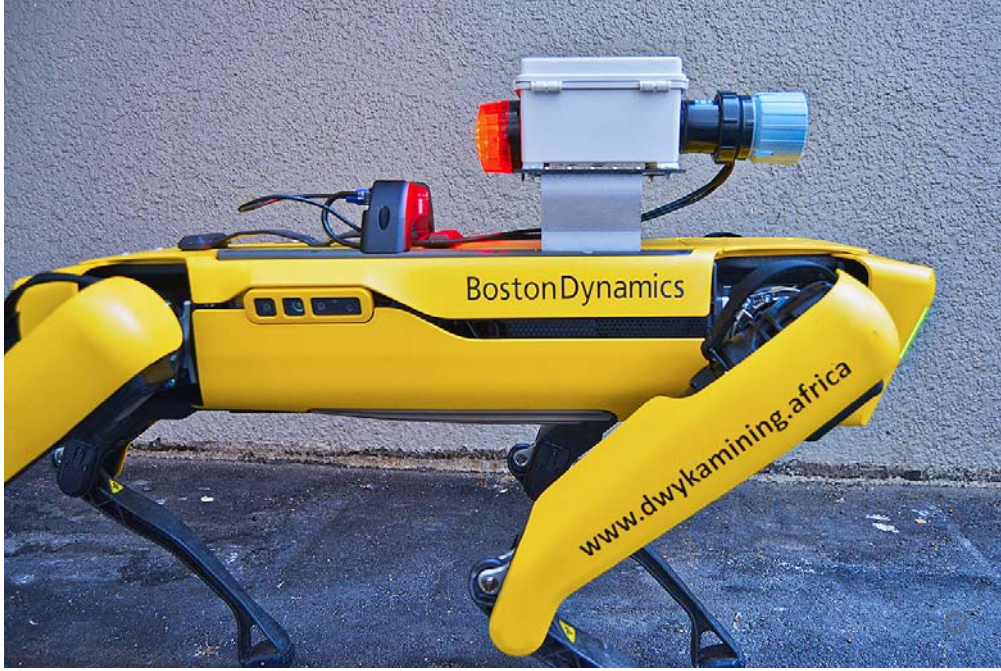
Yetkin ve kestirimci bakım HVAC sistemlerinin kesintisiz ve enerji verimli çalışmasını temin eder. Bu durum hedeflenen iş güvenliği ve enerji verimliliği seviyelerine erişmeyi mümkün kılar.

### 10. HAVALANDIRMA OTOMASYON SİSTEMLERİNDE GELECEK

Gelecekte maden otomasyon sistemleri için madene insan girmeyecek şekilde maden havalandırma yönetiminin yapılabilmesini hedeflenmektedir. Her ne kadar yakın gelecekte bunun olabilmesi pek mümkün görünmese de yer altı maden ocaklarının tehlikeli ve yıpratıcı atmosferinde insanların daha az zaman geçirmesi yakın gelecekte mümkün olacak görünmektedir. Zira günümüzde bazı yer altı madenlerinde akıllı maden yönetim sistemleri görev yapmaktadır. Adaptif havalandırma kontrol sistemlerinin yanı sıra, elektrikli ve uzaktan kumanda edilebilen insansız araçlar ile madencilik faaliyetleri (kırma, yükleme, taşıma) yapılmaktadır.

Diğer sektörlerde olduğu gibi madencilik sektöründe de aşağıdaki teknolojik kavramlar kullanılmakta ve teknolojideki gelişime paralel olarak güncellenmektedir:

- Robotlar
- Elektrikli (bataryalı), uzaktan kumanda edilebilen, insansız iş makinaları
- Yapay zekâ, öğrenen makineler, ICT, Modelleme ve Simülasyon, CFD analizi, analitik yaklaşımlar
- Uzaktan erişim, izleme ve kontrol.
- Siber güvenlik
- Biyomadencilik,
- Otonom hava ve yer dronları



Şekil-30 Atmosfer izleme sistemleri için geliştirilmiş seyyar robot ölçüm istasyonu [31]



Şekil-31 Bataryalı (elektrikli) otonom yükleyici prototipi, 2020 [25]

