

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERALTI MADEN İŞLETMELERİNDE HAVALANDIRMA VE  
BİLGİSAYAR DESTEKLİ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali DARTICI**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı**

**OCAK 2020**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YERALTI MADEN İŞLETMELERİNDE HAVALANDIRMA VE  
BİLGİSAYAR DESTEKLİ OPTİMİZASYONU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Ali DARTICI  
503131101**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Isı Akışkan Yüksek Lisans Programı**

**Tez Danışmanı: İsmail Cem PARMAKSIZOĞLU**

**OCAK 2020**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 503131101 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Ali DARTICI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı 'YERALTI MADEN İŞLETMELERİNDE HAVALANDIRMA VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ OPTİMİZASYONU' başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. İsmail Cem PARMAKSIZOĞLU**

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. İsmail Cem PARMAKSIZOĞLU** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Lütfullah Kuddusi** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Hakan Demir** .....

Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi : 15 Kasım 2019**

**Savunma Tarihi : 07 Ocak 2020**





*Aileme,*





## ÖNSÖZ

Son yıllarda yaşadığımız yeraltı madenlerindeki kazalar, iş güvenliğinin ve sağlıklı çalışma koşullarının önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Şüphesiz ki kapalı ocak işletmeciliğinde patlamaya karşı korumalı (Explosion-Proof) özellikli malzeme kullanımı, kişisel koruyucu donanımlar kadar etkin bir havalandırma da hayati önem taşımaktadır.

Yeraltı işletmelerinde giderek artan derinlikler, değişken kesit alanları, cevheri takiben yapılan kavşaklar ve sürtünmeler ile çalışan işçi sayısına göre gerekli temiz hava miktarını hesaplamak oldukça karmaşık bir hal almaktadır.

Bu tez çalışmasında Doğu Anadolu Bölgesi'nde -1450 ve -1260 m kotları arasında yer alan örnek bir kömür madeninin uzun ayak yöntemi ile kömür üretimi analiz edilmiş, en derin ve uçta çalışma yapan işçilerin bile gerekli temiz havayı temin edeceği havalandırma planı bilgisayar destekli hesaplanmıştır.

Tez çalışmam süresince çok değerli bilgi ve önerileri ile katkıda bulunan ayrıca teknik konularda yönlendiren danışman hocam Prof. Dr. İsmail Cem PARMAKSIZOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2019

Ali DARTICI  
(Makine Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER .....	ix
KISALTMALAR .....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY .....	xix
<b>1 GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Literatür Araştırması .....	2
1.1.1. Kirli havanın tanımlanması .....	4
1.2 Ocaktaki Gazlar .....	5
1.2.1 Boğucu gazlar .....	5
1.2.1.1 Oksijen .....	5
1.2.1.2 Karbondioksit.....	6
1.2.1.3 Azot .....	8
1.2.2 Zehirli Gazlar .....	9
1.2.2.1 Karbonmonoksit.....	9
1.2.2.2 Azot oksitler .....	11
1.2.2.3 Hidrojen Sülfür (H <sub>2</sub> S) .....	11
1.2.2.4 Kükürtdioksit (SO <sub>2</sub> ) .....	12
1.2.3 Patlayıcı ve diğer gazlar .....	13
1.2.3.1 Metan .....	13
1.2.3.2 Hidrojen .....	17
1.2.3.3 Radyoaktif gazlar .....	18
1.3 Ocak Havasının Bileşenleri, Fizyolojik Etkileri, Sınır Değerler.....	18
<b>2 OCAK HAVASINDAKİ TOZLAR .....</b>	<b>21</b>
2.1 Kömür Tozu .....	22
2.1.1 Kömür tozunun meydana gelişi .....	22
2.1.2 Kömür tozunun ocakta dağılması .....	23
2.1.3 Kömür tozunun patlama tehlikesi .....	23
2.1.4 Kömür tozu ve grizu karışımının birlikte patlaması .....	24
2.2 Taş Tozu.....	25
2.2.1 Toz konsantrasyonunu etkileyen faktörler .....	26
2.2.2 Taş tozunun sebep olduğu akciğer hastalıkları .....	27
2.2.3 Tozun zararları .....	28
2.3 Kömür tozunun hastalık etkisi .....	29
<b>3 OCAKLARDA HAVALANDIRMA ŞEBEKELERİ.....</b>	<b>31</b>
3.1 Havalandırma Direnci .....	34
3.2 Doğal Havalandırma .....	35

3.2.1 Doğal hava akımının debisine etki eden faktörler.....	36
3.3 Mekanik Havalandırma .....	37
3.3.1 Fan Tipleri .....	37
3.3.1.1 Merkezkaç ( Radyal ) vantilatörler.....	38
3.3.2.2 Eksenel ( Aksiyal ) vantilatörler.....	39
3.4 Hava Debisi .....	40
3.5 Gerekli Hava Debinin Belirlenmesi .....	40
<b>4 YERALTI KÖMÜR MADENİ ÜRETİM HATTI .....</b>	<b>43</b>
4.1 Maden Ocağı Tanıtımı ve Hava İstatistik Verileri .....	44
4.2 Maden İşletmesi Nakliyat Yolları ve Üretim Panoları .....	46
<b>5 YERALTI KÖMÜR MADENİ HAVALANDIRMA HESAPLARI.....</b>	<b>53</b>
5.1 Çalışan Sayısına ve Üretime Göre Gerekli Hava Miktarı Hesabı .....	55
5.2 Gaz Yayılımına Göre Hava Miktarı Hesabı .....	59
5.3 Toz Konsantrasyonuna Göre Hava Miktarı Hesabı .....	60
5.4 Havalandırma Şebekelerinin Çözümü.....	62
5.5 Hava Debinin Metan Derişimine Göre Analizi .....	72
5.6 Karbondioksit Kritik Değerinde Havalandırma Analizi .....	75
5.7 Vantilatör ile Havalandırma Analizi ve Maliyet Hesapları.....	77
<b>6 ÖRNEK HESAPLAMA.....</b>	<b>81</b>
<b>7 SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>83</b>
<b>KAYNAKÇA .....</b>	<b>85</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>87</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>93</b>

## KISALTMALAR

<b><i>CO<sub>2</sub></i></b>	: Karbondioksit
<b><i>CO</i></b>	: Karbonmonoksit
<b><i>H<sub>2</sub></i></b>	: Hidrojen
<b><i>H<sub>2</sub>S</i></b>	: Hidrojen Sülfür
<b><i>SO<sub>2</sub></i></b>	: Kükürtdioksit
<b><i>CH<sub>4</sub></i></b>	: Metan
<b><i>N<sub>2</sub></i></b>	: Azot
<b><i>O<sub>2</sub></i></b>	: Oksijen
<b><i>C<sub>2</sub>H<sub>6</sub></i></b>	: Etan
<b><i>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub></i></b>	: Propan
<b><i>N<sub>2</sub>O</i></b>	: Azot Protoksit
<b><i>NO<sub>2</sub></i></b>	: Azot Dioksit
<b><i>NO</i></b>	: Azot Oksit
<b><i>N<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i></b>	: Dinitrojen Trioksit
<b><i>N<sub>2</sub>O<sub>4</sub></i></b>	: Dinitrojen Tetroksit
<b><i>N<sub>2</sub>O<sub>5</sub></i></b>	: Diazot Pentoksit
<b>MET</b>	: Maden Emniyet Tüzüğü
<b>Ppm</b>	: Milyonda bir birimlik madde
<b><i>SiO<sub>2</sub></i></b>	: Silikon Dioksit
<b><i>CaCO<sub>3</sub></i></b>	: Kalsiyum Karbonat
<b>ASHRAE</b>	: American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>MSHA</b>	: Mine Safety and Health Administration
<b>Met</b>	: 1,8 m <sup>2</sup> yüzey alanına sahip bir insanın 58,2 W/m <sup>2</sup> lik enerji üretimi olduğunu kabul eden bir birimdir
<b><i>Hb CO</i></b>	: Karboksihemoglobin
<b>M.E.N.</b>	: Maden Emniyet Nizamnamesi
<b>TL</b>	: Türk Lirası



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1: Oksijen Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi .....	6
Çizelge 1.2: Karbondioksit Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi .....	8
Çizelge 1.3: Karbondioksit Sınır Değerler .....	8
Çizelge 1.4: Karbonmonoksit Tehlike Sınırları .....	10
Çizelge 1.5: CO Derişimi ve Klinik Bulgular .....	10
Çizelge 2.1: Patlama Özelliğine Sahip Tozlar .....	25
Çizelge 2.2: Çeşitli Madencilik Çalışmalarında Ortalama Toz Konsantrasyonu .....	26
Çizelge 4.1: Maden İşletmesi Lokasyonu İçin Genel İstatistik Verileri .....	45
Çizelge 5.1: Dış Ortam İnsan için Gerekli Hava Miktarı .....	56
Çizelge 5.2: ASHRAE Standard 55 Fiziksel Aktivite Değerleri .....	57
Çizelge 5.3: Standart Hava Miktarları .....	59
Çizelge 5.4: Farklı Çalışma Koşullarında Gerekli Hava Miktarı ve Hızları .....	61
Çizelge 5.5: Eğimli Galerilerde Metan Tabakalaşmasını Önlemek İçin Önerilen Minimum Tabakalaşma Katsayıları .....	73
Çizelge A.1: Tutuşma Sınır Değerleri .....	88
Çizelge B.1: Sürtünme Katsayısı $\alpha$ değerleri .....	89
Çizelge B.2: Hava Emniyet Katsayısı .....	90
Çizelge C.1: Hava İçeriği .....	91
Çizelge D.1: Vantilatör Karakter Eğrisi .....	92





## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1:	Ocak Havaasının Sınıflandırılması ..... 4
Şekil 1.2:	Kömürleşme Sürecinde Metan Gazı Oluşumu ..... 14
Şekil 1.3:	Havada Bulunan Metan ve Oksijenin Hacimsel Yüzdeleri İle Patlama Riski Oluşturmasının Coward Üçgeni Üzerinde Gösterilmesi ..... 14
Şekil 3.1:	Maden Ocağının Bölümleri ..... 33
Şekil 3.2:	Vantilatör Türleri ..... 38
Şekil 3.3:	Eksenel Fan ..... 39
Şekil 4.1:	Tek Girişli Dönümlü ‘U’ Tipi Havalandırma ..... 43
Şekil 4.2:	Maden Ocağının Lokasyonu ..... 44
Şekil 4.3:	Basınç ve Yoğunluğun Değişimi ..... 45
Şekil 4.4:	1450 Rakımdaki Maden Ana Giriş Bacası ..... 46
Şekil 4.5:	Maden Ana Nakliyat Yolu ve Varagel Sistemi ..... 47
Şekil 4.6:	Kancadibinde Dolu ve Boş Vagonları Ayarlayan 2 İşçi ..... 48
Şekil 4.7:	Kömür Damarları ve 3 Boyutlu Şema ..... 48
Şekil 4.8:	-1385 ve -1365 kotları Kömür Damarı ve Pano ..... 49
Şekil 4.9:	Uzun Ayak Tahkimatı Perspektif Görünümü ve Domuz Damı ..... 50
Şekil 4.10:	-1340 ve -1260 kotları Kömür Damarı ve Panolar ..... 51
Şekil 4.11:	Başyukarılardan Kömür Üretimi ..... 51
Şekil 4.12:	-1300 ve -1260 kotları 1 Nolu Pano Hazırlık Galerileri ve Yeni Üretim Bölgesi ..... 52
Şekil 4.13:	Maden İşletmesinde İşçilerin Çalışma Yerleri Şematik Gösterimi ..... 52
Şekil 5.1:	Paralel Alt ve Üst Kotlar Arasında Dikine Başyukarılarda Çalışan İşçiler (2. Grup) ..... 53
Şekil 5.2:	Aşağı kotlardan çekilen vagonlar ve vinç başındaki işçiler (3. Grup) .. 54
Şekil 5.3:	3 Boyutlu Çizimin Havalandırma Simülasyon Programına Aktarılması ..... 61
Şekil 5.4:	Ana Giriş Bacasından 15,3 m <sup>3</sup> /s Hava Debisi ile Ocakta Temiz Hava Debileri ..... 63
Şekil 5.5:	Ana Giriş Bacasından 25 m <sup>3</sup> /s lik Hava Debisi ile 1 nolu Panoda Hava Yetersizliği ..... 64
Şekil 5.6:	Ana Giriş Bacasından 60 m <sup>3</sup> /s lik Hava Debisi ile Ocak İçinde Hava Debileri (m <sup>3</sup> /s) ..... 65
Şekil 5.7:	Ana Giriş Bacasından 60 m <sup>3</sup> /s lik Hava Debisi ile 1 ve 2 nolu Panoda Hava Debileri (m <sup>3</sup> /s) ..... 65
Şekil 5.8:	Ana Giriş Bacasından 77,88 kg/s lik Hava Debisi ile 1 ve 2 nolu Panoda Hava Debileri (kg/s) ..... 66
Şekil 5.9:	Ana Giriş Bacasından 60 m <sup>3</sup> /s lik Hava Debisi ile 3 nolu Panoda Hava Debileri (m <sup>3</sup> /s) ..... 66

<b>Şekil 5.10:</b>	Ana Giriş Bacasından 77,88 <i>kg/s</i> lik Hava Debisi ile 3 nolu Panoda Hava Debileri ( <i>kg/s</i> ) .....	<b>67</b>
<b>Şekil 5.11:</b>	Ana Giriş Bacasından 60 <i>m<sup>3</sup>/s</i> lik Hava Debisi ile Ocak İçinde Hava Hızları ( <i>m/s</i> ).....	<b>67</b>
<b>Şekil 5.12:</b>	-1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 1 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri( <i>m<sup>3</sup>/s</i> ).....	<b>68</b>
<b>Şekil 5.13:</b>	-1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 1,75 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri ( <i>m<sup>3</sup>/s</i> ).....	<b>69</b>
<b>Şekil 5.14:</b>	-1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 1,75 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri ( <i>m<sup>3</sup>/s</i> ).....	<b>70</b>
<b>Şekil 5.15:</b>	-1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 2,25 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri ( <i>m<sup>3</sup>/s</i> ).....	<b>70</b>
<b>Şekil 5.16:</b>	-1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 2,25 m Çaplı Kuyu ile Hava Hızları ( <i>m/s</i> ).....	<b>71</b>
<b>Şekil 5.17:</b>	Dik Tünel Sonrası Ocak İçi Tüm Hava Debileri ( <i>m<sup>3</sup>/s</i> ).....	<b>71</b>
<b>Şekil 5.18:</b>	Metan Tabakalaşması.....	<b>73</b>
<b>Şekil 5.19:</b>	Metan Tabakalaşmasının Önlenmesi İçin Gerekli Hava Hızları ( <i>m/s</i> ) .....	<b>74</b>
<b>Şekil 5.20:</b>	Metan Tabakalaşması Kontrolü Sonrası 80 <i>m<sup>3</sup>/s</i> lik Hava Debisi ile Ocak İçi Hava Debileri ( <i>m<sup>3</sup>/s</i> ).....	<b>74</b>
<b>Şekil 5.21:</b>	VENTSIM Programına Karbondioksit Artışının Tanımlanması (%) ..	<b>75</b>
<b>Şekil 5.22:</b>	1 nolu Pano Başyukarılarda %6 Karbondioksit Derişimi .....	<b>76</b>
<b>Şekil 5.23:</b>	Ocak Ağzından 110 <i>m<sup>3</sup>/s</i> Hava Tedariki ile 1 nolu Pano Başyukarılarda Hava Debileri ( <i>m<sup>3</sup>/s</i> ) .....	<b>76</b>
<b>Şekil 5.24:</b>	Ana Giriş Bacasından 103,84 <i>kg/s</i> lik Hava Debisi ile Tüm Ocakta Hava Debileri ( <i>kg/s</i> ).....	<b>78</b>
<b>Şekil 5.25:</b>	Ana Giriş Bacasından 80 <i>m<sup>3</sup>/s</i> lik Hava Debisi ile Tüm Ocakta Hava Hızları ( <i>m/s</i> ) .....	<b>79</b>
<b>Şekil 5.26:</b>	Ocak İçi Hava Dağılımı Tablo Görünümü.....	<b>79</b>

## YERALTI MADEN İŞLETMELERİNDE HAVALANDIRMA VE BİLGİSAYAR DESTEKLİ OPTİMİZASYONU

### ÖZET

Yeraltı maden işletmelerinde havalandırma; hem çalışanların sağlıklı çalışma koşullarında olmaları hem de ihtiyaç duyulan makinelerin güvenli ve uzun ömürlü çalışmaları için yapılan en önemli operasyondur. Çalışanlar için solunabilir hava tedariki, ortamdaki patlama riskinin ve toz konsantrasyonunun kontrol altında tutulması, kullanılan çalışma yöntemine göre çalışanların fiziki faaliyetleri de dikkate alınarak çalışma şartlarına uygun hava özelliklerinin sağlanması için sürekli havalandırma zorunludur. Yeraltında havalandırma; çalışma ortamının güvenliği için ocak sıcaklığını optimum seviyeye ayarlamak, zararlı gazların konsantrasyonunu yönetmeliklerle belirlenmiş değerler altında tutmak ve ocaktan tahliyesini sağlamak, çalışan personel ve makineler için gereken oksijen derişikliğı yüksek temiz havayı temin etmek için yapılmaktadır.

Bu çalışmada örnek bir kömür madeni 3 boyutlu olarak tasarlanmış, tüm kesit alanları ölçülmüş ve kömür üretim panoları incelenmiş, minimum ve maksimum hava hızları Maden Emniyet Tüzüğü'nce belirlenen sınır değerler içinde tutulmuş ve her bir noktadaki temiz hava miktarı bulunmuştur.

Örnek maden işletmesinde ortaya çıkabilecek boğucu, zehirli, patlayıcı özellikteki tüm gazların emniyet sınır değerlerine detaylı olarak yer verilmiştir. Tehlikeli gazların derişime göre, insan sağlığı üzerindeki etkileri ile patlama riskleri detaylı olarak ele alınmıştır. Havanın kirlenme derecesi; kömürün oksijen ile reaksiyona girme potansiyeline, içerdiği gaz miktarına, uygulanan üretim yöntemine doğrudan bağlıdır.

Maden havasını kirleten en önemli diğer unsurlar da kömür ve taş tozlarıdır. Yeraltı madenciliğinde hazırlık, üretim, doldurma, boşaltma, kırma, eleme ve nakliye çalışmaları sırasında cevher ve yan taşın özelliklerine bağlı olarak toz oluşmaktadır. Kömür tozu konsantrasyonuna bağlı patlama riskleri ile taş tozlarının sağlık üzerindeki olumsuz etkileri ve alınabilecek önlemler detaylı incelenmiştir.

Örnek kömür madeninde öncelikle üretim hattı tüm yönleriyle ele alınmış ve pano uzunlukları ve ayak genişliklerine göre üretim yöntemleri açıklanmıştır. Maden içerisinde kömür nakliyatı vagon ve ray sistemi ile yapılmaktadır. Kömür damarı kalınlığına göre kesitler değışim göstermektedir. Uzun ayak sistemi ile kömür üretimi yapılmakta, başyukarılardan kömürün eğim sayesinde akması ve vagonlara doldurularak yerüstü eleme sistemine gönderilmesi sağlanmaktadır. Tüm bu çalışmalar süresince yeraltında çalışan tüm işçilere gerekli temiz havayı sağlamak adına havalandırma planlaması yapılmalıdır.

Yeraltı madenleri için gerekli hava miktarı tayini yapılırken 5 yöntem ön plana çıkmıştır. Bunlar, işçi sayısına göre hava miktarının belirlenmesi, günlük üretime göre hava miktarı hesabı, maden içerisinde yayılan gazların hacmine göre hava

miktarı tayini, ocaktaki toz oluşumuna göre hava miktarı hesabı ve patlayıcı miktarına bağlı hava miktarı hesabıdır.

Sketch Up programı yardımı ile tasarlanan maden haritası VENTSIM programına aktarılmış, farklı kesit alanları, çeşitli çalışma koşulları ve toz konsantrasyonları dikkate alınarak optimum temiz hava hesaplamaları yapılmıştır.



# **VENTILATION AND COMPUTER AIDED OPTIMIZATION IN UNDERGROUND MINING FACILITIES**

## **SUMMARY**

Ventilation in underground mining; this is the most important operation for the employees to be in healthy working conditions and for the safe and long-lasting operation of the required machines. Continuous ventilation is essential for breathable air supply for the employees, the risk of explosion in the environment and the concentration of dust under control, according to the working method used by taking into account the physical activities of the employees to ensure proper air conditions. Underground ventilation, for the safety of the working environment, the temperature of the mine is adjusted to the optimum level, to keep the concentration of harmful gases under the values determined by the regulations and to discharge from the mine, to provide the high oxygen fresh air required for the working employee and machines.

In this direction, the sample coal mine was designed in 3 dimensions, all cross-sectional areas were measured, the minimum and maximum air velocities were determined within the limit values determined by Mines Safety Regulation and the amount of fresh air at each point was found.

The safety limit values of all the gases with explosive, toxic and explosive properties that may occur in the sample mining facility are detailed. According to the concentration, the effects of hazardous gases on human health and explosion risks are discussed in detail. The degree of air pollution; it directly depends on the potential of coal to react with oxygen, the amount of gas it contains, the method of production applied.

The other most important elements polluting the mine air are coal and stone dust. During the preparation, production, filling, unloading, crushing, screening and transportation works in underground mining, dust is formed depending on the properties of the ore and side stone. Explosion risks due to coal dust concentration, negative effects of stone powders on health and precautions to be taken are examined in detail.

Coal transport within the mine is carried out by coal wagon and rail system. The sections vary according to the thickness of the coal core. Coal production is carried out with the long foot system and coal is flowing through the slopes and filled into the wagons and sent to the surface sieving system. During all these works, ventilation planning was carried out to provide the necessary fresh air to all workers working underground.

There are both stone and coal dust and many harmful gases in mine. Therefore, when calculating the need for clean air, both the dust concentration and the harmful gas emission must be calculated. In addition, the use of explosives should be examined. The degree of air pollution; it depends on the potential of the ore to react with

oxygen, the amount of gas contained in the ore, the mine extraction method applied, the amount of air sent to the underground networks, the type of machinery used in the quarry and the dimensions of the working area.

While determining the amount of air required for underground mines, 5 methods came to the fore. These are air quantity calculation according to the use of workers, air quantity according to daily production, determination of air volume according to the volume of gases emitted in the mine, air account calculation according to dust formation in the quarry and air account calculation based on the amount of explosives.

While the air requirement is calculated by the number of workers working underground, the different physical conditions of the workers are classified according to ASHRAE standards. Workers working on the preparations of the gallery and supporting the fortification by lifting both the digging shovel and the mining pole and doing hard work almost without interruption as Group 1, workers working in the upstairs and producing coal with the help of digging shovels or by the help of participants as Group 2 and crane workers, wagons and hook and loop workers, who deal with a wagon shipment on average every three minutes with a relatively mild physical activity compared to other employees are classified as Group 3.

If methane is considered as the most dangerous gas in the hearth air, air velocity control should be made according to the stratification condition in the ceiling sections. The lowering of the air velocity in the gallery wall and the increase of the methane gas, whose density is low compared to the air, towards the ceiling of the excavation cavity causes high concentration of methane in these regions. Air requirement is calculated by the methane concentration.

Lastly air requirement is calculated by the dust concentration. There is a dry hole drilling operation in the mining facility in the preparatory gallery works, which continue between -1300 and -1260 levels. Drilling is done in 3 different heads above. Between levels -1385 and -1365, the rear of the pig roof is made upside down.

In classical calculation methods, the friction coefficient is calculated for each tunnel based on the tunnel cross-section area and its surroundings and tunnel length, and then the required fresh air for the mine is tried to be found. However, this is both laborious and difficult to update.

In our country, recycled or advanced longwall method is applied in underground coal enterprises in general. In these methods, a single-entry turning 'U' type ventilation system is used, fresh air enters the panel from the material gallery, and the contaminated air gets out of the transportation route and is connected to the main ventilation gallery.

Although there is no limit on the maximum air velocity in longwalls in underground coal mines, air speed should not exceed 8 m/s on main airways, inclined and straight roads and should not be less than 0.5 m/s in any case. High air speed negatively affects worker health and the quarry climate. As a general rule, it is recommended that the settled dust swirl with increasing air velocity and keep it within the limits of 1-3 m/s and not exceed 4 m/s, in case of the possibility of mixing in the mine air again.

The VENTSIM program calculates the air flows for each gallery using the Kirchoff Laws in its complex mine structure. The mine map, which was designed with the help of Sketch Up program, was transferred to the VENTSIM program and optimum

clean air calculations were made by taking into consideration different cross-sectional areas, various working conditions and dust concentrations.

Computer aided ventilation analysis is of great importance for all closed businesses in terms of both worker health and safety and accident risks. In this way, material losses are prevented by design and calculations. Effective planning is essential to prevent deaths due to insufficient air and hazardous gases.







## 1. GİRİŞ

Madencilik geçmişten günümüze daima önemini korumuştur ve ülkeler arasında rekabetin hızla arttığı bu dönemde de endüstriyel gelişmişliğin bir göstergesidir. Enerjinin politik bir güç olarak ortaya çıktığı konjonktürde, doğal gaz, kömür ve petrol gibi doğal kaynaklar ve bu kaynakların kullanıma sunulması oldukça önemlidir. Enerji hiç şüphesiz olmazsa olmaz bir gereksinimdir. [2]

Madencilik üretiminin dünyada yaklaşık %70'i açık işletme şeklinde yapılmaktadır. Açık işletme, işletilmesi ekonomik açıdan uygun ve karlı madenlerin, yeryüzündeki mostranın doğrudan iş makineleri yardımıyla kazılarak üretilmesi yada cevherin üzerindeki örtü tabakasının alınarak üretimi şeklinde yapılan bir operasyondur. Metalik madenlerin yarısı, kömürün 1/3'ü ve metal dışı yapı malzemelerinin tamamı açık ocak işletilmesi yoluyla üretilmektedir. Ancak cevherin kalınlığı, yatımı ve rezerv dikkate alındığında, madenin yüzeye yakınlığı ve üzerindeki örtü tabakası da da hesaba katılarak yeraltı madenciliği de bir diğer maden üretim metodudur. Bu operasyon, yeraltında açılan tüneller ile yapıldığından toprak katmanının jeolojik yapısına göre diğer yöntemlerden çok daha fazla iş gücü ve emek yoğun çalışma gerektirir. Ayrıca yer altında çalışan personelin asgari yaşam koşullarının temini ve etkin bir havalandırma oldukça önemlidir. [2]

Özellikle yeraltı kömür işletmelerinde geçmişte de yaşanan ve son yıllarda üst üste meydana gelen ölümlü iş kazaları, birçok çalışanın hayatını kaybetmesiyle sonuçlanmış ve özellikle grizu (hava-metan karışımı) patlamaları düşünüldüğünde havalandırmaya verilmesi gereken önemi hatırlatmıştır.

Havalandırma, yeraltı madenciliğinde güvenli ve sağlıklı çalışma koşullarının oluşturulması amacıyla yeterli miktarda temiz havanın ocağa gönderilmesi işlemidir. Burada temel amaç; ocak içi çalışmalar sonucu ortaya çıkan zehirli, patlayıcı, boğucu gazlar ve meslek hastalıklarına neden olan tozlar gibi çalışma ortamını olumsuz etkileyen unsurları iş güvenliği ve işçi sağlığı açısından asgari değerlere indirmektir. [3]

Yeraltı işletmelerine gönderilen havanın işlevleri; ocakta çalışanların temiz hava ihtiyacını karşılamak, tehlikeli olabilecek gaz ve toz birikimlerini seyreltmek ve izin verilen sınır değerlerin altına indirmek; özellikle derin ocaklarda karşılaşılan iklim sorunlarını hafifletmek ve optimum çalışma koşullarını oluşturmaktır. [4]

Bir maden ocağında havalandırma uygulaması üretim öncesi hazırlıklar sırasında başlar, ocaktaki çalışmalar sonuçlandırılana dek kesintisiz olarak sürdürülür. Özellikle yeraltı kömür işletmelerinde büyük can ve mal kayıplarına neden olan grizu ve kömür tozu patlamalarının önlenmesi, ocak yangınlarının kontrol altına alınması ancak tekniğe uygun bir havalandırma planlaması ile mümkündür. [4]

Yeraltı işletmelerde üretim panolarının hazırlanmasındaki en önemli işlem, bu panoyu sınırlayan hazırlık galerilerinin sürülmesidir. Bu hazırlık galerilerinin uzunluğunun, pano boyutu ile orantılı olarak artması durumunda, galeri arınında çalışanlara yönetmeliklerle belirlenmiş ölçüde temiz havanın temini ve galeri arınında delme-patlatma ayrıca tam mekanize ocaklarda galeri açma makinasının çalışmasıyla oluşan toz ve gazın seyreltilerek bir an önce ortamdan uzaklaştırılması oldukça önemlidir. [5]

Ülkemizde sıklıkla uygulanan uzunayak havalandırma sisteminde birbiriyle bağlantısı olmayan ve genellikle paralel bağımsız iki hazırlık galerisi sürülmekte, tek galeriden temiz hava panoya ve ayağa girmekte, kirlenen hava de nakliye yolundan geçerek ana havalandırma galerisine ulaşmaktadır. Bu şekilde havalandırmada; üretim yapılan ayağa gönderilebilecek maksimum hava miktarı, galeri kesiti ve hava hızıyla sınırlandırıldığından gaz yoğunluğu ve üretim hacmi yüksek ocaklarda ayak içi havalandırma kontrolünü zorlaştırır. Ayrıca hazırlık galerilerinin bağlantısız galeri şeklinde oluşturulması, acil durumlar için bu bölgede çalışan personelin kaçış imkanını sınırlaması açısından bir diğer handikaptır. [12]

Üretim faaliyetlerinin yeni panolara kayması durumunda havalandırma şebekesi yeniden etüt edilmeli, hava dağılımını düzenlemek için önlemler alınmalıdır.

### **1.1. Literatür Araştırması**

İnsanoğlu hayati ihtiyaçlarını karşılamak için varoluşundan itibaren tarım ve madencilikle uğraşmıştır. Bu sebeple madencilik sektörü insanlık tarihi kadar eskidir. [1]

Anadolu'da madencilik faaliyetlerinin M.Ö. 6000'li yıllara dayandığı düşünülürse kesin olarak işletildiği belirlenen ilk maden ocağı Tokat Erbaa' daki Kozlu Eski Gümüşlük' tür. [1]

Polat K., Didari V. (1991) Türkiye Taş Kömürü tarafından Japon teknik yardımı yoluyla temin edilen Kazemaru paket programını kullanarak Karadon Müessesesi Kilimli işletmesi' nin havalandırma şebeke analizini yapmıştır. Çalışmada işletmede yerinde yapılan ölçümler kullanılmıştır.

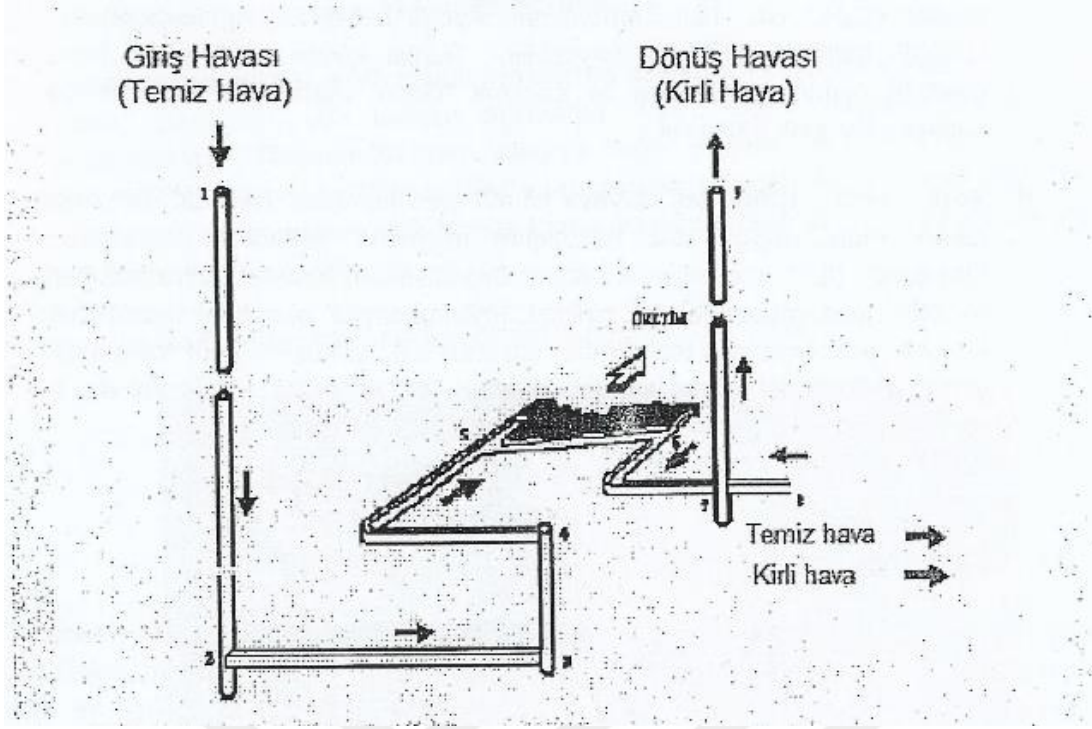
Gönen A., Mallı T., (2018) Ventsim programı yardımıyla tek girişli dönümlü U havalandırma sisteminin ekonomiklik ve emniyet açısından üstünlük ve dezavantajlarını incelemiştir.

Ocak havası denildiğinde, yeraltı çalışmalarında oluşan ve yayılan gazlar ile bunların karışımını anlamak gerekir. Tünele girip, arına ulaşan hava "Giriş Havası" ve kirlenerek ocağı terk eden hava ise "Dönüş Havası" olarak isimlendirilir. Bu nedenle ocak havası, temiz ve kirli olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Temiz havayı oluşturan gazlar, hacimce ; % 20.93 Oksijen ( $O_2$ ), % 79.04 Azot ( $N_2$ ), % 0.03 - 0.04 Karbondioksit ( $CO_2$ ) tir. Ayrıca daima ve değişken miktarda su buharı da bulunur. Ama havadaki  $N_2/O_2$  oranını etkilemez.

Maden havası, yeraltındaki tüm şebekeleri dolaşan, su buharı ve gazların karışımından oluşan çoğu her zaman tozlu bir havadır. Yeraltındaki havanın olumsuz yönde değişimi, genelde oksijenin azalması ve karbondioksit ve diğer gazların artması olarak değerlendirilir. Bu değişim, maden havasını kirleterek ortamda yanıcı, boğucu ve zehirli gazların birikmesine yol açar. (Şekil 1.1)

Hava girişini ve dönüşünü sağlamak için ilave kuyular ve galeriler açmak gereklidir. Diğer bir deyişle, bir ocağın iskeleti yani galeri ve kuyuları havalandırma gerekleri göz önünde tutularak düzenlenmelidir. Hava kalitesinin bazı tehlikeli gazların artması ve oksijenin azalması suretiyle düşmesi veya yeterli miktarda temiz havanın çalışma bölgelerine ulaşamaması durumunda işçilerin çalışma gücü de etkilenir ve randıman düşerek maliyetler de artar.

Kirli hava, taşıdığı özelliklere ve içerdiği kirleticilere göre aşağıdaki gibi tanımlanabilir: [6]



Şekil 1.1: Ocak Havasının Sınıflandırılması [4]

### 1.1.1. Kirli havanın tanımlanması

Ocağa kuyu ve galeriler yoluyla giren temiz hava, hazırlık ve üretim çalışması yapılan ocak bölümlerini dolaşırken bileşimine karışan gaz ve tozlar nedeniyle kirlenir. Bu nedenle çıkış havası içerdiği gaz ve tozlara göre dört farklı grupta incelenir.

**Boğucu hava**, içinde %20 den daha az oksijen bulunan hava olarak tanımlanır. Boğulma, yeterli oksijenin gitmemesi sonucu vücuttaki dokularda bozulma meydana gelmesidir. Bilindiği gibi atmosferik havada azot ve karbondioksit miktarının oksijen miktarına oranı sabittir (78,08/20,95 ve 0,03/20,95). Azot ve karbondioksinin artması ve bu oranın oksijen azalması yönünde gelişmesi boğulma olaylarına neden olmaktadır. Bu gazların yanı sıra ani gaz püskürmeleri sonucu ocak havasına büyük miktarda metan, karbondioksit gazlarının karışması da çalışma ortamında boğulma şartlarını oluşturabilmektedir. [4]

**Zehirli hava**; Organizmayı bozan ve dolayısıyla yaşam için tehlikeli olan gazlar içeren havadır. Vücuda alındığında ya da temas ettiğinde dokuların işlevini bozan maddeler zehirlidir ve ocak havasına karışarak insan yaşamını tehlikeye sokan zehirli gazlar; karbonmonoksit ( $CO$ ), kükürlü hidrojen ( $H_2S$ ), kükürtdioksit ( $SO_2$ ), azot oksitleri ( $NO, NO_2$  vd. ), dir. [4]

**Patlayıcı hava**, bünyesinde patlayıcı gazları bulunduran havadır. Ocak havasında bulunan gazlar,  $C_nH_{2n+2}$  genel formülü ile belirtilen metan ( $CH_4$ ), etan ( $C_2H_6$ ), propan ( $C_3H_8$ ) vd. hidrokarbonlardır. Ayrıca hidrojen ( $H_2$ ), karbonmonoksit ( $CO$ ), kükürtlü hidrojen ( $H_2S$ ) de sayılabilir. Bunlar içinde en önemlisi metan olup hava ile karışımı 'Grizu' olarak isimlendirilen çok tehlikeli patlayıcı karışımı oluşturur. [4]

**Tozlu hava**; içinde taş ve/veya kömür tozu bulunan havadır. Taş tozları sağlığa zararlı olup, akciğer toz hastalığını meydana getirirler. Uluslararası Çalışma Örgütü'nün tanımına göre, akciğerlerde doku reaksiyonuna yol açacak toz birikimi 'Pnömkonyoz' olarak isimlendirilmektedir. Söz konusu reaksiyon silis tozlarından oluşmuş ise 'antrakoz', asbest tozlarından oluşmuş ise 'asbestoz' vb. ismini alır. Kömür tozu ise hem sağlığa zararlı hem de patlayıcı özelliğe sahiptir. [4]

Havanın kirlenme derecesi; cevherin oksijen ile reaksiyona girme potansiyeline, cevherin içerdiği gaz miktarına, , uygulanan maden çıkarma yöntemine , yeraltı şebeklerine gönderilen hava miktarına, ocakta kullanılan makinelerin türüne ve çalışma alanının boyutlarına bağlıdır. [2]

Derin ocaklarda lüzumlu hava miktarı ocak iklimine göre ayarlandığı halde, gaz tehlikesi olan ocaklar ve ateşleme işlerinin fazla yapıldığı yerlerde, zararlı gazların, fazla hava gönderilerek seyrekleştirilmesi konusu daha önemli olmaktadır. [8]

Ocakta, tehlikeli olabilecek gaz birikmelerini seyrekleştirmek ve tehlikesiz sınıra indirebilmek için bol hava vermekten başka yapılabilecek başkaca bir tedbir söz konusu olamaz. Ayrıca sağlık yönünden ocaktaki sıcaklık, toz ve neminde belirli sınırlar arasında olması istenir ki, bu hususların sağlanması ancak yeterli bir havalandırma ile elde edilir. [8]

## **1.2. Ocaktaki Gazlar**

### **1.2.1. Boğucu gazlar**

#### **1.2.1.1. Oksijen**

Renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Yanma ve solunum için olmazsa olmaz bir gazdır. Yoğunluğu  $1.42 \text{ kg} / \text{m}^3$ 'tür. Havaya nazaran 1,1 defa daha ağırdır. Yeraltı faaliyetleri sırasında oksijen azalmasına neden olana başlıca kaynaklar şöyle sıralanabilir:

- İnorganik (kayaç ve cevher) ve organik (ağaç) maddelerin oksidasyonu,
- Yangınlar, grizu ve kömür tozu patlamaları,
- Yan taşlardaki çatlaklardan yüksek miktarda  $CH_4$  ve  $CO_2$  yayılması,
- Çalışanların solunumu,
- Dizel motorların egzoz gazları,
- Açık alevli lambalar [6]

**Çizelge 1.1:** Oksijen Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi [7]

$O_2$ (%)	Etki
21	Normal nefes alma
19	Neredeyse normal nefes alma( Lamba parlaklığının %30 u azalır)
17	Nefes almada hızlanma ve zorlanma
15	Baş dönmesi, sersemleme, bulanık görme
9	Baygınlık veya bilinç kaybı
6	Nefes almada yavaşlama ve durma,ardından kalpte durma
0	Çırpınma, kasılma ve kısa sürede ölüm

Bu tablodan da anlaşılacağı üzere oksijen miktarı yeraltı ocaklarındaki yollarda ve çalışma alanlarında %19'dan az olmamalıdır. [7]

Oksijen yüzdesinin düşme nedeni, karbondioksit ve diğer gaz yüzdesinin artması değilse, çalışanların düşük oksijenli havaya alışması olasıdır. Örneğin, 4000-5000 m yüksekliğe yaşayan insanların sağlıklı oldukları bilinmektedir. Normal atmosfer koşullarındaki bir kişi dakikada 15-20 kez soluk alır ve bu sırada 5-7 litre havayı solur. Hareket halinde veya çalışma esnasında solunan hava ise 20 lt/dk'ya ve ağır çalışma halinde 40 lt/dk'ya ulaşabilir. [13]

### 1.2.1.2. Karbondioksit

Karbondioksitin formülü  $CO_2$  olup renksiz ve hafif asit kokusu olan bir gazdır. Özgül ağırlığı  $0^\circ C$  ve 760 mmHg basınçta  $1,977 \text{ kg/m}^3$  dür. Yani normal havaya ( $1,293 \text{ kg/m}^3$ ) oranla 1,5 defa fazla ağır olduğundan maden işletmelerinde karbondioksit genel olarak galerinin tabanında bulunur ve uzun süre çalışmayan ve havalandırılmayan başaşağı ve ferelerde toplanır. Karbondioksit kolaylıkla sıvı hale getirilebilir. Sıvı haldeki bu gaz ince bir delikten püskürtülecek olunursa ortamın sıcaklığını alarak soğutur ve karbondioksit karı meydana gelir. Bu özellik bilhassa ocak yangınlarında büyük anlam kazanmaktadır.

Atmosfer havasında hacim bakımından %0,03-0,04 oranında bulunur. Bu miktar nefes alma işini uyarır. Havadaki  $CO_2$  miktarı fazla olacak olursa akciğerin çalışma durumu hızlanır. Emniyet tüzüğü madde 211 gereğince ocak havasında %0,5  $CO_2$  olan yerler çalışmaya elverişli sayılmazlar. Havada %6  $CO_2$  bulunursa nefes alma zorlaşır. %10  $CO_2$  de ise artık imkansız hale gelir ve kısa süre içerisinde ölüm meydana gelir. Bu bakımdan  $CO_2$  li hava genel olarak boğucu hava olarak isimlendirilir. [8]

Karbondioksitin Çoğalma Nedenleri:

- Sıcaklık ve rutubet bakterilerin üremesine, dolayısı ile çürümeye neden olur ve bu esnada bol miktarda  $CO_2$  açığa çıkar. Daha çok hava dönüş yolları ve eski üretim bölgelerinde karşılaşılır. Bu nedenle eski imalat bölgeleri çalışanların giremeyeceği şekilde kapatılmalı gerekirse betonlanmalıdır.
- Yer kabuğunda değişik koşullar altında oluşmuş kayaçların genel olarak fiziksel veya kimyasal bozunması sonucunda ayrışması, çözünmesi ve kaynak alanlarından akarsular, rüzgar, buzullar, yerçekimi ve dalgalar yoluyla taşınarak değişik ortamlarda çökmesi ve birikmesi sonucu sedimanlar (çökeller) oluşur. Taneleri birbiri ile bağlantılı olmayan, gevşek durumdaki bu malzemenin değişik süreçlerle sıkışması, pekişmesi, ile **sedimenter kayaçlar** meydana gelir. Bunlara yakın yerlerde çalışılıyor ise sedimentasyon sırasında oluşmuş ve saklı kalmış  $CO_2$  ile karşılaşılabilir.
- Kömürün oksidasyonu sonucu çok miktarda karbonmonoksit ile karbondioksit oluşur. Uçuculuğu fazla olan kömürlerde oksidasyon hızı artar. Kömürle temas eden hava kesilmez ya da meydana gelen sıcaklık bol miktarda havayla düşürülmezse yangınlar kaçınılmazdır.
- Bir insanın solunum ile dışarı verdiği havanın yaklaşık % 4'ü karbondioksit olabilir.
- Metan veya metan-kömür tozu patlamaları sonucu ocak yangınları dolayısı ile bol miktarda karbondioksit oluşur. Yangın nedeniyle kapatılmış eski imalat bölgelerinden de, barometrik basınç değişiklikleri ile fazla miktarda  $CO_2$  ocak havasına karışır. Bu nedenle eski imalat bölgelerinin sıkıca barajlanması, denge barajlarının kurulması ve havalandırmanın iyileştirilmesi sağlanmalıdır. [13]

**Çizelge 1.2:** Karbondioksit Miktarının İnsan Sağlığına Etkisi [7]

Karbondioksit (%)	Atmosfer havası(%)	İnsanlar Üzerindeki Etkisi
1	99	Hissedilir bir etkisi yoktur
3	97	Nefes almak hafiften daha zorlaşır
5-6	95-94	Sık ve zorlu soluk alma ve başağrısı
10	90	Şiddetli acı
15	85	Narkotik etki yüzünden kısmi bilinç kaybı
18	82	Boğulma ve ölüm
25	75	Kısa sürede ölüm

Karbondioksit miktarı emniyet lambasının parlaklığına göre tesbit edilebilir. Donuk ve duman rengi ışık, ortamda en az %2  $CO_2$  olduğunu gösterir. %1 konsantrasyondan fazla yerlerde de insanlar çalıştırılmamalıdır.

**Çizelge 1.3:** Karbondioksit Sınır Değerler [7]

	Kabul edilebilir en düşük $O_2$ (%)	En fazla izin verilebilen $CO_2$ (%)
<b>Türkiye</b>	19.0	0.5
<b>Amerika</b>	19.5	0.5
<b>Rusya</b>	20	0.5

### 1.2.1.3. Azot

Atıl (inert) bir gazdır. Alevi söndürür. Renksiz, kokusuz ve tatsızdır. Yoğunluğu  $1.2505 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Oksijen azlığı nedeniyle tehlikelidir ve boğucu özelliğe sahiptir. Azot gazının artma sebepleri şunlardır:

- Organik maddelerin bozuşması,
- Patlayıcı madde ateşlemeleri,
- Tabakalaşma sırasında oluşan azot gazının kömür ve yan taş içinde depolanması ve üretim çalışmaları sırasında tek başına veya metan ile beraber yayılması,
- Terk edilmiş ocak kesimlerindeki oksijen konsantrasyonu düşük olan havanın ocağın çalışılan kesimlerine yayılması. [4]



Azot her ne kadar zehirli değilse de, hava oksijenini azaltması bakımından insan organizmasına mahsurlu olarak tesir edebilir. Ekseriya  $CO_2$  veya  $CH_4$  ile müştereken bulunur. [8]

## 1.2.2. Zehirli Gazlar

### 1.2.2.1. Karbonmonoksit

Karbonmonoksitin formülü  $CO$  olup, kokusuz, renksiz, tatsız dokulara etki etmeyen ve çok az miktarların dahi zehirli olmasından dolayı madencilerin çok korktuğu bir gazdır. [8]

Normal havada eser miktarda rastlanır. Özgül ağırlığı  $1,255 \text{ kg/m}^3$  olup havanınkine çok yakındır. Suda çok zor çözünür.  $CO$  açık mavi bir alevle yanarak  $CO_2$  yi meydana getirir ve yüksek derişimlerde patlama özelliğine sahiptir.

$CO$  gazının en tehlikeli özelliği kanın içerisindeki alyuvarlara karşı harisliği oksijene nazaran 250 defa daha fazla olmasıdır. Bundan dolayı havada az miktarda  $CO$  bulunsa dahi kan bunu hemen bünyesine alır ve karboksihemoglobin meydana gelir. ( $Hb CO$ )

Alyuvarların bünyesine girdikten sonra karbonmonoksit burdan ayrılmaz dolayısıyla hücrelere oksijen nakli yerine  $CO$  nakli yapılır, buralarda oksijen yetersizliği baş gösterir ve kanın  $CO$  ile yeterli bir doymuşluğu anında ölüm meydana gelir.

Ocak havasında karbonmonoksitin artma sebepleri;

- Kömürün oksidasyonu
- Ocak yangınları, grizu ve kömür tozu patlamaları karbonmonoksit oluşumuna neden olur. Metanın tek başına yanması (metan patlaması) sırasında karbonmonoksit oluşmaz. Ancak metanın yanması kömür tozunun da bulunduğu ortamda meydana gelirse, son aşamada kömür tozu patlaması olur ve bol miktarda  $CO$  oluşur.
- Ateşlemede kullanılan lokumların kılıfları, kömür içerisinde açılmış deliklerde kalan tozlar patlatma sırasında tam yanmadığından  $CO$  meydana getirir.
- Patlarlı motorların egzoz gazları hacimce %3,5–7  $CO$  içerebilir. [13]

Karbonmonoksit teneffüsü ile önce başağrısı başlar, sonradan baş dönmesi, denge bozukluğu ve kendini kaybetme durumları meydana gelir. Sık teneffüs sonucu meydana gelen sonraki etkiler fazla olmaktadır, bilhassa kalp rahatsızlıkları, konuşma ve sinir sistemindeki arazlar ve akli muvazene bozuklukları gibi. [8]

Karbonmonoksit zehirlenmesinin hızı ve derecesi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Hava içindeki CO derişimi,
- Birim zamanda solunmuş olan hava miktarı,
- Kan dolaşım hızı (dinlenme veya çalışma halinde bulunmadaki farklılık),
- Zehirli özellikteki havanın devamlı veya aralıklı solunuyor olması. Örneğin sigara dumanı %5-7 oranında CO içerebilir. Ancak dumanın aralıklı olarak solunması nedeniyle önemli zehirlenme olmaz.

Çizelge 1.4’de değişik karbonmonoksit konsantrasyonlarının, solunum süresine bağlı olarak ortaya çıkardığı durumlar görülmektedir. Karbonmonoksitin müsaade edilen tehlikesiz maksimum konsantrasyonu % 0.005 'tir (50 ppm)

**Çizelge 1.4:** Karbonmonoksit Tehlike Sınırları [9]

Konsantrasyon(%)	İzin verilebilir maruziyet süresi
0.01	Birkaç saat maruz kalınabilir
0.04-0.06	Farkedilmeden 1 saat normal nefes alınabilir
0.06-0.07	1 saatten sonra farkedilebilir etki gösterir
0.07-0.12	1 saatten sonra rahatsız eden fakat tehlikeli olmayan etki gösterir
0.12-0.20	1 saat maruziyet tehlikelidir
0.20-0.40	1 saatten az maruziyet tehlikelidir
≥0.40	1 saatten az sürede ölüme yol açar

**Çizelge 1.5:** CO Derişimi ve Klinik Bulgular [10]

Kan CO düzeyi(%)*	Klinik Bulgular
%10-20	Bulantı, yorgunluk, taşipne, duygusal dengesizlik,konfüzyon,sakarlık
%21-30	Baş ağrısı,efor dispnesi, angina, görme duyusunda değişiklikler, çevreye uyumda hafif yetersizlik, tehlikeye karşı tepki vermede zayıflık, hafif güç kaybı, duyularda zayıflama
%31-40	Baş dönmesi,sersemlik, bulantı, kusma, görme bozuklukları, karar almada yetersizlik
%41-50	Bayılma, bilinç değişiklikleri, unutkanlık, taşikardi, taşipne
%51-60	Nöbetler , koma, belirgin asidoz, ölümlerle sonuçlanabilir
%60 üzeri	ölüm

Hava ile %13-75 oranlarında karışımı patlayıcı özelliğe sahip olup en tehlikeli derişim %30 civarındadır. [8]

### 1.2.2.2 Azot oksitler

Azot oksitleri;  $N_2O$ ,  $NO_2$ ,  $NO$ ,  $N_2O_3$ ,  $N_2O_4$ ,  $N_2O_5$  şeklinde bulunurlar. Ancak, en çok stabil olan Azotperoksit ( $NO_2$ ) halinde bulunur.  $N_2O$  hariç tümü zehirlidir.  $NO$  oksijenli bir ortamda derhal  $NO_2$  haline gelir.  $NO_2$  ağır ve kırmızı-kahve renginde olup, patlayıcı madde dumanlarının karakteristik rengini verir. Göz, burun, ağız ve akciğer mukozasını tahriş eder.

Çiğerlerde nitrikasit (ödem) oluşturduğundan yapay solunum veya temiz havanın yararı olmaz. Bu nedenle patlatma işlemlerinden sonra çok dikkat edilmelidir.

Gaz konsantrasyonu  $NO_2$  cinsinden ölçüldüğüne göre %0,006 da öksürük başlar; %0,01-%0,015 arasında kısa süreler için dahi tehlikeli olur; %0,02-0,07 de kısa sürede ölüm meydana gelir. [8]

Azot oksitlerin tayini, ıslatılmış kontrol kağıt şeritleri ile yapılır. Bu kağıt şeritler potasyumiyodür eriyiğine batırılmış olup, azot oksit gazı ile temasta, kağıt şerit siyahlaşır. Bunun yanında azot oksitin geniz üzerinde yaptığı etkiden dolayı kendini derhal belli eder.

Tehlikesiz kabul edilebilecek azot oksitleri oranı %0,00025 dir. Emniyet sınırı ise %0,003 tür. Azot oksitleri az miktarda solunduğunda akciğerlerde toplanır ve nitrik asit oluşturur. [13]

### 1.2.2.3 Hidrojen Sülfür ( $H_2S$ )

Hidrojen sülfür; renksiz, çürük yumurta kokusunda olan bir gazdır. Yoğunluğu  $1.54 \text{ kg/m}^3$  tür, yani normal havaya oranla 1,19 defa daha ağırdır. Fakat hava ile iyice karışabilir. Yanıcı bir gazdır ve hava içerisinde %6 oranında patlayıcı özelliğe sahiptir. Fakat hava içerisinde pek ender olarak bu konsantrasyonda bulunur. Suda çok kolay çözünür.

$H_2S$  çok fazla zehirli olan bir gazdır. Göz ve çiğer dokuları üzerinde etkisini %0,01 de göstermeye başlar ve birkaç saat içerisinde hafif zehirlenme belirtileri görülür.

%0,05-0,07 hayat bakımından tehlikeli olup,  $\frac{1}{2}$ -1 saat içerisinde tehlikeli zehirlenmeler görülür. %0,07-%0,1 bayılma, solunum daralması ve ölüm; %0,1

üzerinde ise ani ölüm meydana gelir.  $H_2S$  en düşük oranlarda dahi derhal kokusundan belli olur. Ancak devamlı  $H_2S$  li ortamda kalındığı takdirde, burnun koku alma duyarlılığı azalır.