## REFERANSLAR

- [1] Teknik Rapor, "Kapalı ortamlarda radon gazı", TAEK, 2012
- [2] Yüksel ÖRGÜN, Nilgün ÇELEBİ, "Radyasyon, radon (rn) ve toplum sağlığı", TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası.
- [3] Mert DURŞEN, Burak YASUN, "Yer altı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı", İSGÜM, 2012
- [4] WHO, "WHO handbook on indoor radon", a public health perspective. Geneva: WHO Press
- [5] Amin Shahrokhi, Tamás Vigh, Csaba Németh, Anita Csordás, Tibor Kovács, "Radon measurements and dose estimate of workers in a manganese ore mine", 2017
- [6] Mine Safety Appliances Company, "Gas Detection Handbook", 2007,
- [7] 30 CFR Section 57.5060, "Limit on exposure to diesel particulate matter"

- [8] Wei-gen Zhu , Wei-guo Zhang , Qing-gang Chen , and Zhuo-ming Yang, “Ventilation-on-Demand System in Pulang Copper Mine, Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress”, 2018
- [9] Marc Bascompta Massanés, Lluís Sanmiquel Pera, Josep Oliva Moncunill., “Ventilation management system for underground environments”.
- [10]Wallace Keith, Prosser Brian, Stinnette J. Daniel, “The practice of mine ventilation engineering”, 2015.
- [11]Glenn B Stracher , Tammy P Taylor, “Coal fires burning out of control around the world: thermodynamic recipe for environmental catastrophe”, 2003.
- [12]SIERRA C., “Mine Ventilation”, 2020.
- [13]Tasneem Abbasi, S.A. Abbasi, “Dust explosions–Cases, causes, consequences, and control”, 2006.
- [14]Iwona Zawadzka-Małota, “Testing of mining explosives with regard to the content of carbon oxides and nitrogen oxides in their detonation products”, 2016.
- [15]Andries J.H.Nel, Deon C.Arndt, Jan C.Vosloo, Marc J.Mathews, “Achieving energy efficiency with medium voltage variable speed drives for ventilation-on-demand in South African mines”, 2019.
- [16]Leandro de Vilhena CostaJosé Margarida da Silva, “Strategies used to control the costs of underground ventilation in some Brazilian mines”, 2020.
- [17]S. Sjöström, E. Klintenäs, P. Johansson, J. Nyqvist, “Optimized model-based control of main mine ventilation air flows with minimized energy”, 2020.
- [18]J. Burman, A. Markström, “Ventilation on Demand in Kankberg Mine”, 2016.
- [19]www.maestrodigitalmine.com, “Top 10 reasons to consider “Real time” mine air quality monitoring, Maestro Digital Mine”.
- [20]Stefano Castegnaro, “Aerodynamic Design of Low-Speed Axial-Flow Fans: A Historical Overview”, 2018.
- [21]D. Mishra, Dr. N. Sahay, “Effect of auto compression on ventilation system of deep shaft coal mines in Jharia coal field – a case study”, 2015.
- [22]Felix Dicks, Elisabeth Clausen, “Ventilation on Demand”.
- [23]Dr.-Ing. Elisabeth Clausen, “Mine Ventilation in the 21st Century – Development Towards Adaptive Ventilation Systems”.
- [24]Türk Tesisat Mühendisleri Derneği BİD Komitesi, “BİD Teknik Şartnamesi Doküman”, 2022.
- [25]Australia’s Mining Monthly, “Future of Underground Series Part2”, 2021.
- [26]<https://www.tagesspiegel.de/>
- [27]ASHRAE Guideline 0-2019, “The Commissioning Process”
- [28]<https://new.abb.com/>
- [29]<https://zitron.com/>
- [30]<https://www.sick.com/>
- [31]<https://www.maestrodigitalmine.com/>
- [32]Patrik Westerlund, “ABB Smart ventilation”, Presentation, 2015
- [33]<https://www.openculture.com/2018/05/the-device-invented-to-resuscitate-canaries-in-coal-mines-circa-1896.html>
- [34]<https://www.danfoss.com/>
- [35]<https://www.australianmining.com.au/>
- [36]Gangrade Vasu, “Monitoring systems for coal mines utilizing booster fans”, 2014
- [37]Moridi Mohammad Ali, Kawamura Youhei, Sharifzadeh Mostafa, Chanda Emmanuel Knox, Wagner Markus , Jang Hyongdoo, Okawa Hirokazu, “Development of underground mine monitoring and communication system integrated ZigBee and GIS”, 2015
- [38]Charles Kocsis, Stephen G Hardcastle, “Ventilation system operating cost comparison between a conventional and an automated underground metal mine”, 2003
- [39] Michael Lundh, Jan Nyqvist, Mats Molander “Optimizing airflow for underground mines”, 2013
- [40]Jan Nyqvist, Michel Serres, “ABB discusses the benefits of ventilation on demand”, Canadian mining journal, 2020
- [41]T.C. 28770 nolu resmî gazete, “Maden işyerleinde iş sağlığı ve güvenliği yönetmeliği”, 19.09.2013
- [42]Mark Lafontaine, Tim Paquin, “Three strategies for ventilation control in underground mines”, 2022
- [43]Greg Noone, “What does the future hold for automation in the mining industry?”, 2020
- [44]Enrique I. Acuña, Roberto A Alvarez, Stephen G Hardcastle, “A theoretical comparison of ventilation on demand strategies for auxiliary mine ventilation systems”,2014