Emniyet sınırı 8 saatlik bir çalışma süresi için % 0,002 dir. [8]

**Kükürtlü Hidrojenin Oluşumu :**

- Organik maddelerin çürümesi önemli bir oluşum sebebidir. Dolayısı ile sulu, yavaş ilerleme kat edilen veya geciken tünel kazılarında oldukça dikkatli olunmalıdır.
- Pirit, jips vb. minerallerin su ile ayrışma sonucunda çokça  $H_2S$  oluşur. Bu nedenle, söz konusu mineralleri içeren kayalar geçilirken özen göstermek gerekir.
- Kükürtlü gaz çıkaran volkanik kaynaklardan yayılma olabilir.
- Ateşleme işlerinde tam olmayan patlatmalar, ateşleme kablolarının yanması bir diğer oluşum sebebidir. [6]

#### **1.2.2.4 Kükürtdioksit ( $SO_2$ )**

Havadan daha ağır, renksiz, kuvvetli kükürt kokulu, yanmaz, tahriş edici ve boğucu bir gazdır. Çok düşük konsantrasyonlarda bile hissedilir ve gözleri tahriş edebilir. Çok zehirlidir ve %0.05 konsantrasyonda çok kısa sürede ölüme neden olur. Müsaade edilebilir maksimum derişimi % 0.0007 'dir.

Sülfürlü cevherler (özellikle pirit) veya yan taş içinde yapılan patlayıcı madde ateşlemeleri ve yine sülfürlü ocaklarda meydana gelen yangınlar ile ocak havasında derişimi artabilir. [4]

Patlatma yapılan arın bölgesinde aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

- Etkili bir havalandırma sağlanmalı,
- Ateşlemelerden önce arın ve yan taşlar su spreyi ile ıslatılmalı,
- Lağım delikleri ıslak kil ile iyice sıkılmalı,
- Ateşlemeler vardiya sonuna bırakılmalı,
- Ateşleme personeline gaz maskesi verilmelidir. [6]

### 1.2.3. Patlayıcı ve diğer gazlar

#### 1.2.3.1 Metan

Metanın formülü  $CH_4$  olup kokusuz ve renksiz bir gazdır. Özgül ağırlığı 0,716  $kg/m^3$ , yani normal havaya oranla daha hafiftir. Bu özelliğinden dolayı da ocak içerisinde tavan kısımlarında daha fazla toplanır. Ayrıca dağılabilmek özelliği havaya nazaran 1,6 defa daha fazla olduğundan kolaylıkla her tarafa nüfuz edebilir. Hava ile karışması halinde tekrar ayrılmasına hiç imkan yoktur. [8]

Esas olarak  $C_nH_{2n+2}$  genel formülü ile bilinen hidrokarbonların gaz elemanlarının (metan, etan, propan ve butan) birlikte düşünülmesi gerekir. Bu gazların bir tanesinin yada birkaçının hava ile karışımına "GRİZU" adı verilmektedir. [6]

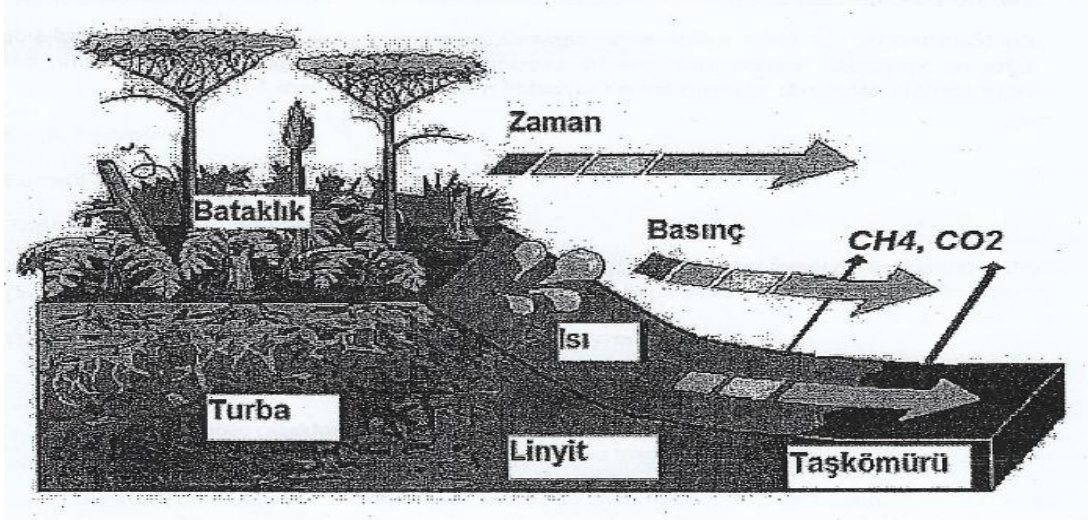
Grizu, madencilikte esas itibariyle metandan oluştuğundan, "grizu" ve "metan" kelimeleri genellikle aynı anlamda kullanılır. [24]

Sedimentasyon sırasında bitki artıklarının parçalanması ile bol miktarda oluşur ve kayaç içinde saklı kalır. Metan sadece kömürde değil, kaya tuzu, potas, kükürt ve demir cevherinde de görülebilir. Bu yüzden sedimanter kayaçlarda veya cevher yataklarına yakın yerlerde yapılacak maden kazılarında metana rastlanabilir. [6]

Emniyet Tüzüğü Madde 211 gereğince %2 veya daha fazla metan bulunan ortamlar çalışmaya elverişli değildir. Buraların derhal terk edilmesi gerekir. Emniyet Tüzüğü 237 gereğince ise, ayaklarda ve damar içi yollarda  $CH_4$  oranının %1,5; hava dönüş yollarında %1 den fazla olmaması öngörülmüştür. [8]

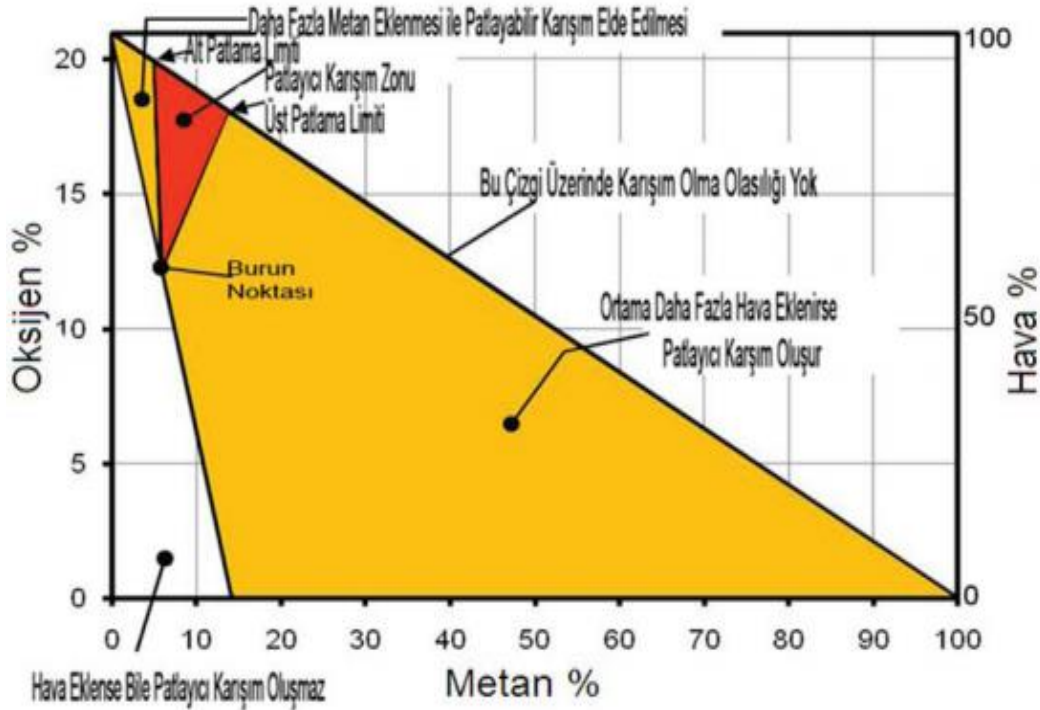
Metan gazı kömür damarı içinde; kömürdeki mikro gözeneklerde, gözenek iç yüzeylerine fiziksel olarak bağlı durumda, makro gözeneklerde ise çatlaklarda ve kırıklarda serbest durumda bulunur. [4]

Metan esas itibariyle zehirli bir gaz olmamasına rağmen oksijen oranını düşürdüğünde asfiksi sonucu ölüm meydana gelebilir.



Şekil 1.2: Kömürleşme Sürecinde Metan Gazı Oluşumu [4]

Asıl tehlike metan gazının patlayıcı ve yanıcı olmasından ileri gelir. Tam yanma metan hava oranının 1/11 olduğu durumda veya %9,5 konsantrasyonda olur. Ancak yanmayı doğuran kaynağın cinsi, süresi ve şiddeti, karbondioksit ve su buharının varlığı, basınç ve galerinin şekli de etken olduğu için tehlikeli patlama konsantrasyonu %5–15 olarak kabul edilir. Patlama için gerekli sıcaklık 650–750°C’dir.



Şekil 1.3: Havada Bulunan Metan ve Oksijenin Hacimsel Yüzdeleri İle Patlama Riski Oluşturmasının Coward Üçgeni Üzerinde Gösterilmesi [13]

Ocak havasında metan konsantrasyonu %5'in altında ise patlama olmaz, yanar. Fakat yüksek sıcaklıkta (100°C'de %5,5, 175°C'de %5, 250°C'de %4,5, 600°C'de %3 konsantrasyonda) patlama olabilir. %15'in üzerindeki konsantrasyonda, 0,53 olan yüksek özgül ısı ve oksijenin azalması (oksijenin %12'nin altında olduğu durum) yüzünden patlama durumu ortadan kalkar. Karışımda başka patlayıcı ve yanıcı gazlar varsa patlama sınır değerleri değişebilir.

### 1.2.3.1.1 Metanın patlama nedenleri

- Doldurma, temizleme ve sıkılama gibi patlatma öncesi hazırlıklarda yapılan teknik hatalar ile patlayıcı madde seçimi ve miktarının hesaplanmasındaki yanlışlıklar sonucu oluşan ısı, metanı kolaylıkla patlatabilir. En önemli ve sık görülen bir kaynaktır.
- Kibrit, çakmak vb. kızarmış emniyet lambası kafesi ocak yangınlarına sebebiyet verebilir, dolayısı ile metan patlamalarındaki önemli nedenlerdendir.
- Arızalı ve bakımsız elektrik şebekeleri, dişli kutuları , kısa devre vb. yüksek ısı bakımından en tehlikeli kaynaklardır.
- Çok sıcak olan egzoz gazları metanı patlatabilir. Egzoz gazlarını soğutmak sureti ile tedbir alınabilir.
- Tavan kırılmalarında, kuvars taneleri, sürtünme sonucu kıvılcım çıkartabilir ve dolayısıyla ayak arkasında tavan boşluklarında toplanmış olan metanı patlatabilir.
- Delici makine uçlarının sıkışarak ısınması önemli bir patlama kaynağıdır.
- Metallerin birbirine sürtünmesi sonucu açığa çıkan ısı önemli bir patlama kaynağı olup yeraltı çalışmalarında sıklıkla rastlanır. Bu nedenle vantilatör kanatları alüminyumdan imal edilir ve %6'dan fazla magnezyum içermez. Madeni direk kırılmaları da kıvılcım üretebilir. Hareketli makine parçalarına dikkat edilmelidir.
- Pnömatik dolgu, basınçlı hava vb. sistemler statik elektrik ile yüklenebilirler. Bu sistemlerin uç kısımlarından veya kaçak sebebi ile deşarj olabilirler. [13]

### 1.2.3.1.2 Kömür damarlarının içerdiği metan gazı miktarını etkileyen faktörler

Kömür sahip olduğu kolloidal yapısı gereği hacminin 1 ila 40 katı kadar metan gazı içerebilmektedir.

- **Gaz basıncı** : Genel olarak damarın derinliği arttıkça, gerek artan statik basınç, gerekse gaz oluşum sürecinde atmosfere gaz kaçaklarının çok azalmış olması nedeniyle gaz basıncı, dolayısıyla metan içeriği de artmaktadır.
- **Kömürleşme derecesi (Rank)** : Kömürlerin gaz adsorplayabilme kapasitesi, diğer bir deyimle metan içeriği kömürleşme derecesi ile birlikte artış göstermektedir.
- **Nem içeriği** : Belli bir basınçta kömürlerin gaz adsorpsiyon kapasitesi belli bir noktaya kadar artan nem içeriğine bağlı olarak azalır. Kömür türlerine göre değişen bu kritik noktadan sonra, nem içeriği artsa bile metan adsorpsiyon kapasitesinde önemli bir azalma meydana gelmez.
- **Gözenek boyutu** : Kömürlerin iç yüzey alanı büyüdükçe adsorpsiyon kapasiteleri de artmaktadır. İç yüzey alanının büyüklüğü ise gözenek boyut dağılımının bir fonksiyonudur. Adsorpsiyon olayında doğrudan etkisi olan mikro gözeneklerin, kömürün gözenekliliği içindeki payının kömürleşme derecesine paralel olarak arttığı belirlenmiştir.
- **Sıcaklık** : Artan sıcaklıkla birlikte kömürlerin gaz adsorpsiyon kapasiteleri de azalmaktadır. [4]

### 1.2.3.1.3 Metan yayılımı

Metan gazının yayılması üç farklı şekilde gerçekleşmektedir;

- Normal yayılmada yeraltı çalışmaları sırasında yeni yüzeylerin açılmasıyla birlikte metan gazı ocak havasına karışır. Bu yayılma mikro çatlaklar ve gözenekler yoluyla gelişir, davamlıdır. Ocakların gazlılık sınıflaması yapılırken esas alınan yayılma şeklidir. Ocakların gazlılığı, genellikle üretilen beher ton kömüre karşılık yayılan metan miktarı olarak belirtilir. ( $m^3/t$ )
- Üflenerek yayılma; metan gazının fay zonlarından, gözle görülebilen çatlaklardan veya sondajlardan fazla miktarda, bir vantilatörden üflenirmiş gibi yayılmasıdır. Genellikle kuyu açma ve rekup galerilerinin sürme



çalışmaları sırasında, gözenekli kum taşlarında karşılaşılmaktadır. Çatlaktan önce su gelmekte, zamanla su miktarı azalmakta ve onun yerini metan gazı almaktadır. Birkaç saat veya gün devam eden üflenerek yayılma olayları yanında yıllarca devam eden olaylara da rastlanmıştır.

- Ani Gaz ve Kömür Püskürmesi; yüksek basınçlı metan gazının arını parçalaması ve sürüklediği kömür postası ile birlikte kazı boşluğunu doldurmasıdır. Çok kısa süre içinde binlerce metreküp gaz açığa çıkmakta ve kömür postası serbestleşmektedir. [11]

#### **1.2.3.1.4 Metan Drenajı**

Metan drenajı, yanıcı gaz ve hava karışımlarının yol açtığı tehlike riskini azaltmak amacıyla yapılan gaz tasfiye işlemidir. Bu nedenle metan drenajı koruyucu bir patlama önleme tedbiridir.

Madencilik endüstrisinde, gazlı yeraltı madencilik operasyonlarından, sondajlardan ve terk edilmiş madenlerden açığa çıkan metan, maden işçilerinin çalıştıkları alanlarda patlayıcı ortam oluşumuyla ilgili tehlikelere maruz kalmamalarını temin etmek amacıyla drene edilir. Bu gibi durumlarda, patlama tehlikesi, atık alanlarında ve kömür damarından kömürün alınmasından sonra, kayaç tabakasındaki boşluklarda oluşan ve istenmeyen metan birikmelerinden kaynaklanır.

Terk edilmiş madenlerde metan drenajı;

- Gaz basınç artışı ve yerüstüne kontrolsüz gaz çıkışını önlemek,
- Komşu madendeki işçileri korumak
- Isı veya elektrik üretmek için, örneğin gaz yakıtlı bir kazanda yakılmasını sağlamak amacıyla yapılır. [24]

#### **1.2.3.2 Hidrojen**

Renksiz, tatsız ve kokusuz bir gazdır. Bilinen gazların en hafifidir. Zayıf, parlak, çok sıcak bir alevle yanar. %4 -%75,6 oranlarında patlayıcıdır. En tehlikeli derişimi %28,6 dır. [13]

Ocaklarda hidrojen oluşumuna neden olan başlıca kaynaklar;

- Şarj edilen aküler,

- Kömür ve potas ocaklarında sıklıkla rastlanır. Yantaş ve kömür bünyesinde bulunur.ve ani gaz püskürmelerinde  $CH_4$ ,  $CO_2$  ve  $N_2$  ile birlikte %84-93 oranlarında yayılır.
- Ocak yangınlarında ve oksidasyon sırasında ayrışma ürünü olarak oluşur. [13]

### 1.2.3.3 Radyoaktif gazlar

Radon, renksiz, tatsız ve kokusuz bir gazdır. Radyoaktif bir metal olan radyumun stabil özellikteki kurşuna dönüşümü sırasında meydana gelir. Diğer iki doğal izotopu Toron (Radon 220) ve Aktinon (Radon 219) dur.

Toprakta önemli oranda radyoaktif radon bulunmaktadır. Çatlaklarda sızmak suretiyle atmosfere karışabilir veya suda çözünme özelliği nedeniyle suyla taşınabilir.

### 1.3. Ocak Havasının Bileşenleri, Fizyolojik Etkileri, Sınır Değerler

Havadaki oksijen miktarı azalmasının organizma üzerindeki fizyolojik etkileri yüzdeler konsantrasyonuna göre farklılık göstermektedir. Oksijen miktarının %18'e kadar düşmesi önemli bir etki oluşturmamaktadır. Değerin %18'den aşağıya doğru düşmesi ile birlikte, solunum hızı ve nabız artmakta, bulantı, kulaklarda uğultu ve çınlama gibi belirtiler görülmektedir. %10'un altındaki konsantrasyonlarda kısa sürede koma durumu ortaya çıkar. %5'in altında çok kısa sürede ölüm meydana gelir. [4]

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 amacı ile önleyici faaliyetler ve kurtarma çalışmaları dışında çalışılmaz. 8 saatlik çalışma için müsaade edilen en yüksek hidrojen sülfür oranı 20 ppm (% 0,002)'dir." [14]

22.10.1984 tarih ve 18553 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren 'Maden ve Taş Ocakları ile Açık İşletmelerde Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tedbirleri Hakkındaki Tüzük (Maden Emniyet Tüzüğü 'MET')'ün 162. maddesinde; çalışma ortamı havasında bulunacak oksijen, metan ve karbondioksit gazları için sınır değerler verilmiştir. Bu madde gereğince, havasında %19'dan az oksijen bulunan yerlerde çalışılmaz.

Karbondioksit oranının %3'e çıkması durumunda nefes alma sıklığı iki katına çıkmakta, %10'un üzerinde kısa sürede bayılma ve koma gelişmektedir. %20 dolayında kısa sürede ölüm meydana gelmektedir.

Maden Emniyet Tüzüğü Madde 162 gereğince, havasında %0,5'den fazla karbondioksit bulunan ocaklarda çalışamaz.

Karbonmonoksit gazının solunması sonucu düşük konsantrasyonlarda yorgunluk, sıkıntı, bulantı, düşünme zorluğu, uyuşukluk ve uyuklama, baş dönmesi vb. belirtiler ortaya çıkar. Yüksek konsantrasyonlarda kusma, hipotansiyon (düşük kan basıncı), kas koordinasyonunun kaybolması, bilinç kaybı, koma ve ölüm meydana gelir. Zehirlenmenin hızı aşağıdaki faktörlere bağlıdır.

- Havadaki *CO* konsantrasyonu,
- Birim zamanda solunan hava miktarı,
- Kan dolaşım hızı (çalışma, dinlenme durumlarındaki farklılık),
- Zehirli özellikteki havanın devamlı veya aralıklı solunuyor olması.

Azot oksitler göz, burun, ağız ve akciğer mukozasını tahriş eder. Kandaki hemoglobin ile taşınır; akciğer sıvısıyla birleşmeleri sonucu nitrik asit meydana gelir. Havadaki azotoksit konsantrasyonu az ise etkisi sınırlıdır. Ancak zamanla birikerek özellikle solunum yolları hastalıkları olanlarda tehlikeli durumlara yol açabilir.

Hidrojen Sülfür'ün düşük seviyelerinde göz ve solunum organlarında yanma, baş ağrısı, güçsüzlük görülür. Ortam havasındaki  $H_2S$  konsantrasyonu arttıkça öksürük, dispne [nefes darlığı, soluksuzluk (havasızlık duygusu veya hava açlığı) ve solunum güçlüğü], baş dönmesi, bulantı ve bilinç kaybı ortaya çıkar. Çok yüksek konsantrasyonlarda ani bilinç kaybı, miyokart infarktüsü (kalbin koroner kan dolaşımının belli bir bölgede yetersiz kalması sonucu, o bölgedeki kas dokusunun ölmesi) ve kardiyopulmoner arrest (kalbin ve solunum işinin durması) meydana gelir.

Solunan yüksek konsantrasyondaki kükürtdioksitin %95'i üst solunum yollarından absorbe olur. Bunun sonucu olarak bronşit, amfizem (solunum yetmezliğine yol açan kronik akciğer hastalıklarından biri), vb. diğer akciğer hastalıklarının belirtileri ortaya çıkar. Havada %0,02 oranında olması durumunda gözleri tahriş eder; %0,05'te ise kısa sürede ölüme yol açar.

Radyasyon (ışınım) etkisinde kalan hücreler aldıkları ışınım enerjisine bağlı olarak canlılıklarını yitirebilir veya mutasyona uğrayabilirler. Mutasyona bağlı kanser süreci

diğer karsinojenlerin neden olduğu süreci hızlandırabilir. Radona bağlı olarak meydana gelen risk, doz ve etkilenme süresine bağlı olarak artar. Radon gazı etkilenmesinin akciğer kanseri riskini önemli ölçüde arttırdığı ileri sürülmektedir. Epidemiyolojik araştırma sonuçları, sigara içenlerde etkilenmenin hızlandığını ortaya koymuştur.

Bu bilgilere ek olarak; yeraltı çalışmalarında patlama riskini oluşturan metan gazının alev alma sıcaklığı; ısı kaynağının türüne, karışımdaki metan yüzdesi ile içerdiği yabancı maddelerin oranına, karışımın basıncına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle 650-750°C aralığında kabul edilmektedir. Patlama sonrası ortam sıcaklığı 1800-2650°C ye kadar çıkabilmektedir. Yeterli konsantrasyona ulaşan metan gazının patlayabilmesi için gerekli ısı aşağıda belirtilen olaylar sonucu meydana gelmektedir.

- Patlayıcı madde ateşlemeleri,
- Ocak yangınları ve açık alev,
- Elektrik arkları,
- Egzoz gazları,
- Kayaçların birbirine sürtünmesi,
- Metallerin birbirine sürtünmesi,
- Statik elektrik.

Ayrıca Maden Emniyet Nizamnamesi ( 28.05.1953 tarih ve 4/922 sayılı ) ocak yollarındaki hava hızını ve tehlikeli gazların hava içindeki oranlarını kısıtlamıştır. M.E.N. Madde 10, normal personel ve malzeme nakliyede kullanılmayan kuyular ve benzeri ana lağımlar ve ana nefeslik yolları dışında, izin alınmadıkça, kuyulardaki hava hızının 10 m/s i, diğer meyilli ve düz yollarda 8 m/s i geçemeyeceği hükmünü taşımaktadır.

Nakliyat için yeterli olan kuyu ve galeri kesitleri, gerekli miktardaki havayı ocağa sevk edebilmek bakımından elverişli olmayabilir ve böyle durumlarda kesitleri genişletmek zorunlu bulunabilir. [11]

## 2. OCAK HAVASINDAKİ TOZLAR

Katı maddelerin ufalanması sonucu meydana gelen, çapı 1 mm den küçük, hava içinde asılı kalabilen veya zamanla çöken parçalara toz adı verilir. [4]

Yeraltı madenciliğinde hazırlık, üretim, doldurma, boşaltma, kırma, eleme ve nakliye çalışmaları sırasında cevher ve yan taşın özelliklerine bağlı olarak toz oluşmaktadır. Yer altı ocaklarında tozun büyük kısmı, cevherin mekanik işlemlerle küçük parçacıklar haline dönüşmesi, çok az bir kısmı ise madenin havalandırılması esnasında tozun ocak içerisine taşınmasıyla oluşur. Oluşan tozlar, sağlığa zararlı (taş ve kömür tozu) veya patlayıcı (özellikle kömür tozu) olabilir. [13]

Tozlar tane büyüklüğüne göre üç sınıfa ayrılmaktadır.

- Normal toz, çapı 10 um (mikron; 1 um=1/1000 mm) den büyük tozlardır. Durgun havada gittikçe artan bir hızla yere doğru hareket ederler.
- İnce toz, çapı 0,1-10 um arasındadır. Durgun havada sabit bir yere doğru hızla hareket ederler.
- Çok ince toz, çapı 0,1 um den daha küçük olan tozlardır. Hava içinde gaz moleküllerine benzer şekilde hareket ederler. Devamlı hareket halindedirler yere çökmezler. [4]

Madencilik işletmelerinde üretilen mineralin cinsine ve yan taşa göre toz meydana gelmektedir. Cevherin hazırlanmasında, yüklenmesinde, nakliye sırasında, boşaltmada oluşan toz, ocak havasına karışmakta ve muhtelif ocak tahkimatı üzerine birikmektedir. [8]

Toz, çalışma ortamında görüş mesafesini azaltarak iş kazalarına ortam hazırlamaktadır. Ayrıca gözü tahriş ederek alerjik reaksiyonlara neden olmakta, çalışanları psikolojik açıdan olumsuz yönde etkileyerek iş verimini düşürmektedir. Makinelerin hareketli kısımlarına girerek veya yağlama maddelerine karışarak aşınmaları artırmakta, elektrik donanımlarına zarar vermektedir. [4]

Maden işletmelerinde meydana gelen bu tozlar bir taraftan insan sağlığına zararlı olan tozlar, diğer taraftan da patlama tehlikesi göstermesi bakımından, gerek insan

hayatı gerekse madenlerdeki donanımların tahribine yol açan tozlar olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Bunlardan ilki kömür tozları, ikincisi ise taş tozlarıdır. [8]

## **2.1. Kömür Tozu**

Tane büyüklüğü 0,3 mm altındaki olan bütün kömür tanecikleri, kömür tozu olarak isimlendirilmektedir. 0,075 mm tane büyüklüğü altındaki bütün kömür tozu tanecikleri ise ince toz sınıfına girmektedir. İnce toz miktarı, kömürün özelliğine, bilhassa sertliğine göre oldukça değişik çoklukta olmaktadır. Kömür tozundaki ince toz kısmının miktarı, bunun uçucu özelliğe sahip olması ve patlayabilme niteliğinden dolayı önemli olmaktadır. [8]

### **2.1.1. Kömür tozunun meydana gelişi**

Kömür tozunu meydana getiren kaynaklar kayaç basıncı, üretim, nakliye ve kömürün yerüstüne çıkarılması hususlarıdır.

Kayaç basıncının tesiriyle kömür damarında, henüz daha üretime geçilmeden önce toz meydana gelir. Bu husus bilhassa yumuşak kömürlerde fazla olur. Madenci kömürün kazılması sırasında çatlaklar arasında bunlara rastlar. Kömürün üretimi sırasında kömür tozu her durumda meydana gelir; bilhassa mekanize kömür üretiminde, delik delme, martopikörle çalışmada veya ateşleme işlerinde çok görülür.

Farklı nakliye donanımları ile kömürün hareketi sırasında oldukça büyük bir toz kaynağı oluşur. Nakledici donanımların üzerinde, bantlarda, sallantılı oluklarda, spiral oluklarda ve vagonlarda sürtünmeden dolayı devamlı kömür tozu meydana gelir.

İşçilerin ocak yollarında yürümesi, bant ve sallantılı oluklardan yere düşen kömür parçalarının ufalanmasına ve dolayısıyla toz meydana getirmesine neden olmaktadır. Kuyuya doğru gelen toz miktarı da çok fazla olabilir. Bu husus eleme yerinin hava giriş kuyusunun yanında bulunması halinde olur. Tozlanma eğilimi olan kömürde fazla toz meydana gelir ve bu hava akımı ile kuyudan ocak içerisine taşınır.

Kömürün tozlanmaya karşı eğilimi ve toz meydana gelişi farklı kömür cinslerinde ve damarlarda çeşitli olmaktadır. Bunlar genel olarak iki özel duruma bağlıdır. Madde miktarı ve kömürün sertliği. Madde miktarında fusit önemlidir, çünkü fusit kolaylıkla

toz haline gelmektedir. Sert kömürde kayaç basıncı ile kömür tozu meydana gelişi ve bundaki ince toz oranı, yumuşak kömüre nazaran daha azdır. [8]

### **2.1.2. Kömür tozunun ocakta dağılması**

Üretimde meydana gelen kömür tozu kısmen oluş yerindeki tabanda, kısmen ise buraya yakın kömür arınında ve tahkimat üzerinde birikir, bilhassa hava yollarına taşınır. Diğer bir kısmı ise, mesela bantlardan vagonlara kömürün doldurulmasında serbest olarak havaya karışır, hava akımı ile hava dönüş yoluna taşınmadığı müddetçe de galeri yüzeyleri ve tahkimat üzerine çöker. Nakliyat vagonunda meydana gelen toz, nakliyat yolunda karşıdan gelen hava akımı ile uçarak ocak içerisine girer. İnce tozun bir kısmı ise ocak havasında askı halinde kalır. [8]

### **2.1.3. Kömür tozunun patlama tehlikesi**

Kömür tozunun sağlığa olan etkisinden daha önemli olan bunun patlayabilme durumudur.

Havada girdaplanmış halde bulunan kömür tozu, patlayıcı gazlar gibi patlama özelliğine sahiptir. Yerde birikmiş halde bulunan kömür tozu, herhangi bir sebeple girdaplaşacak olursa ve bu anda kömür tozu bulutunun ateşlenmesi için yeterli bir ısı mevcutsa, kömür tozu patlamaları meydana gelir.

Kömür tozu patlamalarına etki eden fiziksel şartlar kömür tozunun tane büyüklüğü, havadaki konsantrasyonu, uçucu madde miktarı, nemi ve içindeki kül miktarıdır.

Kömür tozunun ateş alma mekanizması ve patlama seyrinin araştırılması üzerine çeşitli teoriler mevcuttur. Bazı bilginler kömür tozu patlamalarının gaz fazında olduğunu ve kömür taneciğinin ısınması neticesinde açığa çıkan uçucu maddenin ve bu reaksiyonu meydana getirdiği düşüncesini ileri sürmektedirler. Buna karşı bazı araştırmacılar ise, patlamayı kömür taneciğinin dış yüzeyindeki oksidasyon olayına bağlamaktadırlar. Kömür taneciği ve açığa çıkan uçucu madde miktarının patlamayı müştereken meydana getirdiği görüşü ise son senelerde daha fazla önem kazanmıştır.

Kömür tozunun patlaması için lüzumlu olan ısı kaynağı grizu patlamalarına nazaran daha fazladır. Patlama, ancak çökmüş olan tozun girdaplanarak havaya karışması esnasında oluşur. Bunun için, kuvvetli bir hava darbesi lüzumludur. Kömür tozunu girdaplaştırmak için lüzumlu olan yüksek enerji yanında, toz bulutunun ateşlenmesi için de büyük ısı enerjisine ihtiyaç vardır. Kömür içinde bulunan uçucu maddeler

dışarı çıktıktan sonra, münferit toz taneciklerinin etrafında yanarak, lüzumlu ısı enerjisini meydana getirmektedir.

Kömür tozunun patlama eğilimi hakkında bir diğer kriter ABD’de esas alınan ‘Uçucu– Yanıcı Oranı’ dır. Bu indeks, uçucu madde miktarının uçucu madde ile sabit karbon miktarları toplamına bölünmesiyle elde edilmektedir. Bazı Avrupa ülkelerinde ( Polonya gibi ) ise, kömür tozunun patlayabilirliği sadece uçucu madde içeriğine göre belirlenmektedir. Örneğin, uçucu madde oranı %12’den az ise, tozlar tehlikesiz olarak değerlendirilmektedir. [4]

#### **2.1.4. Kömür tozu ve grizu karışımının birlikte patlaması**

Bu tip patlamalarda gerek kömür tozu gerekse grizu müştereken, fakat birbirlerini takiben olaya girerler. Kömür ocaklarında görülen patlamalar bu sınıfa girerler. Patlamaya ister önce kömür tozu sonra grizu veya önce grizu sonra kömür tozu sebep olsun, bu tip patlamalar karışım patlamaları olarak isimlendirilmektedir. [11]

Kömür tozu ve grizunun patlamalarında oynadıkları roller çok farklı olabilir. Kömür tozu alt patlama sınırına uygun olacak şekilde kafi bir yoğunlukta girdaplanmışsa bu mevzii bir grizu patlamasının genişlemesi veya kuvvetlenmesine sebep olabilir.

Kömür tozu ayrıca grizunun komşu ocaklara taşınmasında bir rol oynayacağı gibi, patlamaya elverişli olmayan grizu bünyesinden verdiği gazlarla patlamaya elverişli bir duruma sokabilir.

Grizu da keza kömür tozu patlamalarını meydana getirir ve bunun şiddetine etki edebilir. Patlamaya elverişli olmayan grizu, patlamaya müsait olmayan kömür tozu girdaplaşmalarındaki toz yoğunluğunu ateşlemeye ve dolayısıyla bir kömür tozu patlamasına sebep olabilir. Patlamaya müsait olmayacak derecedeki mevzii grizu birikmeleri mevcut bir kömür tozu patlamasını daha da şiddetlendirebilir.

Grizu patlamasının önce meydana gelmesi, bunun neticesinde husule gelen basıncın yere çökmüş halde bulunan kömür tozunu girdaplandırması ve mevcut olan yüksek sıcaklığın kömür tozunu ateşlemesi, dolayısıyla da kömür tozu patlamalarını meydana getirmesi en tehlikeli olan husustur. [8]

Kömür tozundan başka tozlar da patlama özelliğine sahiptir. Böyle tozların, bir kısmının alt patlama sınır konsantrasyonları, patlama sıcaklıkları ve patlama sonucu



oluşan maksimum basınç, kömür tozuna ait değerlerle birlikte aşağıdaki tabloda verilmiştir. [11]

**Çizelge 2.1: Patlama Özelliğine Sahip Tozlar [11]**

Oinsi	Alt Patlama sınırı (gr/m <sup>3</sup> )	Patlama Sıcaklığı (°C)	Maksimum Basınç (kPa)~(10 <sup>4</sup> kg/m <sup>2</sup> )
Alüminyum	25	645	614
Demir	250	425	248
Magnezyum	20	530	496
Titan	45	480	359
Çinko	480	600	248
Kömür	60	610	317

Kömür tozu patlamalarına neden olmamak için toz oluşumu ve grizu birikimi önlenmelidir. Bundan başka, pek doğal olarak, ateşleme nedenleri giderilmelidir. Bu yeterli değilse olabilecek bir patlama frenlenmeli ve yerinde tutulmalıdır. Bu amaçla taş tozu barajları, su barajları gibi yöntemler uygulanmaktadır. [11]

## 2.2. Taş Tozu

İnsan sağlığını etkilemesi nedeniyle önem taşır. Toz oluşumuna neden olan kaynaklar üç bölümde toplanabilir.

1. Primer kaynaklar ( Tozu oluşturan kaynaklar )
  - Kazı makineleri
  - Kırma işleri
  - Arının ve topukların basınç altında parçalanması [4]
2. Sekonder kaynaklar ( Oluşan tozu kaldıran ve havaya karıştıran kaynaklar )
  - Ateşlemeden sonra tabanın temizlenmesi
  - Yükleme
  - Tumba etme
  - Aktarma
  - İşçilerin aktiviteleri genellikle yürümesi [4]

### 3. Primer ve Sekonder kaynaklar

- Ateşlemeler
- Bant aktarma noktaları
- Dolgu İşleri ( özellikle pnömatik dolgu ) Aktarma
- İşçilerin aktiviteleri genellikle yürümesi [4]

#### 2.2.1. Toz konsantrasyonunu etkileyen faktörler

Aynı maden yatağının değişik bölümlerinde sürdürülen üretim çalışmaları sırasında farklı toz konsantrasyonu değerleri ile karşılaşmak mümkündür. Çünkü ocak havasındaki toz konsantrasyonu birçok faktörün etkisi altındadır. Bu faktörler şöyle gruplandırılabilir.

- Mineral türü ( sert, kırılabilir mineraller )
- Kazı türü ( el, makine, patlayıcı madde kullanımı )
- Yükleme türü ( el, oluk, makine, tumba )
- Nakliyat türü ( sallantılı oluk, bant, vagon )
- Yatak durumu ( dik, kalın )
- Üretim yöntemi ( göçertme, dolgu, oda-topuk )
- Havalandırma ( yetersiz durumlarda toz taşınmaz, fazla durumlarda toz kalkar) [4].

**Çizelge 2.2:** Çeşitli Madencilik Çalışmalarında Ortalama Toz Konsantrasyonu [4]

<b>İşin cinsi ve/veya yeri</b>	<b>Ortalama Konsantrasyon (Tane/cm<sup>3</sup>-hava)</b>
<b>Kuru delik delme</b>	<b>1050</b>
<b>Ateşlemeler</b>	<b>710</b>
<b>Arka göçertmesi</b>	<b>600</b>
<b>Potkapaç çekme</b>	<b>540</b>
<b>Ayak içinde delik delme</b>	<b>400</b>
<b>Oluklardan doldurma</b>	<b>310</b>
<b>Tumbalar</b>	<b>300</b>
<b>Ana nakliyat yolları</b>	<b>137</b>
<b>Sulu delik delme</b>	<b>126</b>
<b>Hava giriş yolları</b>	<b>18</b>

### 2.2.2. Taş tozunun sebep olduğu akciğer hastalıkları

Toz teneffüsünden dolayı meydana gelen akciğer hastalıklarına pnömokonyoz denilmektedir.

Madenciliğin çeşitli dallarında ve sanayide teneffüs edilen tozun sebep olduğu hastalığa göre değişik karakter ve belirtiler göstermektedir.

$SiO_2$  kapsayan tozun devamlı teneffüsünden meydana gelen akciğer hastalığına silikoz denilmektedir. Bu hastalık genellikle tüberkülozla birlikte görülür. Silikoz deyimini ilk olarak 1871 yılında İtalyan Visconti tarafından ortaya çıkartılmıştır. Jötten hastalığı: 'Silikoz mesleki bir akciğer hastalığı olup, bunun sebebi olan toz, akciğerde dokulara bağlanmaktadır. Bundan dolayı akciğer fibrozu olarak isimlendirilir. Yaygın fibrozenler, mesela silimanit tozu ile meydana gelir; serbest kristalize silis asidinin sebep olduğu yumru şeklindeki fibrozlar, klinik ve anatomik olarak silikoz hastalığını gösterirler.' diye tanımlanmaktadır.

Son senelerde birçok maden bölgelerinde silikozdan hastalananların sayısı çok fazlalaşmıştır. Bazı bölgelerde ise silikozun sebep olduğu ölüm olayları diğer kazalara oranla 3-4 defa daha fazladır. Buna sebep diğer birçok etkenlerin yanında mühendis ve teknisyenlere öğrenimleri sırasında yeterli silikoz ve tozla savaş yöntemlerinin gerekli ölçüde öğretilmemiş olmasındandır.

Silikozla savaştaki bilgilerin uzun zaman eksik oluşu, kömür tozu patlamalarını önlemek için taş tozu ile tozlama yönteminde kuvars kapsayan büyük nicelikte tozun birkaç sene öncesine kadar kullanılmasında da açık bir şekilde görülmektedir. [8]

Çok sayıda delici makinalar, martopikörler, potkapaç makinaları, sallantılı oluklar, tumba donanımları ve diğer birçok makinalar kullanıldığından beri ocak havasının eskiye oranla daha fazla tozlanmasından ötürü, son senelerde araştırmalar daha çok fazlaştırılmıştır.

Silikozun artması, son senelerde rasyonelize ve yeraltında konsantrasyon gereklerinden ötürü olmaktadır. Buna ek olarak basınçlı hava ile çalışan martopikörler çıktıktan sonra kazı randımanı ve dolayısıyla toz artmıştır. Son 20-25 seneden beri eskiden kül miktarı %10-15 olan üretime karşı şimdi kül miktarı %25 (maksimum %40-45) olan kömürler çıkarılmaktadır. Bu suretle çöken toz daima kül bakımından zengin olmakta ve dolayısıyla da tehlike artmaktadır.

Başlangıçta bir ağrı veya başka rahatsızlık görülmediğinden, silikozun önemli bir durum alması birkaç sene sonra meydana gelir. Bunun için uzun zaman dikkat edilmeyen hastalık ancak çok genişlediğinde dikkati üzerine çekmektedir. [8]

### 2.2.3. Tozun zararları

Son zamanlarda 5  $\mu m$  den küçük olan toz tanecikleri zararlı olarak kabul edildiklerinden, ölçmeler için bu esas kabul edilmiştir. Hangi toz taneciklerinin akciğerde yerleşebildikleri, silikozdan ölen insanların akciğerlerinin araştırılması ile tespit edilebilmiştir. Akciğerde 5  $\mu m$  ye kadar olan tanecikler bulunur. Bazen ise 10  $\mu m$  ik taneciklerde görülmüştür. Bu durum taneciklerin şeklinden dolayı olmaktadır. Örneğin akciğerde 100  $\mu m$  en daha büyük asbest lifleri bulunmuştur.

Akciğere çöken toz taneciklerinin büyüklüğü 0,2 – 2  $\mu m$  arasında ve bilhassa 1  $\mu m$  den az olmaktadır. 0,002  $\mu m = 2 nm$  den küçük olan tanecikler ise bulunamamıştır.

Her toz tehlikeli değildir. Akciğerde kolay ve hızlı çözülen tozlar, buraya bağlanamazlar. Mesela tuz tozu (kaya tuzu, potasyum tuzları) kolayca çözülür, silis katkısı olmayan saf  $CaCO_3$  lü kalker, akciğer sıvılarında erir. Buna sebep akciğerde bulunan fazla  $CO_2$  olup,  $CaCO_3$  i kolayca çözer ve akciğer sıvısı tarafından taşınır.

Diğer birçok maddelerde, mesela silis asidi bağintıları akciğerde çözülerek elemanlarına ayrılır. Bunlar tabiattaki değişikliklerin benzeri olup, (hava etkisi ile ayrışma) akciğerdeki prosesde bunun aynıdır. Bugüne kadarki deneylere göre mineral ve taşların az veya fazla silikoz meydana getirme özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

Mineraller: Kuvars ve diğer  $SiO_2$  mineralleri (kristobalit, tridimit, kalsedon) alkali feldispatlar, mika, serpantin asbesti, talk, beril. Silimanit, serpantinleşmiş olivin.

Kuvarsin etkisini kuvvetlendirenler: kriyolit, florit, kömürlü maddeler ve pirit. Lössit ve nefelinin etkileri bilinmemektedir.

Taşlar: Kuvarsit, silis kumu, kumtaşı, hornştayn, diyatomit, gayserit.

Kuvars ihtiva ediyorsa: kaolen, kil, grafit, okr, granit, kuvars diyorit, diyorit, kuvars porfir, arkoz, konglemera, grovvak, gnays, milkaşistler, fillit, grayzen, şist ve şap şisti.

Kural olarak, taş kuvars bakımından zenginse, silikoz tehlikesi o kadar fazladır. Taş demir ve kalker bakımından ne kadar zenginse bunlardan meydana gelen toz da o kadar tehlikesizdir.

Buna göre tehlikesiz olanlar: Kalker bakımından zengin plajioloklas, proksen, jibs, boksit ve kuvars ihtiva etmeyen taşlar, mesela feldispatlı bazalt, diakoz, kalker, dolomit, marn, hematit, siderit.

Bilhassa toz veya zehirli etkisinden dolayı arsenik, berilyum, bakır, kurşun, ve uranyum cevherlerinin işlenmesinde ve izabesinde çok dikkat etmek gerekir.

### **2.3. Kömür Tozunun Hastalık Etkisi**

Kömürün bilhassa zor okside olan tipleri kolayca tozlanmaya elverişli olup, bu akciğerde sıvılarla çözülemez, büyük miktarda toplanır ve silikoza benzer durumları oluşturur.

Kömür madenlerinde kuvars tozu bulunduğundan, kömür işçisinde silikoz ve antrakoz'a birlikte rastlanır.

Genel olarak kömür işçilerinin hastalanması, kuvars kapsayan cevherlerde çalışan işçilere oranla daha yavaş olmakta ve sakıncalı durumlar uzun zamandan sonra meydana çıkmaktadır. Belirtiler 15-20 sene sonra görülmektedir. Fakat silikozun bazı metal madenlerine oranla daha fazla görüldüğü kömür madenleri de vardır. Örneğin eski ve fazla kömürleşme ve tozdan ayrı olarak kuvars kapsayan maden kömürü işletmelerindeki hastalıklar gibi.



### 3. OCAKLARDA HAVALANDIRMA ŞEBEKELERİ

Yeraltı maden ocakları farklı uzunluklarda ve kesitte birçok desandre, galeri, rampa, başyukarı, tabanyolu, tavanyolu, ayak, pano ve diğer açıklıklardan oluşur. Madencilğin kendi özel terminolojisi vardır; bu terminolojinin direkt yada dolaylı olarak havalandırma ile ilgili bölümleri şöyledir:

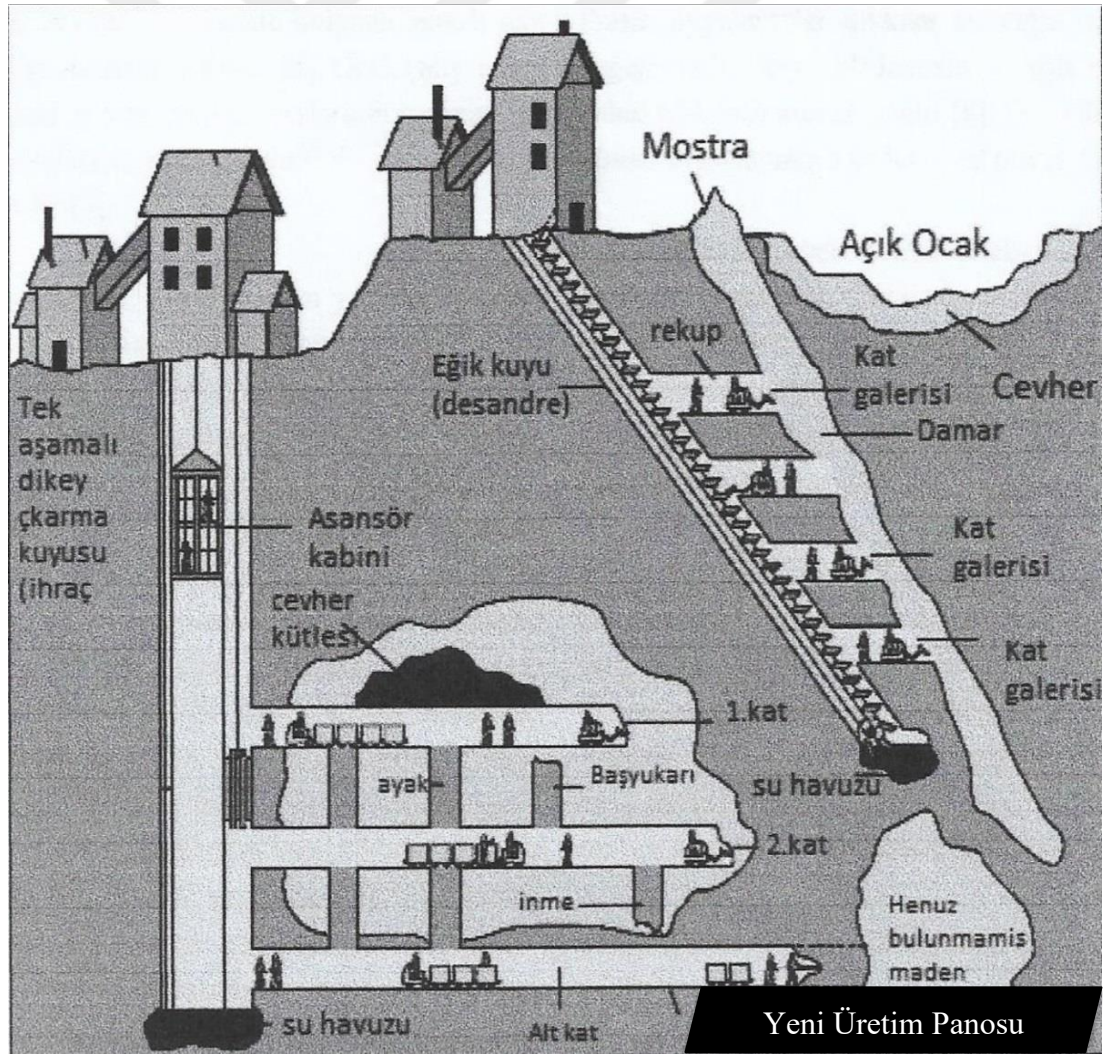
- **Arın**, cevher, kömür veya taşa üretim ve ilerleme çalışmalarının devam ettiği dikey yüzey parçasıdır.
- **Ayak**, maden içerisinde iki galeri arasında cephe halinde maden üretimi yapılan alanlardır. Üretim panosundan bahsedildiğinde ayak, genişliği ifade eder.
- **Baca**, yeraltı kömür işletmelerinde kömürün kazılarak çıkarıldığı yer veya cevher içinde açılan boşluktur. Kara tumba metodu ile çalışılan panolarda sürülen klavuz ve başyukarılar da bu kapsama dahildir.
- **Baraj**, yer altı işletmelerde su yada zararlı gazların başka panolara yayılmasını, galerilerden hava, su ve gaz geçirmesini önlemek için yapılan sızdırmaz engeldir. Kil, yapı malzemeleri, kum torbaları vb. maddeler kullanılır.
- **Başyukarı**, yan taş veya damar içerisinde aşağıdan yukarı doğru sürülen meyilli yollardır.
- **Degaj**, ani gaz boşalmalarını ifade eder.
- **Desandre**, yeraltı işletmelerinde aşağıdan yukarıya cevher veya kömür nakli yapmak amacı ile aşağıya doğru meyilli olarak yan taş, cevher veya kömür içinde sürülen galerilerdir.
- **Çıkış havası**, ocakta kullanılıp nefeslikten dışarı atılan kirli havadır.
- **Galeri**, yer altında açılan geçit yollarıdır.

- **Doğal havalandırma**, yeraltı işletmelerinde hava yoğunluğu farkından oluşan, doğal hava ile yapılan havalandırmadır.
- **Grizu**, metan gazının hava ile belirli bir oranda karışımından oluşan patlayıcı ve yanıcı gazdır.
- **Tahkimat**, yeraltında açılan açıklıklarının göçmemesi için çakılan ağaç ve/veya metal ana ve yardımcı taşıyıcıların tamamını ifade eder.
- **Kat**, maden ocaklarında üretim yapmaya esas teşkil edecek şekilde belirlenen ana üretim seviyeleridir.
- **Kat ağzı**, galerilerin kuyu ile birleştiği yani insan, malzeme, cevher veya kömür naklinde yatay nakliyat sistemi ile dikey nakliyatın kesiştiği yerdir.
- **Kızışma**, yeraltı kömür madenlerinde panolarda yapılan yetersiz havalandırma veya stoklardaki kömürlerde kömürün veya kömür içinde bulunan piritin yanması sonucu ortaya çıkan ısının dağılmaması sonucu kömürün ısısının yükselmesidir.
- **Mostra**, yeryüzünde bir madenin açığa çıkmış ve çıplak göz ile görülen kısmıdır. Maden yatağının yüzeyi ile yeryüzünün ara kesitidir.
- **Nefeslik**, Kapalı işletmelerde ocak içindeki havanın ocaktan çıkışını veya aspiratörle emilmesini sağlayan kuyu, galeri vb. ile hava çıkış ve dönüş yoludur.
- **Pano**, mostra ve muayyen bir kat veya iki kat arasında kalan işletmeye alınmış damar kısmıdır.
- **Taban**, maden ocağı içerisinde açılan boşlukların altındaki yatay veya eğimli düzlemdir.
- **Taban ve tavan galerileri**, maden yataklarında işletme metodunu uygulamak, üretim yerinde ulaşım, havalandırma ve nakliyatı sağlamak için damar istikametinde damar taban yada tavanını takip ederek sürülen galerilerdir.
- **Taban**, maden ocağı içerisinde açılan boşlukların altındaki yatay veya eğimli düzlemdir.



- **Tali havalandırma**, yeraltı işletmesinde ana havalandırma şebekesi dışında kalan yani normal havalandırmanın ulaşamadığı galeri, kuyuyu lağım vb. yerlerin ana havalandırma ile irtibatlı olarak temiz hava tarafına kurulan ek havalandırma düzenleri ile havalandırılması işlemidir.
- **Martöpikör**, madenlerde direkt olarak kömür kazımında ve yan kayaların kırılmasında da kullanılan bir maden makinasıdır.
- **Hava kapısı**, temiz havanın kirli ocak havasına karışmasına engel olmak için yapılır. Bunlar genellikle nakliyatın ve işçilerin gidiş gelişlerindeki yollar üzerinde kullanılır.
- **Baş yukarı havalandırma**, hava akımının damarların yatım yönünde ya da alt kattan üst kata doğru havalandırmasıdır.

Şekil 3.1’de, ocak havalandırma şebekesinin kısımları gösterilmektedir.



Şekil 3.1: Maden Ocağının Bölümleri [2]

### 3.1. Havalandırma Direnci

Ocak havalandırmasının temel ödevlerinden biri, bir veya birkaç vantilatörün yardımıyla mevcut yollardan geçen toplam hava miktarının tesbiti, bu havanın münferit yollara düşen miktarlarının bulunmasıdır. Problemin çözümü için ocağın toplam direncinin bulunması lazımdır. [8]

Bu problemin çözümünde aşağıdaki sıra takip edilir ;

- Verilen sistemin toplam direnci bulunur
- Bu sistem içerisinde geçecek toplam hava miktarı tespit edilir
- Münferit kollarındaki hava miktarı dağılımı bulunur.

Bilinen bir havalandırma sisteminin toplam direncinin tesbitinde şu durumlar söz konusu olur;

- Belirli hava miktarının aktığı sistemin başlangıç ve bitim noktaları arasındaki depresyonun bilinmesi
  - Verilen sistemden geçen hava miktarının doğal dağılımının bilinmesi
  - Havayolunun tahkimat cinsi ve ölçüleri ile buralardan geçen hava dağılımının bilinmesi
  - Hava yolunun uzunluğu, kesiti, tahkimatın cinsi vs. gibi ölçülerinin bilinmesi
- [8]

Hidrolikte bir akışkanın boru içinde akması sırasında meydana gelen basınç kaybı;

$$h = \lambda \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \quad (N/m^2, mmSS) \quad [3.1]$$

$\lambda$ : Direnç katsayısı

$L$  : Boru uzunluğu

$D$  : Boru çapı

$V$  : Akışkanın hızı (m/sn) dir

Bazı sadeleştirmelerden sonra eşitlik;

$$h = \alpha \frac{L \cdot P}{S} V^2 \quad [3.2]$$

$P$  : Çevre

$S$  : Kesit alanı

$$V = \frac{Q}{S}$$

$$h = \alpha \frac{L.P}{S^3} Q^2 \text{ (N/m}^2 \text{ , mmSS) [3.3]}$$

3.3 eşitliğindeki  $\alpha$  sürtünme katsayısı ( $Ns^2 / m^4$ ) ;

- Galerilerde; galeri şekli, tahkimat şekli, galeri içindeki engeller ve galeri doğrultusundaki değişmelere bağlıdır.
- Ayaklarda; tahkimat sırasının düzgünlüğü, kazılmış kömür, direk vb. bulunması, kazıcı makine vb. bulunması ve çalışan işçi sayısına bağlıdır.
- Başyukarı ve desandrelerde bölme sayısı ve tahkimat cinsine bağlıdır.
- Kuyularda; kesit şekline, tahkimat şekline, kuyu techizat durumuna bağlıdır.