- [45] Tanveer Jahir, Jian Zhao, Mohamed H. Mohammed, John David (Dave) McCullough, "Using Gas Monitoring and Personnel/Vehicle Tracking to Maximize the Benefits of Ventilation-On-Demand in Underground Mining Operations", 2011
- [46] E. Witrant, A. D'Innocenzo, A.J. Isaksson, M. D. Di Benedetto, K. H. Johansson, F. Santucci, M. Strand, "Mining ventilation control: a new industrial case for wireless automation", 2008

## ÖZGEÇMİŞ

### Emre ÖZMEN

1972 yılında doğan Emre ÖZMEN sırasıyla 1990 yılında Konya Anadolu Lisesi, 1994 yılında İTÜ Makine Fakültesi Makine Mühendisliği İngilizce Destekli Eğitim bölümünden, 1997 yılında ise İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Robotik bölümünden mezun olmuştur.

#### Çalışma Hayatı;

1994 – 2005 yılları arasında EMO Teknik firmasında otomatik kontrol alanında 10 sene çalışmıştır. 1997-1998 yılları arası MSB Ankara İnşaat Emlak Başkanlığı Mühendis Asteğmen olarak çalışmıştır.

2006-2011 yılları arası On Otomasyon firması kurucu ortak olarak çalışmıştır.

2013-2014 yılları arası TÜV-SÜD firmasında otomasyon konusunda danışman olarak çalışmıştır.

2014 yılından günümüze EON GRUP firmasında kurucu ve otomasyon sistemleri tasarımcısı ve danışmanı olarak çalışmaktadır.

2018 yılından günümüze GEPA GRUP firmasında kurucu ortak ve BİD (commissioning) uzmanı olarak çalışmaktadır.

#### Sivil Toplum Örgütleri

Son 18 yıldır TTMD enerji komisyonu, BİD (Commissioning) komitesi gibi çalışma gruplarında başkan olarak görev yapmıştır.

Eurovent –Copilot Bina Commissioning Çözümleri programına Türkiye'den TTMD adına teknik danışmanlık yapmıştır.

ISKAV KAİSD komitesinde otomasyon komisyon başkanı olarak görev yapmıştır.

ISKAV TAD Sertifikasyon Programında eğitmen olarak görev yapmaktadır.

TTMD Dijitalleşme ve BİD (commissioning) komitelerinde çalışmaktadır.

Halen görev yaptığı ASHRAE teknik komiteleri şunlardır:

- TC 1.4 Control Theory
- TC 7.5 Smart Building Systems
- TC 7.9 Building Commissioning

BJK Kongre, MMO ve ASHRAE üyesidir.

Evli olan Emre ÖZMEN, ileri seviyede İngilizce, orta seviyede Almanca bilmektedir.