[4]

### 3.2. Doğal Havalandırma

Doğal hava akımından anlaşılan ocak içerisindeki hava hareketinin herhangi bir mekanik donanım olmaksızın kendiliğinden oluşmasıdır.

Ocak imalatlarını dolaştıktan sonra, çıkış kuyusu vasıtasıyla ocağı terkeden havanın sıcaklığı, genellikle giriş kuyusundaki havanın sıcaklığından fazladır. Bunun başlıca nedeni, kayaçlardan intişar eden ısının ocak havasına eklenmesidir. Bu yüzden, vantilatörsüz bir ocakta bile çıkış kuyusundaki hava yoğunluğu, giriş kuyusundaki hava yoğunluğundan daha az olur. Düşey iki hava kolonundaki bu dengesizlik, kuyu dipleri arasında tabii havalandırma basıncı olarak bilinen bir basınç farkı doğurur.

[10]

Doğal havalandırma şu durumlarda meydana gelir;

- Eğer kuyu ağızları ve dipleri aynı seviyede iseler, kuyulardaki hava yoğunluklarının farklı olması için bir neden yoktur. Bu yüzden tabii havalandırma yoktur veya çok azdır. Buna rağmen bu tip ocaklarda bile tabii

havalandırmanın meydana gelmesi için bazı nedenler olabilir. Örneğin hava giriş kuyusu genellikle ıslak olur ve giriş havası soğuyarak yoğunluğu artar.

- Bir vantilatörün çalışması halinde ocağa, kış aylarında soğuk, yaz aylarında ise sıcak hava veriliyor demektir. Bunun sonucu olarak, tabii havalandırmanın etkisi, kışın vantilatörünkiyle aynı, yazın ise aksi yöndedir. Bu etki, vantilatör basıncının %20-25 ine ulaşabilir.
- Bir ocak, bir tünel vasıtasıyla çalışıyorsa (Su üstü ocakları), ocak içi ile dışı arasındaki sıcaklık farkından dolayı doğal havalandırma doğar. Galeride kış aylarında hava girişi yaz aylarında ise hava çıkışı vardır. Ocak içi ile ocak dışı sıcaklıklarının hemen hemen aynı olduğu ilkbahar ve sonbahar aylarında ise doğal havalandırma yoktur. [11]
- Doğal havalandırma ocak yangınları sırasında da meydana gelir. Üstelik, vantilatörle havalandırmanın aksi yönünde teşekkül etmiş ise, ocak havalandırması için çok tehlikeli de olabilir.

Bir girişi ve bir çıkışı olan yatay imalatlarda doğal havalandırma basıncı hesabı daha kolaydır. Çünkü bu tip ocaklarda, eşit yükseklikli iki hava kolonu oluşur ve bir tek basınç doğar, vantilatör gibi düşünülebilir.

### **3.2.1. Doğal hava akımının debisine etki eden faktörler**

- Havanın nem miktarı ve kimyasal bileşiminin değişimi
- Barometrik basıncın değişimi
- Kuyu derinliğinin etkisi : Kuyu derinliği arttıkça veya daha doğrusu giriş ve çıkış kuyuları arasındaki kot farkı fazlalaştıkça doğal hava akımı şiddeti de o kadar artar.
- Vantilatör depresyonunun etkisi çok küçüktür
- Sıcaklık etkisi : Çıkış havasının sıcaklığı bütün sene boyunca hemen hemen aynıdır. O halde en önemli etki giriş havasının sıcaklığıdır. Bu da mevsimlere bağlıdır. Doğal hava akımı kış aylarında artmakta yaz aylarında ise azalmaktadır. [8]

1 Ocaktan 15 Şubata ve 15 ekimden 31 Aralık a kadar doğal hava akımının depresyonu ocak için lüzumlu havayı temin edecek şekilde yeterlidir. Nisan ve Eylül de doğal hava akımı miktarı hesaplanmalıdır.

Hazirandan Ağustos'a kadar olan yaz aylarında hava yönünün değişiminden sonra hava miktarı yetersizdir. Keza aynı durum Marttan Mayıs'a ve Eylül'den Ekim'e kadar da söz konusudur.

### **3.3. Mekanik Havalandırma**

Yeraltı ocaklarında değişik büyüklük ve kapasitede vantilatörler vasıtasıyla sağlanan havalandırma. Vantilatörler yardımıyla sağlanır.

Vantilatörler hava veya gazın ulaştırılmasında kullanılan makinalar olup giriş ve çıkışları arasında basınç farkı meydana getirerek hava hareketini sağlarlar. Bu basınç farkı ya depresyon veya kompresyon ile sağlanır. İlk durumda vantilatör emici, ikinci durumda ise üfleyici olarak çalışır. Ocak vantilatörleri yerüstü veya yeraltına yerleştirilir. Yerüstünde vantilatörler ya emici veya üfleyici olarak çalışır. Yeraltında ise aynı zamanda emici ve üfleyici çalışabilir. Kullanılma gayesi ve yerleştirme yerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılırlar: [8]

- Ana vantilatör: Genellikle yerüstüne yerleştirilir ve ocağın hepsinin veya büyük bir kısmının havalandırılmasında kullanılır.
- Kol vantilatörleri: Ocak yollarına yerleştirilen vantilatörler olup, o koldaki hava akımının şiddetlenmesine ve hava kapılarının yol açtığı kayıpların azaltılmasına yararlar.
- Toplayıcı kol vantilatörleri: Kol vantilatörlerinin sağladığı faydadan ayrıca kısa devre havasının da düşük seviyede tutulmasına hizmet ederler.
- Vantüp vantilatörleri: Ocak içerisinde yardımcı havalandırma işlerinde kullanılan vantilatörlerdir.

#### **3.3.1. Fan tipleri**

Hava, bir şafttan dikey olarak yada maden girişinden içeriye girer, tüm ara yollar boyunca gezer ve belirli bir noktadan egzoz edilir. Hava, maden içerisinde belirli yardımcı fanlar vasıtasıyla dolaştırılır ve her noktada istenilen hava akışının yakalanması sağlanır. Madenlerde havalandırma sistemleri tasarlanırken, hem günlük

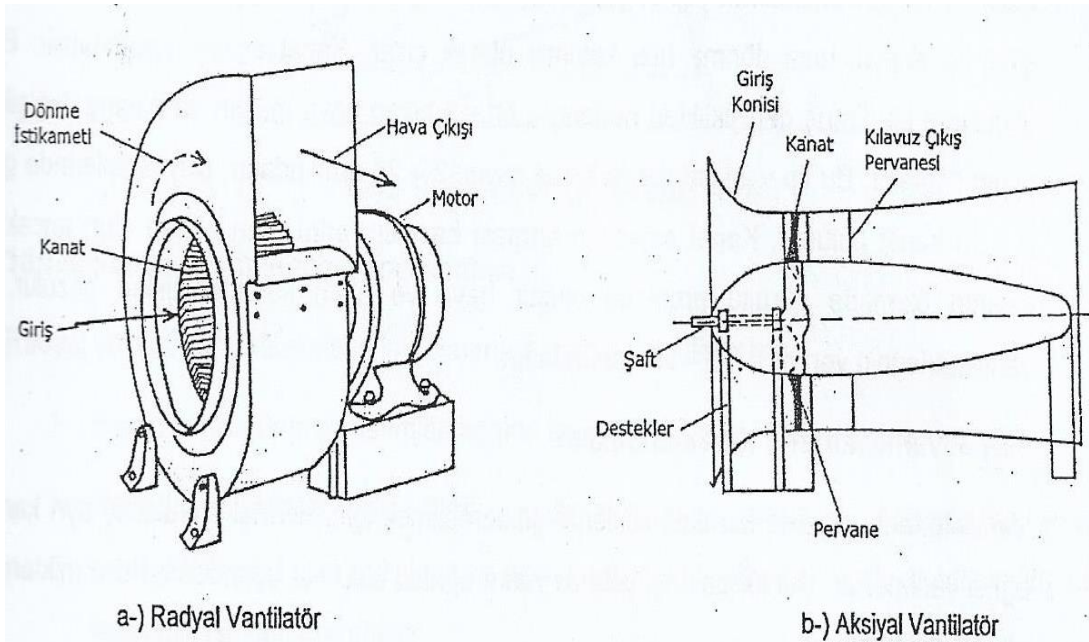
çalışma esnasındaki havalandırmayı, hemde bir yangın durumundaki duman egzozunu göz önünde bulundurmak gerekir. [15]

Madenlerde kullanılan fanları kanat tiplerine göre santrifüj, karma akışlı ve aksiyel olarak üç guruba ayırabiliriz. Bunlardan santrifüj fanlar ilk yatırım esnasında ana şaftlara yerleştirilirler ve motor güçleri 1,5 MW seviyelerine kadar çıkabilir. Santrifüj fanlar yüksek basınçlarda verimlidirler. Karma akışlı fanlar ise ağır koşullar için en sağlam yapıya sahip olan fanlardır. Tüm kanatlar konik fan göbeğine kaynaklı olduğundan az sayıda parçadan oluşmaktadır ve yüksek basınçlarda verimlidirler.

Özellikle paralel bağlı uygulamalarda stabil özellikleriyle ön plana çıkarlar. Santrifüj ve karma akışlı fanlar maden dışarısında ana şaft fanı olarak kullanılmaktadırlar. Maden içerisinde kullanılan yardımcı fanlar ise aksiyel yapıda olmaktadır. [16]

### 3.3.1.1 Merkezkaç ( radyal ) vantilatörler

Merkezkaç vantilatörlerde hava pervane şaftına paralel olarak yan kısımlarda girer. Bunlar kanat durumuna göre; ileriye, radyal ve geriye kıvrık kanatlı olmak üzere sınıflandırılırlar. Kanat sayısının artması basınç ve hacmin artmasına neden olur. Ancak belli bir sayıdan fazlası sürtünmeyi artırır ve hava akımının geçtiği alanı daraltır. [4]



Şekil 3.2: Vantilatör Türleri [4]



### 3.3.2.2 Aksinel ( aksiyal ) vantilatörler

Yeldeğirmeni gibi çalışan bu tip vantilatörlerde hava eksen istikametinde akar ve yön değıştirmez. Böylece radyal vantilatörlerdeki en önemli güç kaybı kaynağı ortadan kalkmış olur. Basınçlar düşüktür ancak debileri ve verimleri göreceli olarak daha yüksektir. [11]

Nadiren ana şaft fanı olarak kullanılmakla birlikte, genellikle güçlendirici fan olarak kullanılırlar. Kömür madenlerinde güçlendirici fan kullanımına ABD’de izin verilmemekle birlikte, bununla ilgili yönetmeliklerin düzenlemeleri devam etmekte olup, ilerki zamanlarda kullanım yolu açılacaktır. Diğer gelişmiş maden üretici ülkelerde ise, gerekli şartlar sağlandığı sürece kömür madenlerinde de güçlendirici fan kullanılabilir. [17]

Aksiyal vantilatörler maden tipine ve çalışma derinliğine göre yüksek sıcaklık dayanımlı F300/F400 yada Ex-proof olarak üretilebilmektedir. Aksiyal fanlar yapısı gereğı 3 ana bileşenden oluşur. Bunlar kanatlar, motor ve fan gövdesidir. Enerji, kanatların dönmesi ile taşınan havaya transfer edilir.



Şekil 3.3: Aksinel Fan [15]

### 3.4. Hava Debisi

Yeraltı kömür işletmelerinde havalandırma sistemleri; her zaman için sağlıklı ve güvenli atmosferik çalışma koşulları sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Havalandırmanın amacı işçilere temiz hava temin etmek, oluşan veya teşekkül eden patlayıcı ve zararlı gazların veya tozların hava içindeki oranlarını azaltmak ve dışarıya yönlendirmek, derin ocaklarda da ocak havasını soğutmaktır. Her bir çalışma bölümündeki gerekli hava debisinin doğru şekilde hesaplanması hayati önem taşımaktadır. [15]

Havalandırma sistemleri çalışma yüzeylerinin çevresine taze hava getirmekle sağlayan ana sistem ve bu havayı çalışma yüzeylerine yönlendiren destekleyici sistem olatacak iki bölümdür. Her sistem havanın ilgili alanlardan akışını desteklemek amacıyla gerekli basıncı sağlayacak fan ya da fanlar ile donatılmış olmalıdır.

Ana sistemin fonksiyonu, dışarıdan çalışma yüzeylerinin yakınına taze hava getirmek ve kullanılan havayı geri dışarı atmaktır. Destekleyici sistemler ise havanın birincil hava yollarından alındığı hava kirletici maddeleri inceltmek ve dışarı atılmasını desteklemek amacıyla kullanılırlar.

### 3.5. Gerekli Hava Debisinin Belirlenmesi

Hava debisinin hesaplanmasındaki güçlükler şunlardır:

- Çalışmalar sırasında ocak havasına karışacak gaz ve toz miktarındaki belirsizlikler,
- Olası hava kaçaklarının belirlenmesi,
- Değişik gaz ve tozların hava içindeki miktarlarının azaltılması ve ocak dışına taşınması konusundaki yetersiz bilgiler.

Ocağa yeteri kadar hava verilmemesi gibi gereğinden fazla hava verilmesi de istenmeyen durumlar doğurabilir. Fazla hava debisi sonucu;

- Kaçaklar artar
- Kömür ve piritin kızışmasını kolaylaştırır
- Havaya daha fazla toz karışmasına neden olur
- Fazla soğutma etkisi yapar
- Havalandırma maliyetini artırır. [4]



Kömür ocaklarında çeşitli vardiyalardaki üniform olmayan gaz oluşumlarına rağmen tecrübeler, toplam gaz oluşumundaki değişimin küçük olduğunu göstermiştir. Bu yüzden ocağın hava ihtiyacı da sabit kabul edilebilir. Ateşleme işlerinin çok yapıldığı metal madenlerinde ise, hava ihtiyacı, ateşleme aralarında en az olup, vardiya sonunda artar ve büyük ateşlemelerden sonra da en çok olur. [11]

Yeraltı madenleri için gerekli hava miktarı tayini yapılırken 5 yöntem ön plana çıkmıştır;

- İşçi sayısına göre hava miktarının belirlenmesi,
- Günlük üretime göre hava miktarı hesabı,
- İntişar eden gazların hacmine göre hava miktarı tayini,
- Ocaktaki toz oluşumuna göre hava miktarı hesabı,
- Patlayıcı miktarına bağlı hava miktarı hesabı. [11]

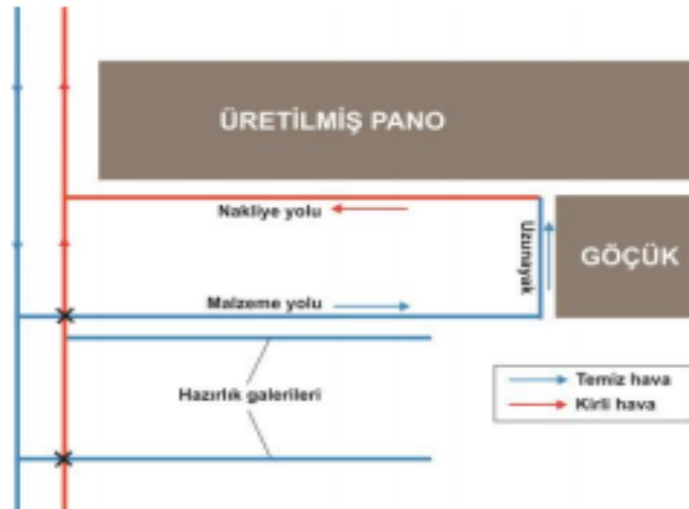


#### 4. YERALTI KÖMÜR MADENİ ÜRETİM HATTI

Ülkemizde genel olarak yeraltı kömür işletmelerinde geri dönüşlü veya ilerletimli uzunayak yöntemi uygulanır. Bu yöntemlerde tek girişli dönüşlü ‘U’ tipi havalandırma sistemi kullanılmakta olup, temiz hava panoya malzeme galerisinden girmekte, ayağı dolaşarak kirlenen hava nakliye yolundan çıkarak ana havalandırma galerisine bağlanmaktadır. (Şekil 4.1)

Yeraltı kömür madenlerindeki uzunayaklarda maksimum hava hızına ilişkin bir sınırlama olmamakla beraber, ana nefeslik yollarında, eğimli ve düz yollarda, hava hızının 8 m/s i aşmaması ve her durumda 0,5 m/s’den az olmaması istenmektedir. Yüksek hava hızı işçi sağlığı ve ocak iklimini olumsuz etkiler. Genel bir kural olarak çalışma yapılan bölgelerde çökmüş haldeki tozun artan hava hızı ile girdaplanması ve yeniden ocak havasında karışma ihtimaline karşın 1-3 m/s limitlerinde tutulması ve 4 m/s hava hızının aşılması önerilir. [19]

Havalandırma hesapları için öncelikle madendeki çalışan sayısı ve çalışma şekillerine bağlı olarak hava ihtiyaçları belirlenecektir. Gaz intişarı ve toz oluşumuna bağlı havalandırma hesapları ile mukayese edilecektir. Bilgisayar destekli havalandırma planı çıkarılacaktır.



Şekil 4.1: Tek Girişli Dönüşlü ‘U’ Tipi Havalandırma [19]

#### 4.1. Maden Ocağı Tanıtımı ve Hava İstatistik Verileri

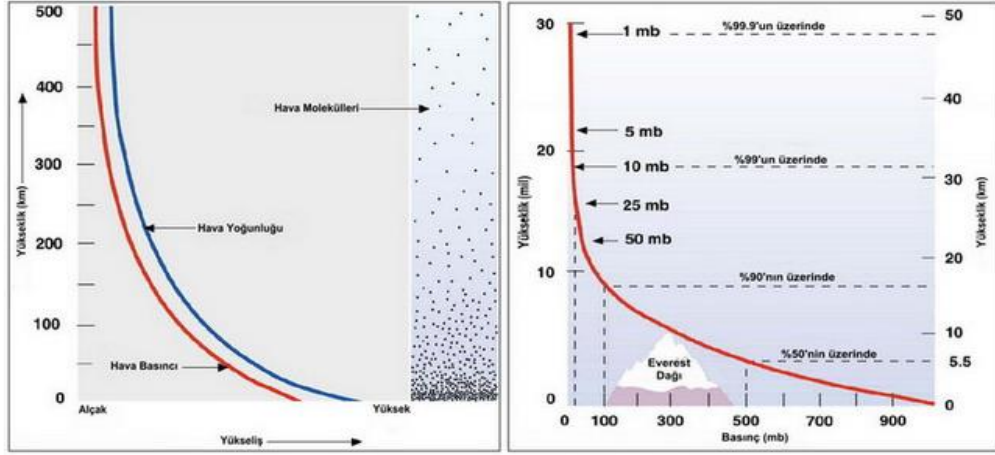
Maden ocağının tasarımı için Doğu Anadolu Bölgesi'nde örnek bir kömür madeni referans alınmıştır. İklim özellikleri olarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün bölge için yıllık istatistik hava değerlerinden yararlanılmıştır.



Şekil 4.2: Maden Ocağının Lokasyonu

Maden işletmesi **1450 m** rakımda yer almaktadır. Deniz seviyesinden yukarı kotlara çıkıldıkça atmosfer basıncının düştüğü ve yoğunluğun da doğru orantılı olarak azaldığı bilinmektedir. Diğer taraftan havanın sıcak ya da soğuk oluşu hava yoğunluğuna etki eden bir diğer faktördür.

Görece soğuk olan maden lokasyonunda yoğunluğun artması beklenir. Hesaplarda tezin yazıldığı dönemdeki Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri kullanılmış **101,735 Pa** değeri bu yükseklikteki atmosfer basıncı olarak tesbit edilmiştir. Bu değer referans alınarak, deniz seviyesi atmosfer basıncı **101,325 Pa** değeri ile basınç yoğunluk doğru orantısına istinaden çalışılan yerdeki hava yoğunluğu kış periyodu için **1,298 kg/m<sup>3</sup>** olarak bulunmuştur. (Havanın deniz seviyesindeki yoğunluğu **1,293 kg/m<sup>3</sup>** )



Şekil 4.3: Basınç ve Yoğunluğun Değişimi [20]

Çizelge 4.1: Maden İşletmesi Lokasyonu İçin Genel İstatistik Verileri

MADEN İŞLETMESİ LOKASYONU	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1949 - 2018)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	-4,2	-2,9	1,9	8,3	12,7	15,9	18,65	18,7	15,25	10,35	4,5	-1,55	8,15
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	0,6	2,5	7,55	14,35	19	22,15	24,85	25,45	22,3	16,95	9,8	2,9	14,05
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	-8,5	-7,75	-3	3	7,2	10,05	12,85	12,8	9,25	5,05	0,1	-5,5	3
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2,4	3,4	4,55	5,2	6,35	7,5	7,55	7,45	6,75	4,9	3,45	2,25	61,75
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	11,4	11,3	12,45	13,25	15,7	14,1	9,85	9,6	8,15	10,45	10	10,85	137,1
Aylık Toplam Yağış Miktarının Ortalaması(mm)	52,65	46,2	45,5	52,2	68,4	71,7	50,25	45,8	35,85	49,55	51,95	55,25	625,3
Ölçüm Periyodu (1949 - 2018)													
En Yüksek Sıcaklık (°C)	14,95	16,25	23,4	29,7	31,4	34,05	38,15	39	34,85	34,95	23,05	17,45	39
En Düşük Sıcaklık (°C)	-27,95	-25,3	-21,5	-14,65	-4,55	-0,4	3,65	3,35	-0,6	-8,3	-18,55	-23,55	-27,95

Çizelge 4.1'den anlaşılacağı üzere Kasım ayı ile Mart ayları arasındaki 5 aylık dönemde kış koşulları hüküm sürmektedir. Nisan ayı ile Ekim ayları arasındaki 7 aylık periyot ise görece daha sıcaktır. 5 aylık kış dönemi süresince doğal hava akımı depresyonunu diğer 7 aylık döneme göre daha yeterli olacaktır.

Yaz periyodu için bu yükseklikteki ortalama hava basıncı **100,636 Pa** olarak hesaplanmıştır. Bu değer referans alınarak, deniz seviyesi atmosfer basıncı **101,325 Pa** değeri ile basınç yoğunluk doğru orantısına istinaden çalışılan yerdeki hava yoğunluğu yaz dönemi için **1,284 kg/m<sup>3</sup>** olarak bulunmuştur. (Havanın deniz seviyesindeki yoğunluğu **1,293 kg/m<sup>3</sup>**)

Kömür madenin ana nakliyat, kömür hazırlık bacaları ve ayak sistemi üretim panolarında değişken boylarda ahşap tahkimatlar kullanılmıştır. Ahşap sahip olduğu

özellikler nedeniyle madencilik faaliyetlerinin kaçınılmaz tahkimat malzemesidir. En yaygın olanı iki yan direk ve bir boyunduruktan oluşan çintili bağıdır. (Şekil 4.4) Ağaç tahkimatın önemli özelliği ön belirtili kırılma özelliğine sahip olması ve tahkimatın değişimi ve güçlendirilmesi için zaman sağlamasıdır.

#### 4.2. Maden İşletmesi Nakliyat Yolları ve Üretim Panoları

Yeraltı maden işletmesinin ana nakliyat yolunda varagel sistemi mevcuttur. Kömür yüklü vagonlar vinçler yardımı ile yerüstüne çekilirken boş vagonlar üretim panolarına doğru hareketlenir. Bu desandre boyunca 3 metrelik maden direkleri kullanılmaktadır. Ana nakliyat yolu ile kömür üretim galerisinin kesiştiği nokta 'kanca dibi' olarak adlandırılır ve burada bulunan 2 çalışan boş vagonları çelik halatlı vinç yardımıyla ayak üretim panolarına gönderir, aynı zamanda dolu vagonların yer üstüne çekilmesini sağlar.



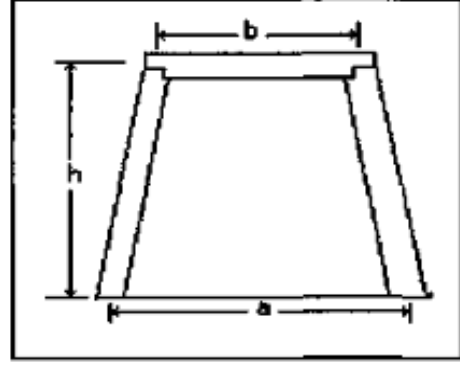
Şekil 4.4: 1450 Rakımdaki Maden Ana Giriş Bacası [21]

230 m lik ana nakliyat yolu için kesit alanı hesaplanırken yamuk alanı hesabı kullanılır. İçten içe kesit alanı için gerekli uzunluklar Sketch Up programından alınmıştır. 3 m lik maden direkleri ile çalışma yapılan bölgelerde kesit alanı;

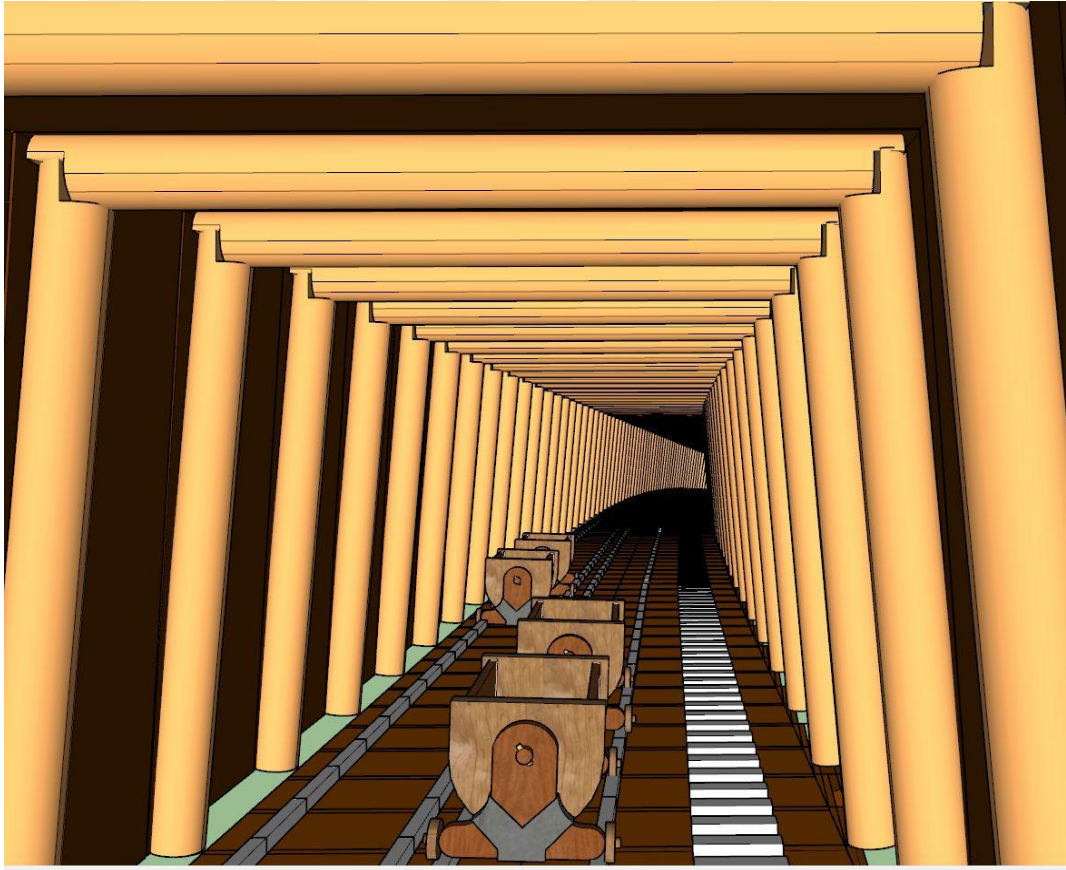


$$S = \frac{a+b}{2}h$$

Burada,  
a : Galeri taban genişliği (m)  
b : Galeri tavan genişliği (m)  
h : Galeri yüksekliği (m)  
olmaktadır.



$$a = 3,30 \text{ m} \quad b = 2,78 \text{ m} \quad h = 2,84 \text{ m} \quad \text{ise } S = \frac{(3,30) + (2,78)}{2} (2,84)$$
$$S = 8,6336 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$



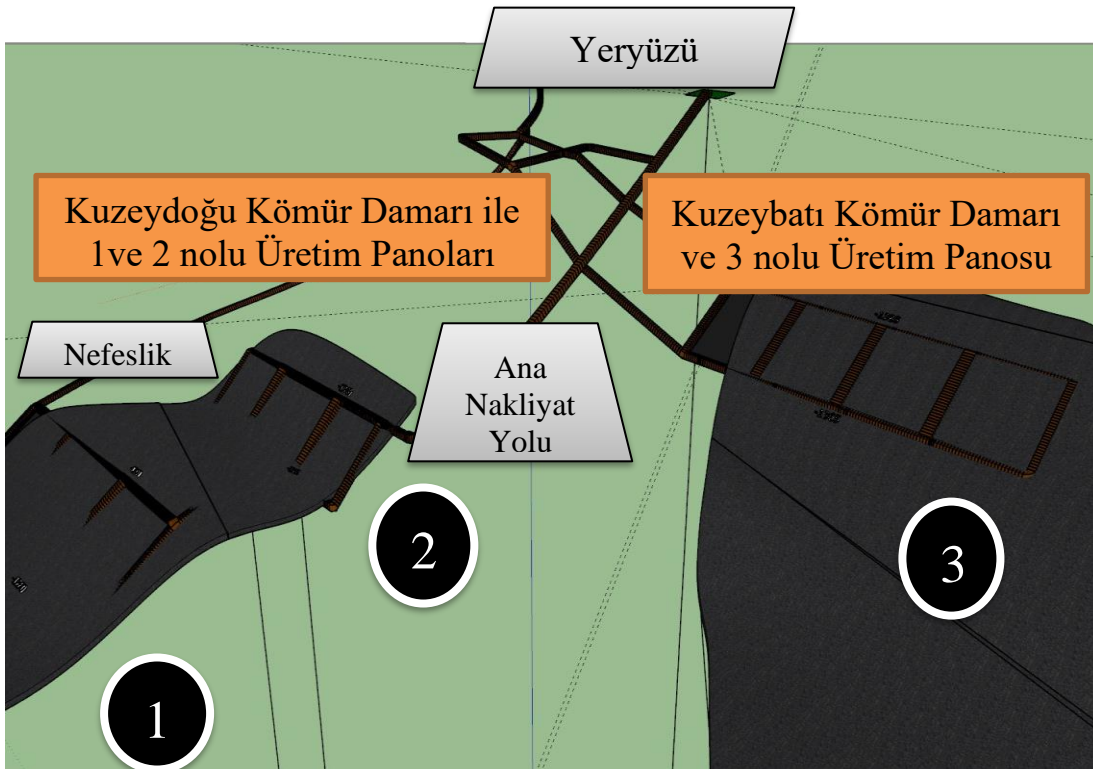
**Şekil 4.5:** Maden Ana Nakliyat Yolu ve Varagel Sistemi [21]

Kömür yüklü 1 tonluk vagonlar yerüstüne çekilirken boş vagonlarda kancadibine doğru hareketlenir.



Şekil 4.6: Kancadibinde Dolu ve Boş Vagonları Ayarlayan 2 İşçi [21]

Örnek maden ocağında kuzeydoğu ve kuzeybatıya doğru eğimli iki farklı kömür damarı mevcuttur.



Şekil 4.7: Kömür Damarları ve 3 Boyutlu Şema [21]



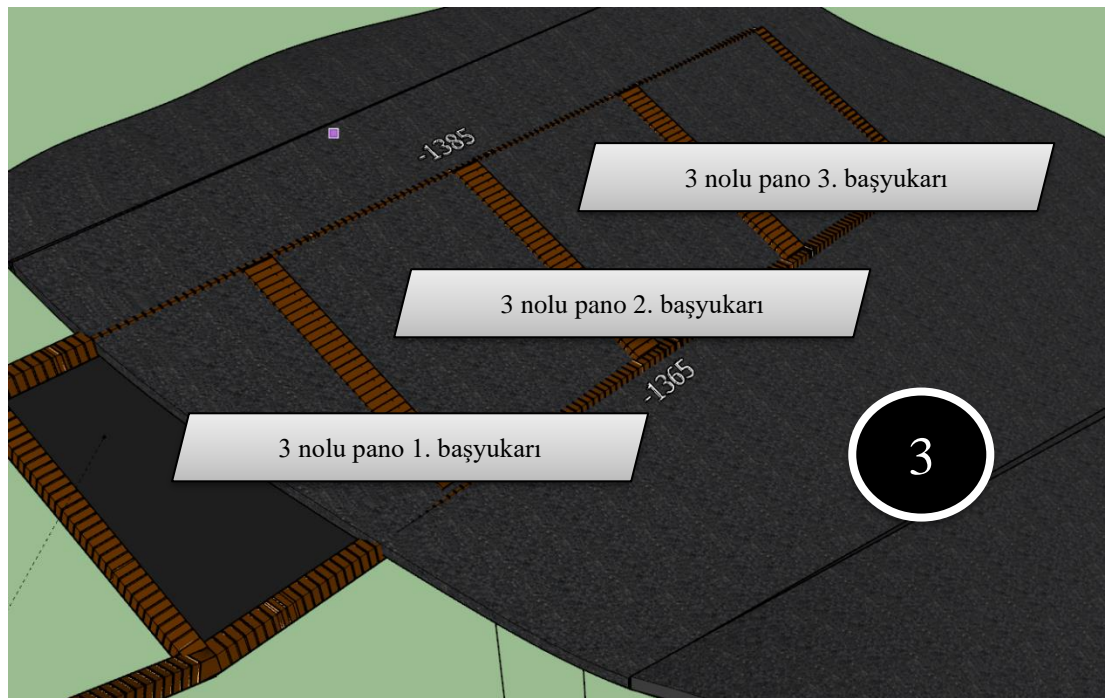
Kuzeybatı da bulunan kömür damarı ortalama 2 m kalınlıktadır. Buradaki ayak sisteminde pano boyunca 2,5 m lik direkler kullanılmıştır. Başyukarılarda ise 3 m lik direkler kullanılmıştır. 40 m ayak genişliği ve 160 m pano uzunluğunda üretim hattı oluşturulmuştur. -1385 ile -1365 kotları arasında çalışma yapılmaktadır. 3 vardiyeye çalışılmaktadır. Bir vardiyede ortalama 20 vagon, 20 ton yani yaklaşık 18 ton civarında satılabilir kömür elde edilmesi istenmektedir. Ayak genişliği, pano uzunluğu ve kömür damarına göre yapılan hesaplarda 15 bin ton civarında kömür üretimi amaçlanmaktadır. 3 nolu pano olarak adlandırılacaktır.

2,5 m lik maden direkleri ile çalışma yapılan bölgelerde kesit alanı;

$$a = 2,72 \text{ m} \quad b = 2,32 \text{ m} \quad h = 2,40 \text{ m} \quad \text{ise } S = \frac{(2,72) + (2,32)}{2} (2,40)$$

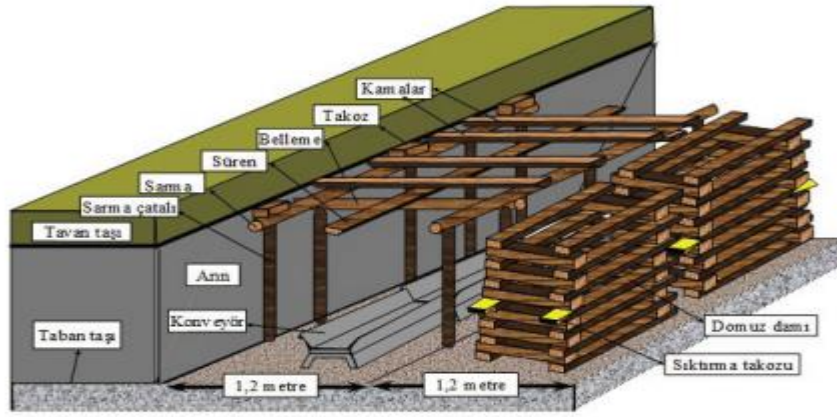
$$S = 6,048 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

Kömürün yatımı yaklaşık 30° dir. Her 40 m de bir başyukarılar oluşturularak alt kot ile paralelindeki üst kotlar birleştirilmiştir ve hava akışının sürekliliği sağlanmıştır. Başyukarılardan eğim yardımıyla kaydırılan kömürler -1365 kotunda vagonlara doldurularak yer üstüne nakledilir.



Şekil 4.8: -1385 ve -1365 kotları Kömür Damarı ve Pano [21]

Kuzeydoğuya uzanan kömür damarında ise -1340 ve -1315 kotları ile -1300 ve -1260 kotlarında çalışma mevcuttur. 45° eğimde, 50 m ayak genişliği ve 150 m pano uzunluğunda ilk üretim hattı ile 60 m ayak genişliği ve 180 m ayak uzunluğunda ikinci üretim hattı karşımıza çıkmaktadır. Kömür damar kalınlığı üst kotlarda ortalama 2,20 m ve daha alt kotta 2,50 m dir. Daha yüksek üretimler bu kotlarda yapılmaktadır ve göçertmeli uzun ayak sistemi uygulanmaktadır. -1340 ve -1315 kotları 2 nolu ve -1300 ile -1260 kotları 1 nolu pano olarak adlandırılacaktır.

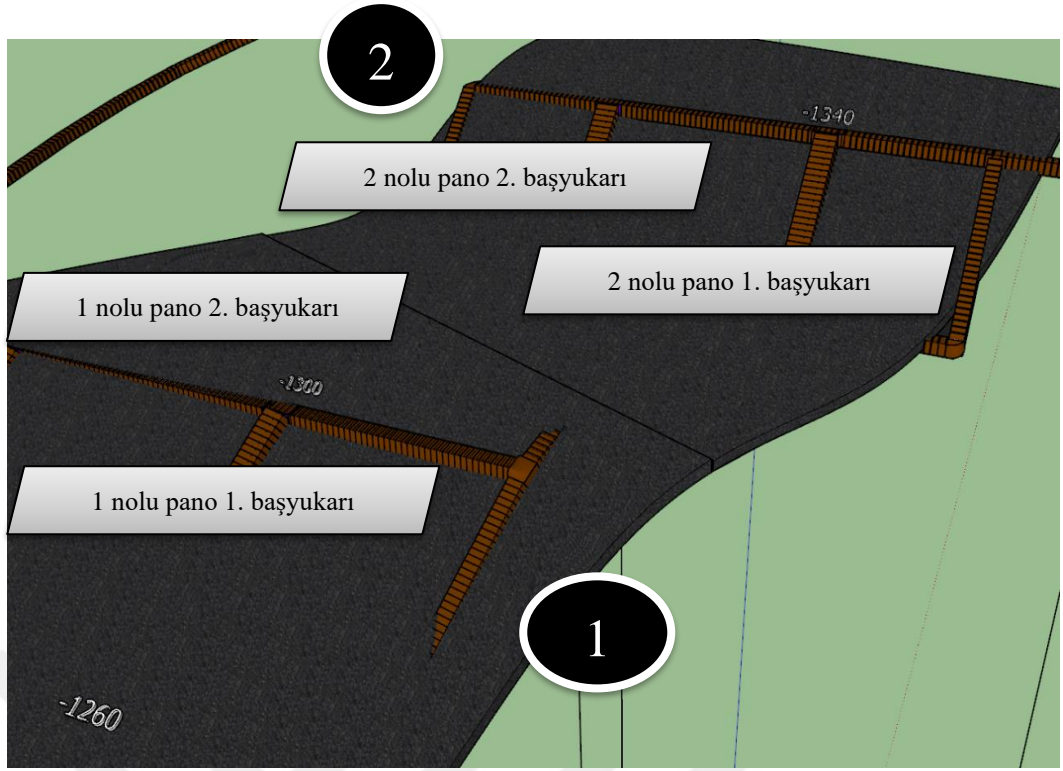


**Şekil 4.9:** Uzun Ayak Tahkimatı Perspektif Görünümü ve Domuz Damı [13]

-1340 ve -1315 kotları arasında oluşturulan 2 nolu panodan 20 bin ton civarında kömür üretimi hedeflenmektedir. 2,20 m kömür kalınlığı olduğu için başyukarılarda 3 m lik ahşap tahkimat ve domuz damları mevcuttur. Vardiyede ortalama 22 vagon, 22 ton yani %10 luk eleme kaybıyla 20 ton civarında satılabilir kömür üretilmesi istenmektedir.

-1300 ile -1260 kotları arasındaki 1 nolu panoda ise bir yandan başyukarıdan kömür alınırken bir yandan da hazırlık galerileri için çalışma yapılmaktadır. 60 m ayak genişliği, 180 m pano uzunluğu ve 2,50 m kömür kalınlığı dikkate alındığında yaklaşık 35 bin ton civarında üretim hedefi vardır. -1300 ve -1260 kotlarında 3 er çalışan arında çalışmakta pano hazırlamaktadır, oluşturulan başyukarıda ise 3 çalışan 25 vagon ile kömür üretimine katkı sağlamaktadır. Hazırlık galerileri sürülürken de yaklaşık 10 vagon civarında ( 9 ton satılabilir kömür ) üretim hedeflenmektedir.

Toplam 3 ayaktan 65-70 ve hazırlık galerisinden 10 olmak üzere 75-80 vagon, 80 ton yani vardiyede 70 ton civarında satılabilir kömür üretilmesi istenmektedir.

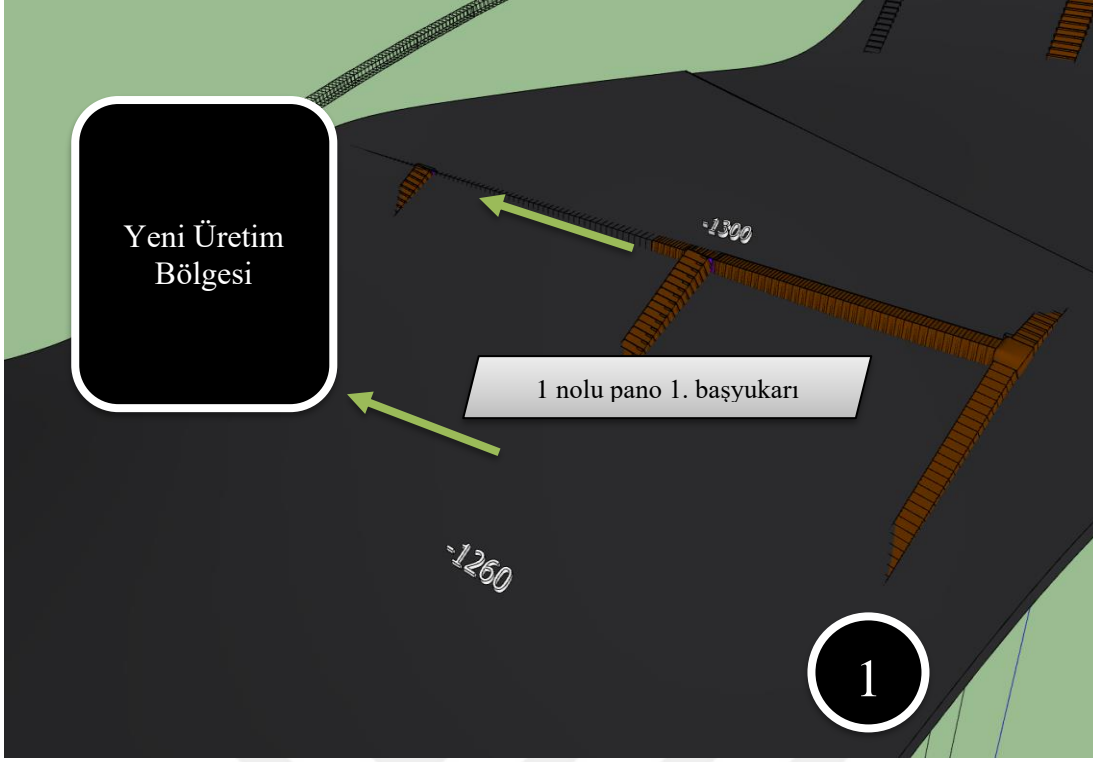


**Şekil 4.10:** -1340 ve -1260 kotları Kömür Damarı ve Panolar [21]

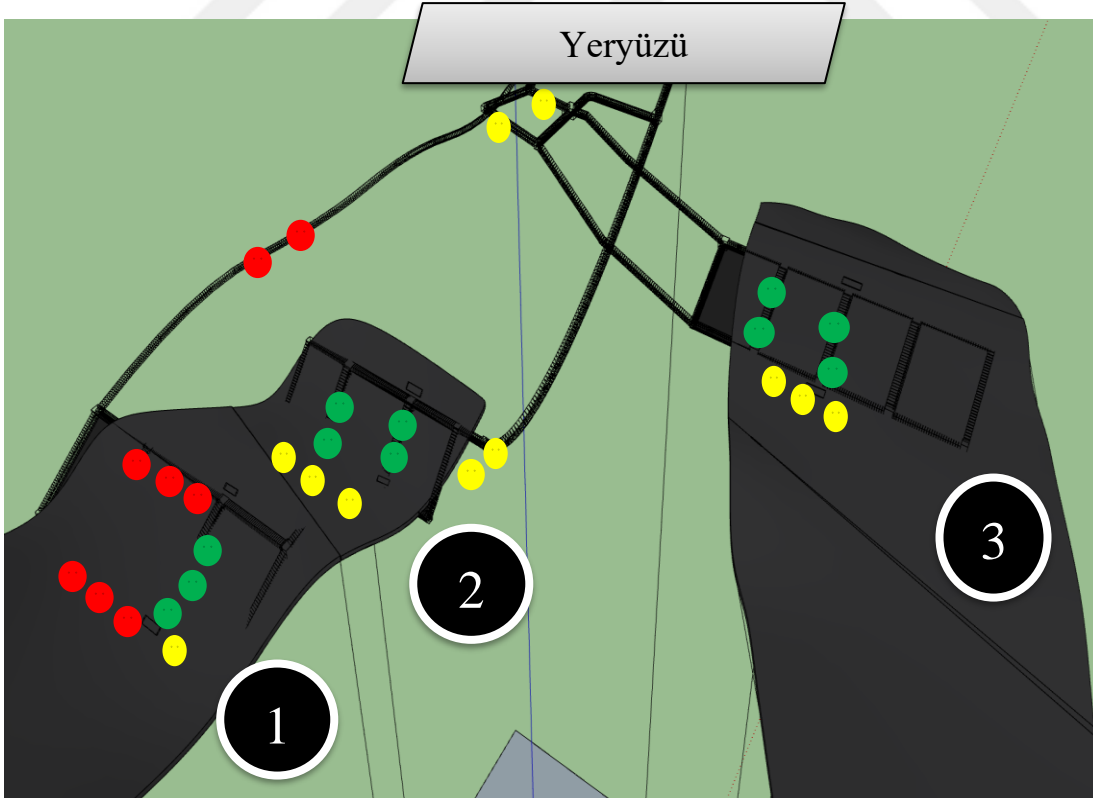
Kömürün yatımına göre çıkılan başyukarılardan, patlatma yada mekanik sistemlerle alınan kömürler konveyörlerle yardımcı ile üst kottan alt kota doğru kayarak vagonlara doldurulur.



**Şekil 4.11:** Başyukarılardan Kömür Üretimi [21]



Şekil 4.12: -1300 ve -1260 kotları 1 Nolu Pano Hazırlık Galerileri ve Yeni Üretim Bölgesi [21]

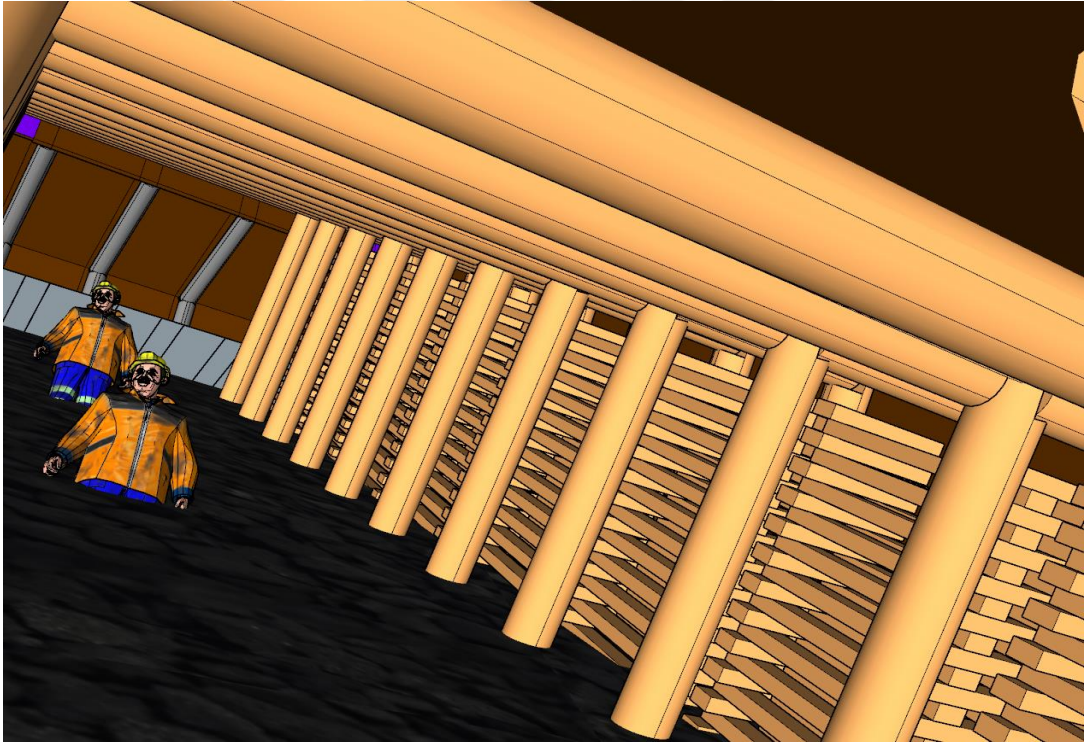


Şekil 4.13: Maden İşletmesinde İşçilerin Çalışma Yerleri Şematik Gösterimi [21]



## 5. YERALTI KÖMÜR MADENİ HAVALANDIRMA HESAPLARI

Madende 3 vardiyede günlük yaklaşık 240 tonluk kömür üretimi yapılması planlanmıştır. Yeraltında bir vardiyede 30 çalışan vardır. Bunlar; 2 işçi kancadibinde ( ana nakliyat yolu ile kömür damarının kesiştiği bölge ), 3 işçi vagonların aşağı kottan yukarı kotlara çıkmasını sağlayan vinçlerin başında, 3 ayakta toplam 11 işçi başyukarılarda kazma kürek ile yada mekanize şekilde kömür üretiminde, 6 işçi vagonların yerüstüne sevkinde, 6 işçi hazırlık galerilerinde ve 2 işçide nefeslik yollarında tarama ( eskiyen yada aşınmış direklerin yenisi ile değişimi ve kesit alanını artırmak işlemi) operasyonundadır. (Şekil 4.13)

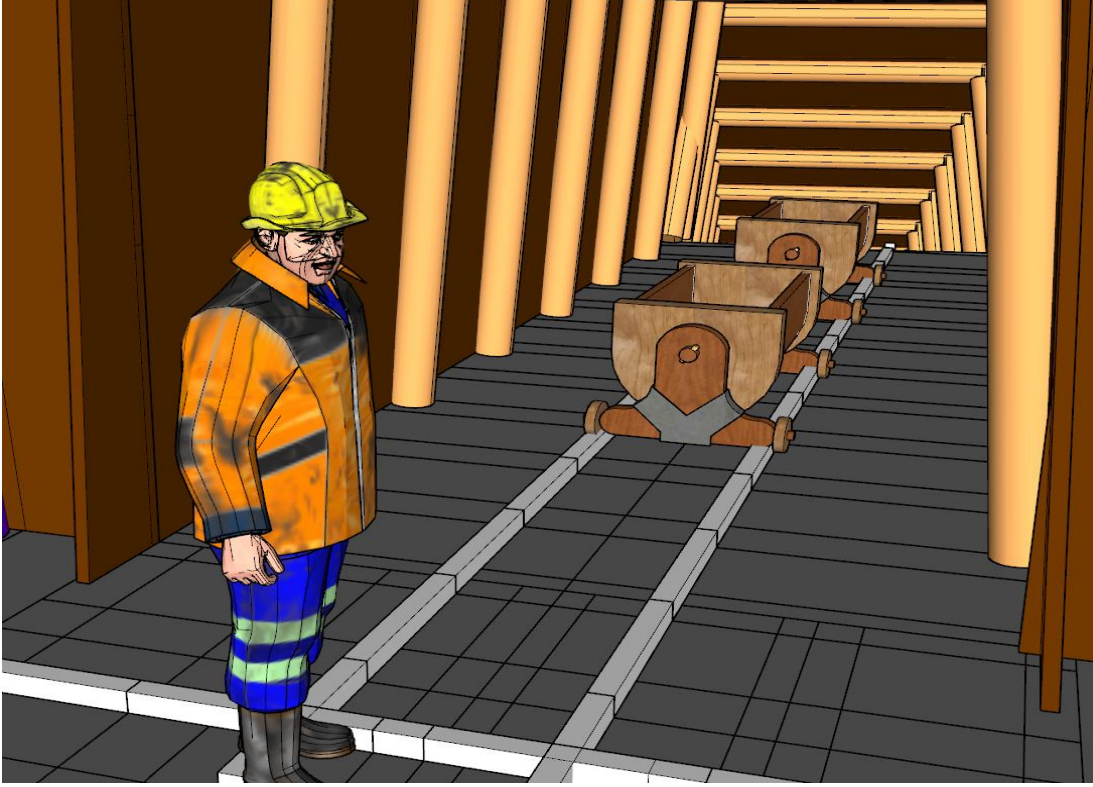


**Şekil 5.1:** Paralel Alt ve Üst Kotlar Arasında Dikine Başyukarılarda Çalışan İşçiler (2. Grup) [21]

Şekil 4.13'te maden içerisindeki tüm işçiler şematik şekilde gösterilmiştir. Sarı renk diğer çalışanlara oranla nispeten daha hafif fiziksel aktivitesi olan ortalama 3

dakikada bir vagon sevkiyatıyla uğraşan vinççiler, vagoncular ve kancadibi işçilerini göstermektedir.

Başyukarılarda çalışan ve kazma kürek ile yada martöpikörler yardımıyla kömür üretimi yapan işçiler yeşil renk ile, Galeri hazırlık yollarında çalışan ve hem kazma kürek ile hemde maden direği kaldırarak tahkimata destek olan ve neredeyse aralıksız ağır iş yapan işçiler ise kırmızı renk ile gösterilmiştir.



**Şekil 5.2:** Aşağı kotlardan çekilen vagonlar ve vinç başındaki işçiler (3. Grup)

[21]

ANSI/ASHRAE STANDARD 55'e göre maden işçileri saatlik fiziksel aktivite yoğunluğuna göre 3 farklı durumda sınıflandırılabilir;

- Galeri hazırlık yollarında çalışan ve hem kazma kürek ile hemde maden direği kaldırarak tahkimata destek olan ve neredeyse aralıksız ağır iş yapan işçiler, (1. Grup)
- Başyukarılarda çalışan ve kazma kürek ile yada martöpikörler yardımıyla kömür üretimi yapan işçiler, (2. Grup)

- Diğer çalışanlara oranla nispeten daha hafif fiziksel aktivitesi olan ortalama 3 dakikada bir vagon sevkiyatıyla uğraşan vinççiler, vagoncular ve kancadibi işçileri. (3. Grup) [22]

Gerekli hava miktarı hesaplanırken çalışanlar için asgari hava tedarikine, ocaktaki gaz yayılımına göre ve çalışma alanlarındaki toz derişimine göre 3 türlü hesap yapılacaktır. Maden işletmesinde patlatıcı kullanılmadığı varsayılmıştır.

İşçi sayısına bağlı hava tedariki hesabı ile mukayese için üretime bağlı temiz hava miktarı da hesaplanacaktır.

### 5.1. Çalışan Sayısına ve Üretime Göre Gerekli Hava Miktarı Hesabı

Literatüre baktığımızda işçi sayısına göre hava miktarının belirlenmesi metoduna sıklıkla rastlamaktayız.

Aşık N., (1993) ‘Yeni Çeltek Linyit Ocağı Havalandırma Sisteminin Etüdü’ konulu tez çalışmasında işçi başına  $6 m^3/dak$  hava gereksinimi olduğunu savunmuştur. Yine ÖKTEN, G., FİŞNE, A., ‘Madenlerde Havalandırma Ders Notları’ nda pratikte, çalışan işçi başına  $6 m^3/dak$  hava ihtiyacı olduğuna dikkat çekse de gerçek tecrübelerin temiz hava sağlandığı takdirde  $1-2 m^3/dak$  lık hava temininin yeterli olduğunu gösterdiğini açıklamıştır.

Ocak derinliği, fiziksel koşullar, gaz intişarı, gazlılık derecesi ve üretim miktarı gibi birçok parametrenin bir araya gelişi, maden işletmelerinde kesin ve net bir işçi başına temiz hava ihtiyacını ortaya koymakta güçlük yaratmaktadır.

Bu tez çalışmasında da yönetmeliklerin tavsiye ettği değerlere, belirli standartlara ve geçmiş literatüre uygun değerler esas alınacaktır. Farklı olarak işçiler çalışma koşullarına ve iş elbiselerine göre 3 sınıfa ayrılacak, ANSI/ASHRAE STANDARD 55 e göre kıyas yapılarak 3 grup için gerekli hava miktarı hesaplanacaktır. 3. Grup işçileri için konfor şartı olarak garajlarda hava gereksinimi olan ve ANSI/ASHRAE STANDARD 62-1989 dan alınan Çizelge 4.1’ye göre  $30 L/s = 0,03m^3/s$  , yani  $1,8 m^3/dak$  baz alınacaktır. [28]

Bu referans değere göre 2. ve 3. Grup işçileri için fiziksel çalışmaya dayalı mukayese ile asgari hava ihtiyacı bulunacaktır.

## Çizelge 5.1: Dış Ortam İnsan için Gerekli Hava Miktarı [27]

TABLO 2  
TABLO 4 HAVANLANDIRMA İÇİN DİŞ ALAN HAVA ŞARTLARI\*  
2.1 TİCARİ TESİSLER (Ofisler, mağazalar, işyerleri, depolar, spor tesisleri)

Uygulama	Tahmini Maksimum Doluluk oranı**	Açık Alan Hava Şartları				Yorumlar
		Cfm/kişi	L/s-kişi	Cfm/ft <sup>2</sup> (Küçük feet-metre/feet kare)	L/s-m <sup>2</sup> (litre saniye metre kare)	
	P/ 1000 ft <sup>2</sup> ya da 100 m <sup>2</sup>					
<b>Kuru Temizleyiciler, Çamaşır Makineleri</b>						Kuru temizleme süreçleri daha fazla hava gerektirebilir
Ticari çamaşır makineleri	10	25	13			
Ticari kuru temizleyiciler	30	30	15			
Depolama toplama	30	35	18			
Bozuk para ile çalışan çamaşır makineleri	20	15	8			
Bozuk para ile çalışan kuru temizleyiciler	20	15	8			
Gıda ve içecek hizmetleri						
Yemek salonları	70	20	10			
Kafeterya, fast food, Barlar, kokteyl barlar	100	20	10			
	100	30	15			Ek duman-giderici bir donanım gerektirebilir.
Mutfaklar(aşçılık)	20	15	8			Davumbazın egzostu için dışarıdan alınan hava daha fazla hava miktarı gerektirebilir. Dışarıdaki havanın toplamı ve yan yana alanlardan transfer edilen kabul edilebilir kalitedeki hava 1.5 cfm/ft kare (7,5 L/s metre kare)den az olmayacak bir egzost oranı sağlamalıdır.
Garaj, onarım ve servis istasyonları						Kişiler arası dağılım işinin yerini ve çalışan cihazların konsantrasyonunu dikkate almalıdır; cihazların bağlı olduğu tezgâhlar, pozitif motor egzost çekişini sağlayacak sistemleri ihtiva etmelidir.
Kapalı garajlar				1,50	7,5	
Oto tamir atölyeleri				1,50	7,5	
<b>Otel, Motel,Tatil Köyleri, Yurtlar</b>				<b>Cmf/oda</b>	<b>L/s-oda</b>	Bağımsız oda büyüklüğü
Yatak odaları				30	15	
Salonlar				30	15	
Banyolar				35	18	Fastlali kullanım için Kurulu güç(donanım gücü)
Lobiler	30	15	8			
Konferans salonları	50	20	10			
Toplantı salonları	120	15	8			
Yurt uyuma alanları	20	15	8			Yiyecek içecek servis alanları, berber, güzellik salonları, ticari alanlar ve garajlara da bakınız.
Kumarhane(gazinolar)						Ek duman giderici ekipman gerektirebilir.
<b>Ofisler</b>						
Ofis alanı	7	20	10			Bazı ofis ekipmanları lokal egzost gerektirebilir.
Resepsiyon alanları	60	15	8			

‘Met’ ANSI/ASHRAE STANDARD 55 te  $1,8 \text{ m}^2$  yüzey alanına sahip bir insanın  $58,2 \text{ W/m}^2$  lik enerji üretimi olduğunu kabul eden bir birimdir. Yapılan fiziksel aktiviteye göre de bu değer azalmakta yada artmaktadır.



## Çizelge 5.2: ASHRAE Standard 55 Fiziksel Aktivite Değerleri [22]

© American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (www.ashrae.org). For personal use only. Additional reproduction, distribution, or transmission in either print or digital form is not permitted without ASHRAE's prior written permission.

TABLE A1 Metabolic Rates for Typical Tasks

Activity	Metabolic Rate		
	Met Units	W/m <sup>2</sup>	(Btu/h-ft <sup>2</sup> )
<b>Resting</b>			
Sleeping	0.7	40	(13)
Reclining	0.8	45	(15)
Seated, quiet	1.0	60	(18)
→ Standing, relaxed	1.2	70	(22)
<b>Walking (on level surface)</b>			
0.9 m/s, 3.2 km/h, 2.0 mph	2.0	115	(37)
1.2 m/s, 4.3 km/h, 2.7 mph	2.6	150	(48)
1.8 m/s, 6.8 km/h, 4.2 mph	3.8	220	(70)
<b>Office Activities</b>			
Reading, seated	1.0	55	(18)
Writing	1.0	60	(18)
Typing	1.1	65	(20)
Filing, seated	1.2	70	(22)
Filing, standing	1.4	80	(26)
→ Walking about	1.7	100	(31)
→ Lifting/packing	2.1	120	(39)
<b>Driving/Flying</b>			
Automobile	1.0–2.0	60–115	(18–37)
Aircraft, routine	1.2	70	(22)
Aircraft, instrument landing	1.8	105	(33)
Aircraft, combat	2.4	140	(44)
Heavy vehicle	3.2	185	(59)
<b>Miscellaneous Occupational Activities</b>			
Cooking	1.6–2.0	95–115	(29–37)
House cleaning	2.0–3.4	115–200	(37–63)
Seated, heavy limb movement	2.2	130	(41)
Machine work			
sawing (table saw)	1.8	105	(33)
light (electrical industry)	2.0–2.4	115–140	(37–44)
→ heavy	4.0	235	(74)
→ Handling 50 kg (100 lb) bags	4.0	235	(74)
→ Pick and shovel work	4.0–4.8	235–280	(74–88)

Başyukarılarda çalışan ve kömür üreimi yapan 2. Grup işçiler için ‘met unit’ değeri ağır makine işi baz alınarak 4.0 seçilmiş, 1. Grup hazırlık galerisinde çalışan işçiler 50 kg ağırlık kaldırma ve kazma kürek çalışması olarak düşünülmüş ve ‘met unit’ değeri 4,4 seçilmiş, 3. Grupta yer alan diğer çalışanlar için 2/3 oranında ayakta durma ve 1/3 oranında kaldırma paketleme işi baz alınmış ‘met unit’ değeri 1,5 seçilmiştir.

Beliretilen standartlar çerçevesinde, maden işletmesinin kategori olarak gazsız oluşu (metan az), en uçtaki ayak çalışanlarının dahi gerekli temiz havayı temini ve ocaktaki tüm işçilerin rahat solunumu için;

- Diğer çalışanlara oranla nispeten daha hafif fiziksel aktivitesi olan ortalama 3 dakikada bir vagon sevkiyatıyla uğraşan vinççiler, vagoncular ve kancadibi işçilerinin hava ihtiyacı  $1,8 \text{ m}^3/\text{dak}$  , (3. Grup)
- Başyukarılarda çalışan ve kazma kürek ile yada martöpikörler yardımıyla kömür üretimi yapan işçiler için ‘met unit’ oranı ( 4,0/1,5 ) da baz alınarak gerekli hava  $4,8 \text{ m}^3/\text{dak}$ , (2. Grup)
- Galeri hazırlık yollarında çalışan ve hem kazma kürek ile hemde maden direği kaldırarak tahkimata destek olan ve neredeyse aralıksız ağır iş yapan işçilerin ‘met unit’ oranı ( 4,4/1,5 ) da baz alınarak gerekli hava miktarı  $5,3 \text{ m}^3/\text{dak}$  , (1. Grup)

olarak belirlenmiştir.

O halde yeraltı maden işletmesi için toplama temiz hava ihtiyacı;

$$((6 + 2) * 5,3) + (11 * 4,8) + (11 * 1,8) = 115 \frac{\text{m}^3}{\text{dak}} \text{dır.}$$

Bir diğer yöntem olan ancak doğruluğu tartışılır, **üretim dayalı hava debisi** temini için, maden işletmesinde yapılan günlük üretimin yaklaşık 240 ton civarında olduğu daha önce verilmişti.

Eğer  $q$  ( $\text{m}^3/\text{dak}$ ) bir ton üretim için standart hava miktarı ve  $T$  (ton) günlük üretim ise, toplam hava miktarı

$$Q = q.T (\text{m}^3/\text{dak})\text{dır}$$

Çizelge 5.3’ten ocağın metan gazı oluşumu bakımından 2. kategoride yer aldığı bilinmektedir, o halde temiz hava ihtiyacı  $240 * 1,25 = 300 \text{ m}^3/\text{dak}$  dır.

Çizelge 5.3: Standart Hava Miktarları [11]

Ocağın gaz kategorisi	Bir ton üretime isabet eden CH <sub>4</sub> veya CO <sub>2</sub> mik. ( m <sup>3</sup> )	Bir ton üretim için gerekli hava mik. ( m <sup>3</sup> / dak)
Gazsız	5 e kadar	1,0
1	5	1,0
2	5 - 10 arası	1,25
3	10 - 15 arası	1,50
Kategorilerin üzerinde	15 ten fazla	Hava dönüş yolundaki CO <sub>2</sub> veya CH <sub>4</sub> miktarını % 0,5 e indirmek uygundur

Metal madenleri havalandırmasının planlamasında da, genellikle kömür ocaklarının standartları kabul edilir. Böyle bir kabul emniyetli bir hava fazlalığı yaratır. Metal madenleri CO<sub>2</sub> bakımından genellikle 1. Kategoriyeye dahil edilir. [11]

## 5.2. Gaz Yayılımına Göre Hava Miktarı Hesabı

Gaz yayılımı bakımından gerekli hava miktarını hesaplamak için maden ocağında ölçülen metan yayılımı ton başına 8 m<sup>3</sup> tür. Dönüş havasındaki metan derişiminin %0,5 e indirilmesi amaçlanmaktadır.

$$Q = \frac{100 * q}{p * 24 * 60 * 60}$$

**q**: Günlük yani 24 saat içinde intişar eden gaz miktarı (m<sup>3</sup>/gün)

**p**: Gazın hava içinde olması gereken oran (yüzde)

**Q**: Gerekli hava debisi (m<sup>3</sup>/s) [29]

$$Q = \frac{100 * 8 * 240}{0,5 * 24 * 60 * 60} = 4,44 \frac{m^3}{s} = 266 \frac{m^3}{dak} dır.$$

### 5.3. Toz Konsantrasyonuna Göre Hava Miktarı Hesabı

Gerekli hava debisini, oluşan toz konsantrasyonuna göre hesaplamak için;

$$Q_{toz} = \frac{A}{N_D - N_G} [29]$$

**A:** Toz indeksi, kayacın sertliğine ve çalışma türüne bağlıdır. Çizelge 2.2 değerleri kullanılacaktır.

**N<sub>D</sub>:** Hava dönüş yolunda izin verilen toz konsantrasyonudur. (400 tane/cm<sup>3</sup> alınacaktır.)

**N<sub>G</sub>:** Giriş havasındaki toz konsantrasyonu. Çizelge 2.2 ye göre (18 tane/cm<sup>3</sup> alınacaktır.) [29]

- Maden işletmesinde -1300 ile -1260 kotlarında devam eden hazırlık galerisi çalışmalarında kuru delik delme operasyonu vardır. Çizelge 2.2 den A değeri 1050 tane/cm<sup>3</sup> seçilir. ( $Q_{toz1}$ )
- 3 farklı başyukarıda ayak içinde delik delme kabulü ile A değeri Çizelge 2.2 den 400 tane/cm<sup>3</sup> seçilir. ( $Q_{toz2}$ )
- -1385 ve -1365 kotları arasındaki 1 başyukarıda da domuz damı arka geçertmesi yapılmaktadır. ile A değeri Çizelge 2.2 den 600 tane/cm<sup>3</sup> tür. ( $Q_{toz3}$ ) O halde;

$$Q_{toz1} = \frac{1050}{400 - 18} = 2,75 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{toz2} = \frac{400}{400 - 18} = 1,04 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_{toz3} = \frac{600}{400 - 18} = 1,57 \frac{m^3}{s}$$

Toplam temiz hava ihtiyacı;

$$2 * Q_{toz1} + 3 * Q_{toz2} + 1 * Q_{toz3} = 10,19 \frac{m^3}{s} = 611,4 \frac{m^3}{dak} \text{ dir.}$$

Hesaplanan değerler arasında en yüksek olan toz konsantrasyonuna bağlı temiz hava ihtiyacıdır. Emniyet katsayısı 1,5 kabul edilerek ocağa verilecek temiz hava miktarı;

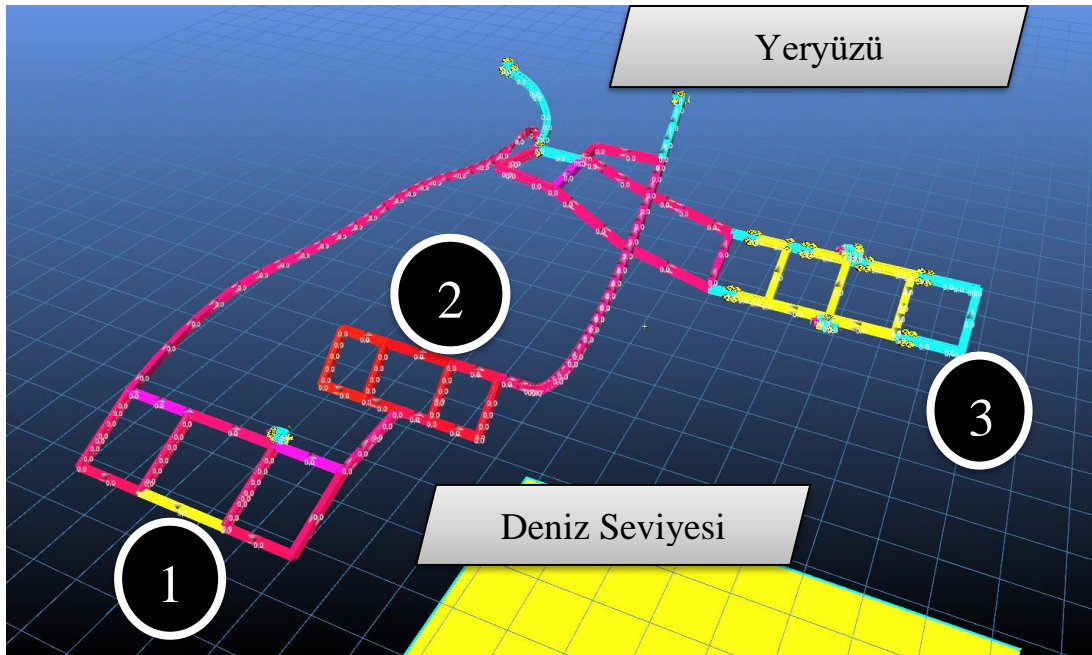
$$15,28 \frac{m^3}{s} = 916,8 \frac{m^3}{dak}$$

olarak belirlenir.

Daha önce hesaplanan 3 metrelik maden direkleri ile oluşturulan tahkimat kesit alanı  $S = 8,6336 m^2$  için hava hızı  $1,77 m/s$  civarında ve 2,5 metrelik direklerle oluşturulan tahkimatta  $S = 6,048 m^2$  için  $2,52 m/s$  civarında olacaktır. ‘Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzüğü’nün 161’inci maddesine göre uygun değerlerdir.

**Çizelge 5.4:** Farklı Çalışma Koşullarında Gerekli Hava Miktarı ve Hızları [27]

Koşul	Dizayn Kriteri	Hava Miktarı, $m^3/s$	Sızıntı, $m^3/s$	Basınçlandırma, $m^3/s$ (%10)	Gereken Hava Miktarı, $m^3/s$
Standart çalışma, minimum	$0,25 m^3/s/m^2$	2,7	0,3	0,4	3,4
Çoklu patlatma sonrası giriş	30 dak bekle, 8 hava değişimi; 60m tünel	2,9	0,3	0,5	3,7
İkinci patlatma sonrası giriş	10 dak bekle, 8 hava değişimi, alına 30m mesafe	4,4	0,4	0,7	5,5
Toz temizleme	1,0 m/s	10,9	1,1	1,6	13,6
Diesel Motor - Partiküller için	$0,0482 m^3/s/kW$	6,9	0,7	1,0	8,6
Diesel Motor - Isı için	$0,065 m^3/s/kW$	9,2	0,9	1,4	11,5



**Şekil 5.3:** 3 Boyutlu Çizimin Havalandırma Simülasyon Programına Aktarılması[30]

#### 5.4. Havalandırma Şebekelerinin Çözümü

Ocakta giriş ağzına bir merkezkaç vantilatör konulması planlanmıştır. Bilgisayar destekli havalandırma planının amacı, ocaktaki tüm desandre, başyukarı, kavşak ve üretim panolarında asgari hava debisini elde etmek suretiyle gerekli fan seçimlerini yapmak, eğer gerekliyse yer üstüne ulaşan yeni tüneller yada güçlendirici fan takviyesine karar vermek, maden içinde gerekli görülen bölgelerde kesit iyileştirmelerini yapmaktır.

Havalandırma tasarımı yapılırken hava hızının yeraltında hiçbir alanda  $8 m/s$  yi geçmemesi,  $0,1 - 0,2 m/s$  nin altına düşmemesi, -1300 ile -1260 kotları arasında hazırlık galerisi çalışmalarını sürdüren ve en yüksek temiz hava ihtiyacına sahip ( $5,3 m^3/dak$ ) işçilerin asgari hava ihtiyacının temini, diğer üretim panolarına göre daha fazla kavşak ve dik desandreden meydana gelen 3 nolu üretim panosunda ve başyukarılarında gereken hava akışının sağlanması gerekmektedir.

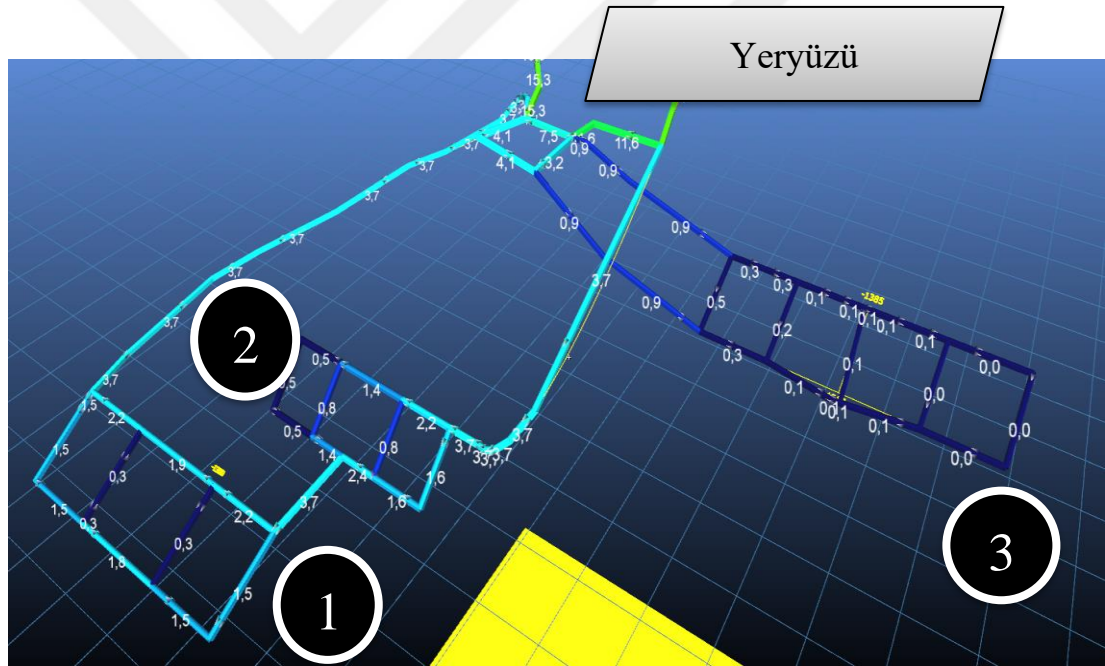
Ocakta temiz hava ihtiyacı ve kesit alanlarına bağlı olarak hava hızları bulunurken bir yandan da karbondioksit ve metan yayılımına bağlı optimizasyon çalışması yapılacaktır. Olası ve kritik değerdeki gaz yayılımına göre temiz hava debileri hesaplanacaktır.

Galeri hazırlık yollarında çalışan ve hem kazma kürek ile hemde maden direği kaldırarak tahkimata destek olan işçiler -1300 ve -1260 kotlarında çalışmakta ve  $5,3 m^3/dak$  temiz havaya ihtiyaç duymaktadır. Bu kotlardaki 3 er çalışan için  $0,265 m^3/s$  asgari temiz hava ihtiyacı vardır. Ayrıca yine bu kotlarda kuru delik delme operasyonu vardır ve düz galeride  $2,75 m^3/s$  asgari havaya ihtiyaç duyulmaktadır ki bu değer  $0,265 m^3/s$  i fazlasıyla karşılamaktadır. Başyukarılarda ayak içinde delik delinmekte ve  $1,04 m^3/s$  havaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değer 3 başyukarı işçisinin ihtiyaç duyduğu  $0,24 m^3/s$  nin zaten üzerindedir. (Pano 1)

2 nolu panoda başyukarılarda çalışan ve kazma kürek ile yada martöpikörler yardımıyla kömür üretimi yapan işçiler için işçi başına gereksinim  $0,08 m^3/s$  dir. Çalışan 2 işçi için bu değer  $0,16 m^3/s$  olarak kabul edilir. Bu kotlarda ayak içi delik delme yapıldığı için asgari temiz hava ihtiyacı ayaklarda  $1,04 m^3/s$  olacaktır ve işçilerin temiz hava gereksiniminin üzerindedir.

3 nolu panoda ise domuz damı arka göçertmesi yapıldığı için başyukarılarda  $1,57 m^3/s$  hava temini amaçlanmaktadır. Bu değer de martöpikörler yardımıyla kömür üretimi yapan 2 işçi için  $0,16 m^3/s$  nin üzerinde ve yeterlidir. Ancak ocak girişi baz alındığında en çok kavşak ve sürtünme bu kotlardadır ve temiz hava temini dikkatle incelenecek gerekli ise yeryüzüne yeni bir tünel ya da tüneller açılacaktır.

VENTSIM programı ile ilk olarak ana giriş bacasından toz derişikliğine göre hesaplamalar ile elde ettiğimiz  $15,3 m^3/s$  temiz havanın ocağa gönderildiği senaryo incelenmiştir. 3 nolu üretim panosunda temiz hava debisinin yeterince sağlanmadığı görülmektedir. Diğer taraftan hem 1 nolu panoda hem de 2 nolu üretim panosunda başyukarılarda asgari hava ihtiyacının ancak tozsuz ve gaz yayılmasız durumda sağlandığı görülmektedir. Bu durumun başlıca sebepleri ocak içindeki derinlik, kesit daralmaları ve kavşaklar ile şüphesiz pano uzunluklarıdır.

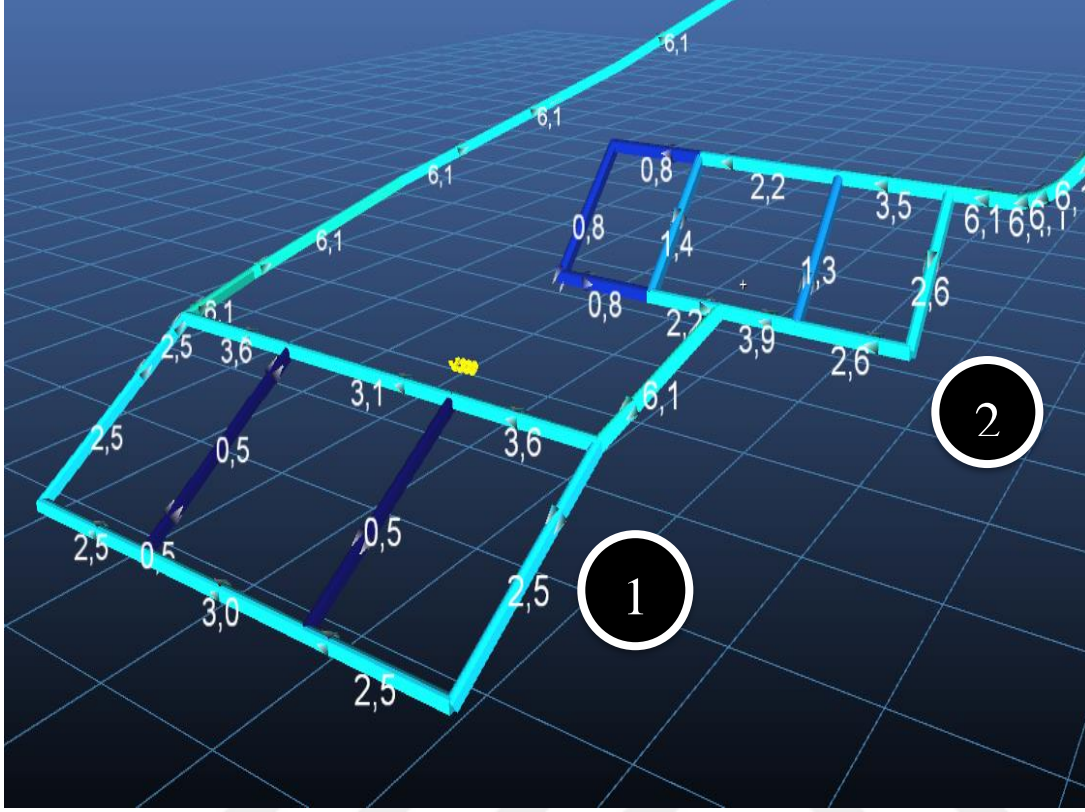


**Şekil 5.4:** Ana Giriş Bacasından  $15,3 m^3/s$  Hava Debisi ile Ocakta Temiz Hava Debileri

VENTSIM programı ile ikinci olarak ana giriş bacasından  $25 m^3/s$  lik temiz hava sağlandığındaki durum incelenmiştir. 1 nolu panonun başyukarılarında ihtiyaç duyulan  $1,04 m^3/s$  asgari hava değerine göre elde edilen değerler çok düşüktür. Diğer taraftan galeri hazırlık yollarında çalışan ve kuru delik delen 3 er işçi için hem



-1260 hem de -1300 kotunda gerekli  $2,75 \text{ m}^3/\text{s}$  asgari temiz hava ihtiyacı ancak karşılanmıştır.



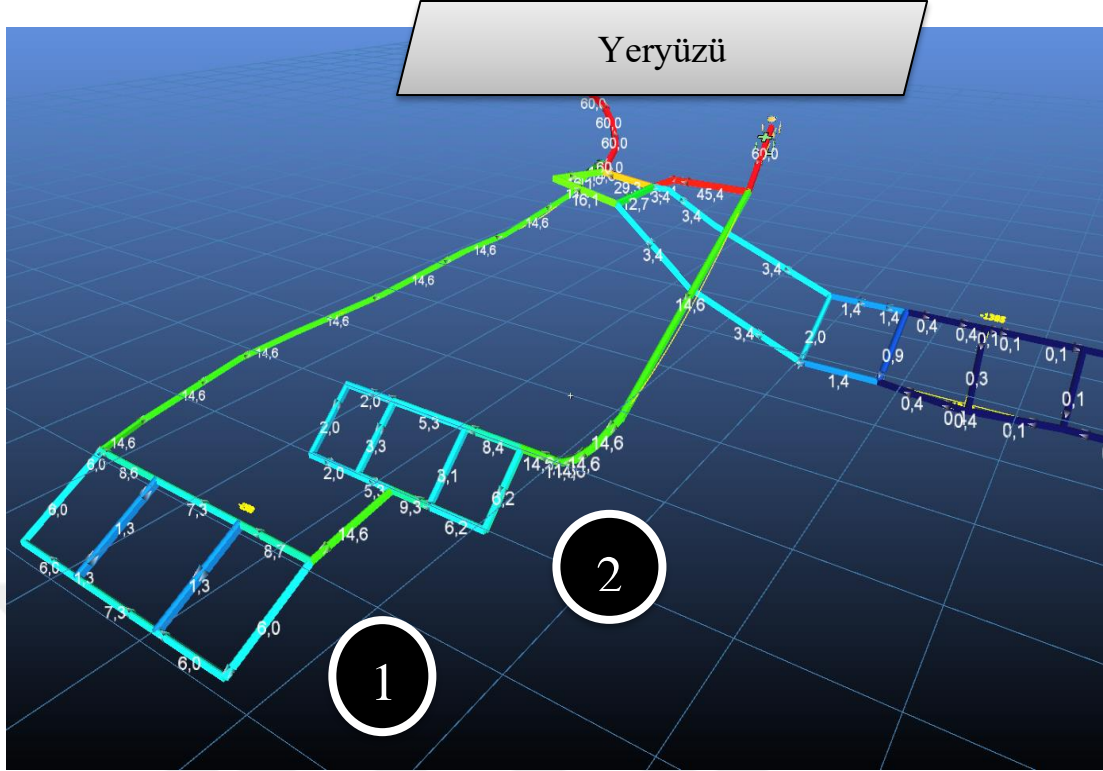
**Şekil 5.5:** Ana Giriş Bacasından  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  lik Hava Debisi ile 1 nolu Panoda Hava Yetersizliği

Ana giriş bacasından sırasıyla  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  ve son olarak  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  temiz hava ocak içerisine yollanarak en derin kotlarda ve başyukarılarıdaki hava debileri incelenmiştir.

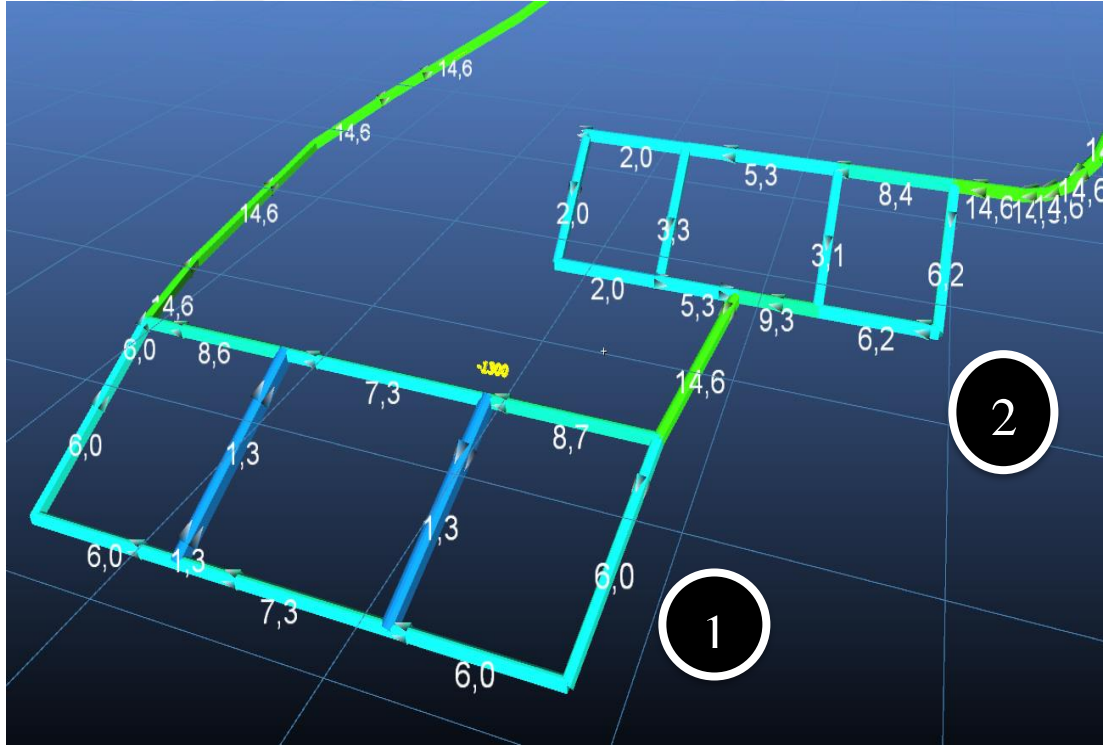
$60 \text{ m}^3/\text{s}$  lik hava tedariki ile hem en yüksek hava gereksiniminin olduğu -1260 ve -1300 kotları hazırlık galerilerinde  $2,75 \text{ m}^3/\text{s}$  lik, yine bu panoda başyukarılarında  $1,04 \text{ m}^3/\text{s}$  lik, ayrıca 2 nolu pano başyukarılarında gerekli  $1,04 \text{ m}^3/\text{s}$  lik hava ihtiyacı temin edilmiştir.

Buna ek olarak 3 nolu panoda, 1. başyukarıdaki domuz damı arka göçertmesi için gerekli  $1,57 \text{ m}^3/\text{s}$  lik hava temini sağlanamamıştır. Ayrıca pano uzunluğu ve kavşaklara bağlı olarak uzunayağın sonundaki başyukarıda hava debisi  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$  ye kadar düşmektedir. Burada ocak içinde tali olarak ya booster fan kullanımı ya da yüzeye dik olarak çıkılan bir kuyu planlanacaktır.

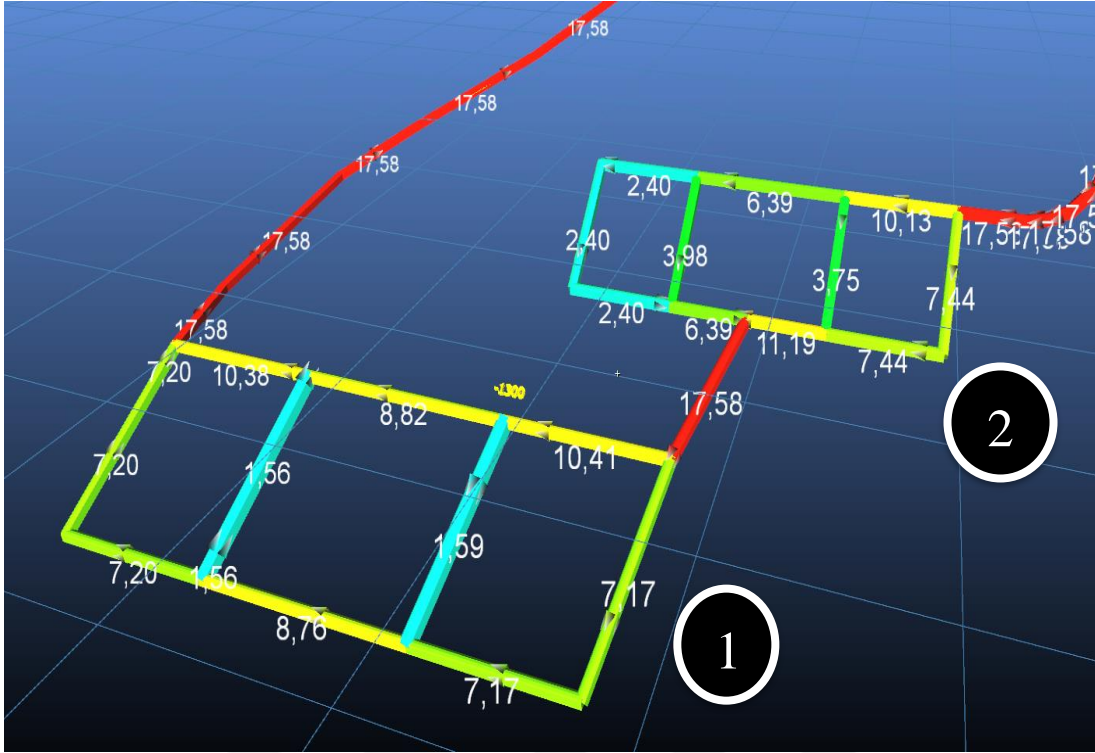




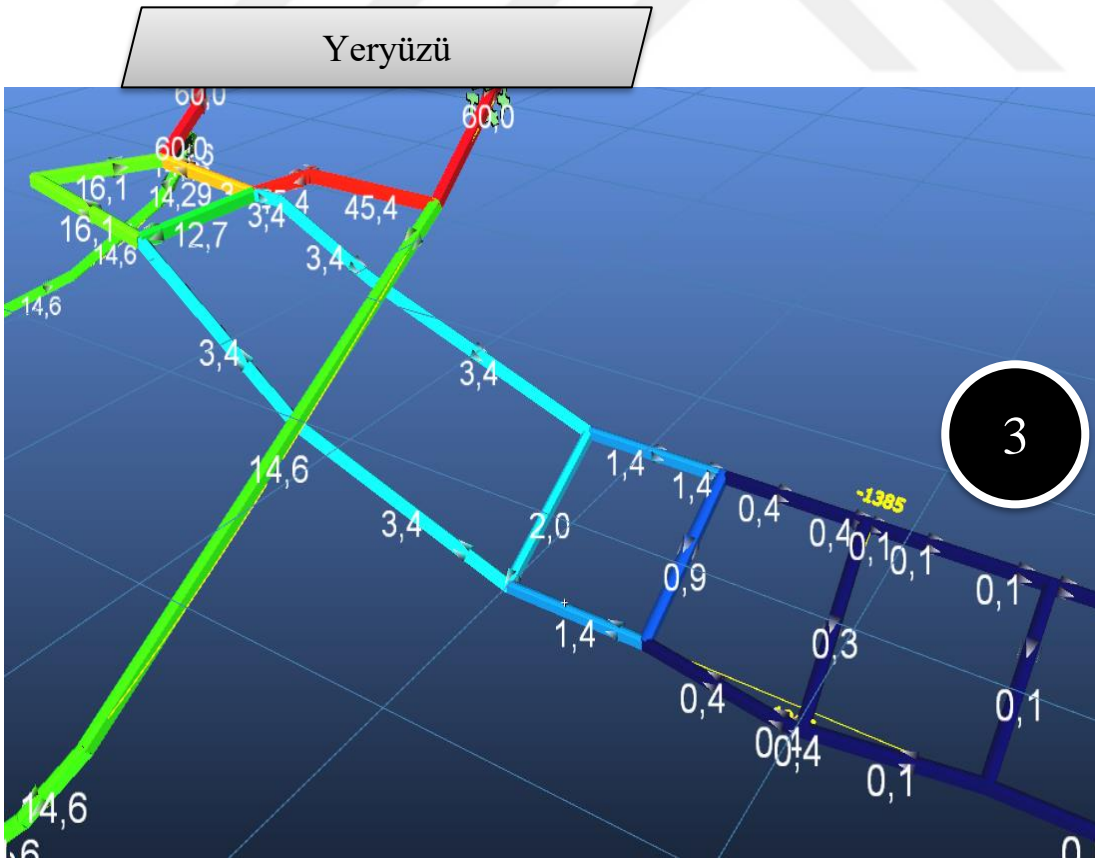
**Şekil 5.6:** Ana Giriş Bacasından  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  lik Hava Debisi ile Ocak İçinde Hava Debileri ( $\text{m}^3/\text{s}$ )



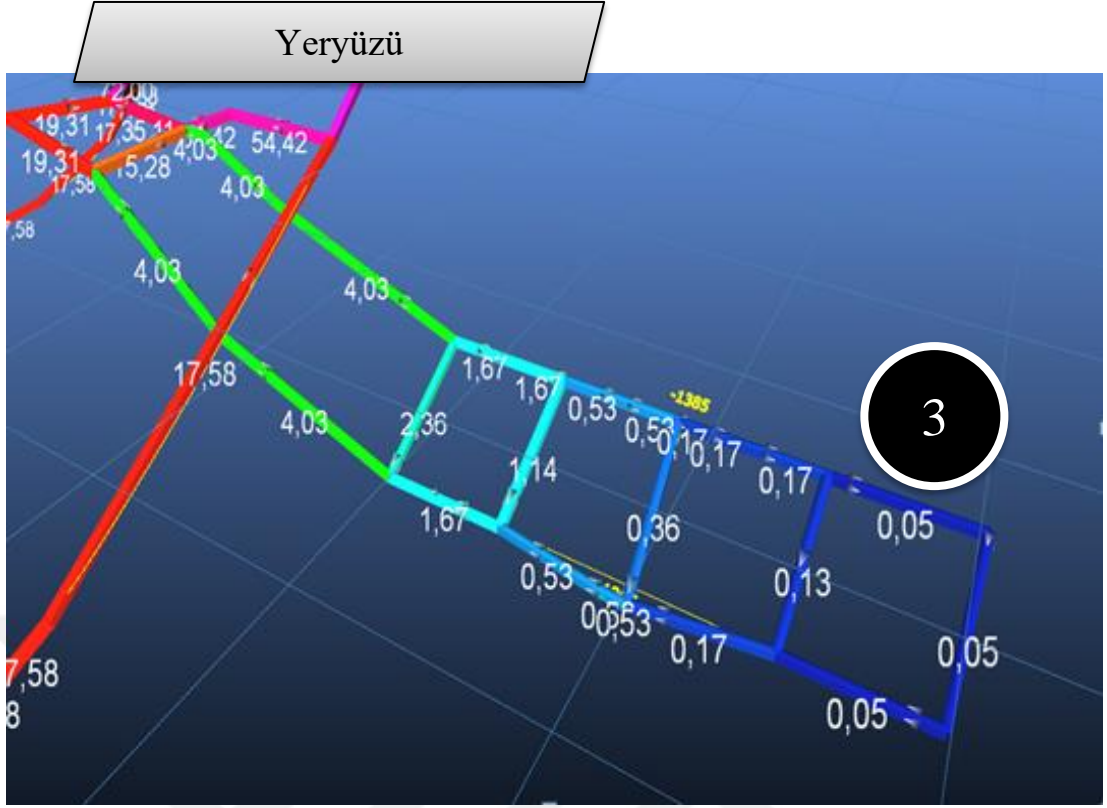
**Şekil 5.7:** Ana Giriş Bacasından  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  lik Hava Debisi ile 1 ve 2 nolu Panoda Hava Debileri ( $\text{m}^3/\text{s}$ )



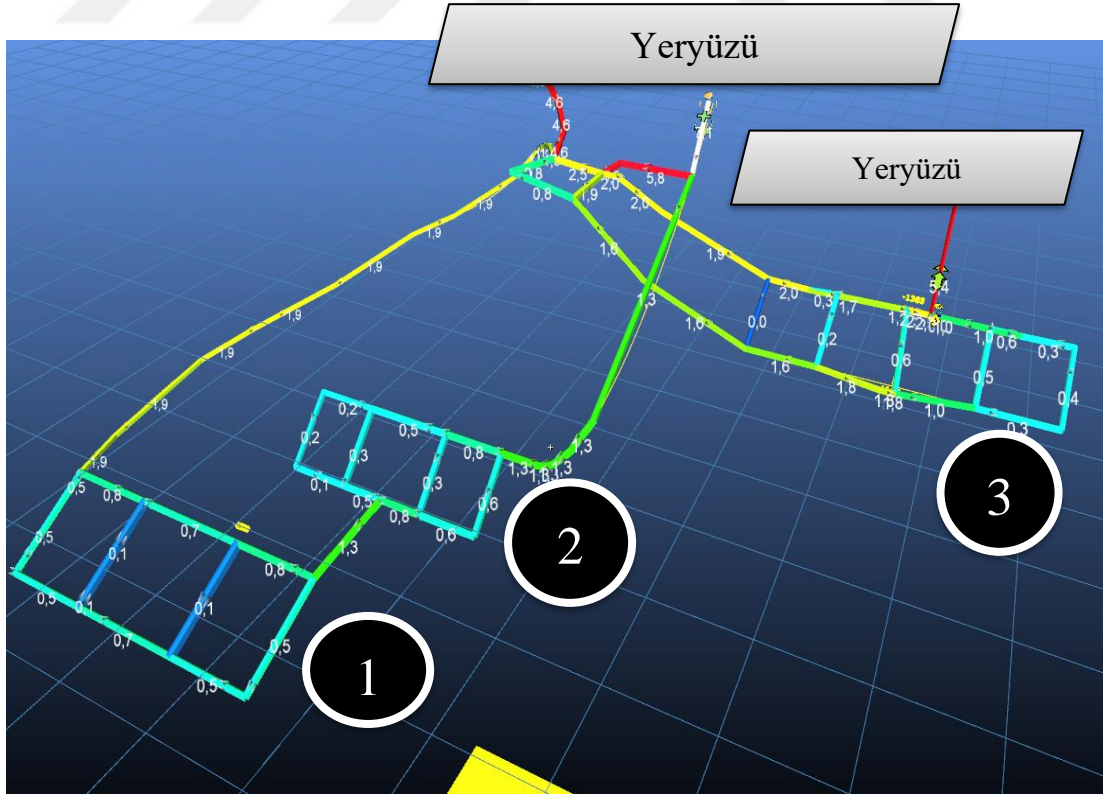
Şekil 5.8: Ana Giriş Bacasından 77,88 kg/s lik Hava Debisi ile 1 ve 2 nolu Panoda Hava Debileri (kg/s)



Şekil 5.9: Ana Giriş Bacasından 60 m<sup>3</sup>/s lik Hava Debisi ile 3 nolu Panoda Hava Debileri (m<sup>3</sup>/s)



**Şekil 5.10:** Ana Giriş Bacasından  $77,88 \text{ kg/s}$  lik Hava Debisi ile 3 nolu Panoda Hava Debileri ( $\text{kg/s}$ )



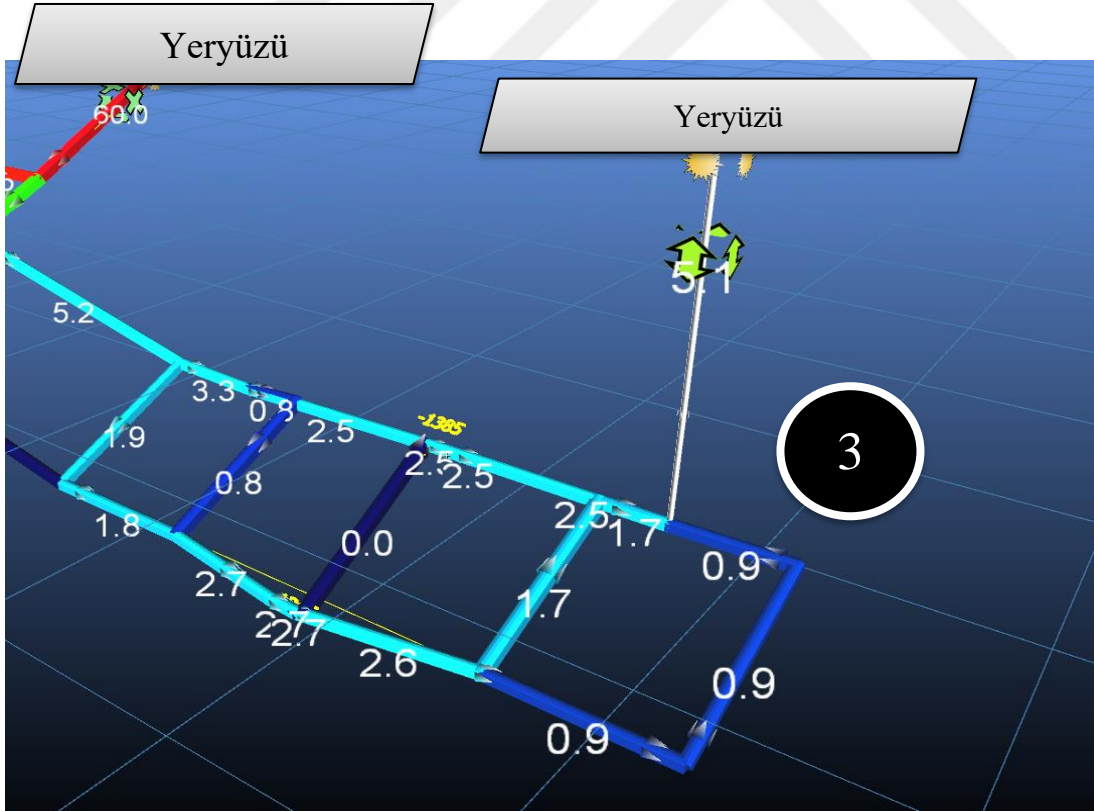
**Şekil 5.11:** Ana Giriş Bacasından  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  lik Hava Debisi ile Ocak İçinde Hava Hızları ( $\text{m/s}$ )



Özetlemek gerekirse  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  lik hava tedariki ile maden işletmesinin en alt kotlarında bulunan 1 nolu üretim panosunda hem hazırlık galerilerinde hem de başyukarılarında asgari hava temini sağlanmıştır.

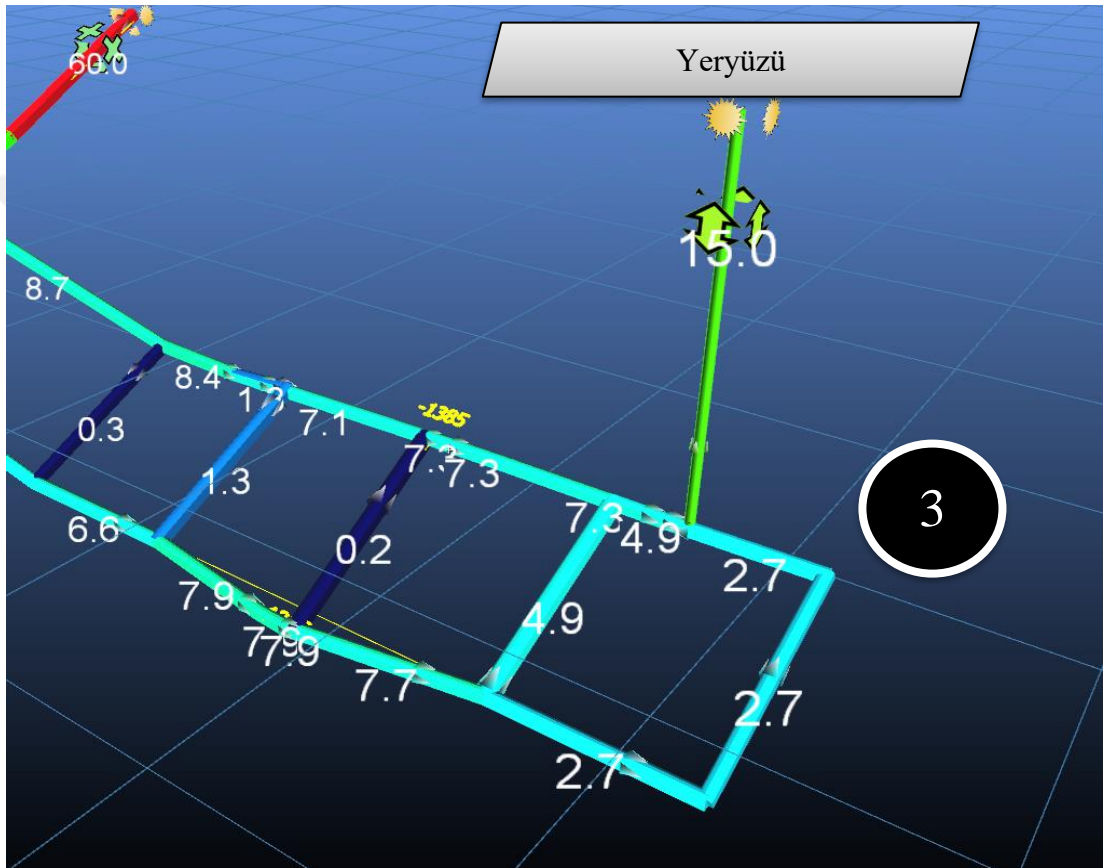
-1315 ve -1340 kotlarında da hem alt kotlardan vagon çekmekle görevli vinç başındaki 3. grup işçilerinin hem de ayaklarda delik delen ve kömür üretimine katkı olan 2. grup başyukarı işçilerinin temiz hava ihtiyacı karşılanmıştır. Ayrıca madenin hiçbir bölümünde  $8 \text{ m/s}$  lik hava hızı aşılmamıştır.

3 nolu panoda ise ocağın yapısı gereği oluşan kavşaklar ve kesit darlığından dolayı gerekli hava tedariki özellikle pano sonlarındaki başyukarılarda sağlanamamıştır. 2 m lik kömür damarına rağmen başyukarılarda 3 m lik maden direkleri kullanılsa da bu kesit artışı yeterli olmamaktadır. VENTSIM programında öncelikle yaklaşık 75 m uzunluğunda, dik yeryüzüne açık ve 1 m çapında dairesel kesitli bir kuyu tasarlanarak hava dağılımı tekrar gözden geçirilecektir. Maliyetten dolayı üst kottan yeryüzüne dik kuyu tasarlanacaktır. (-1385)



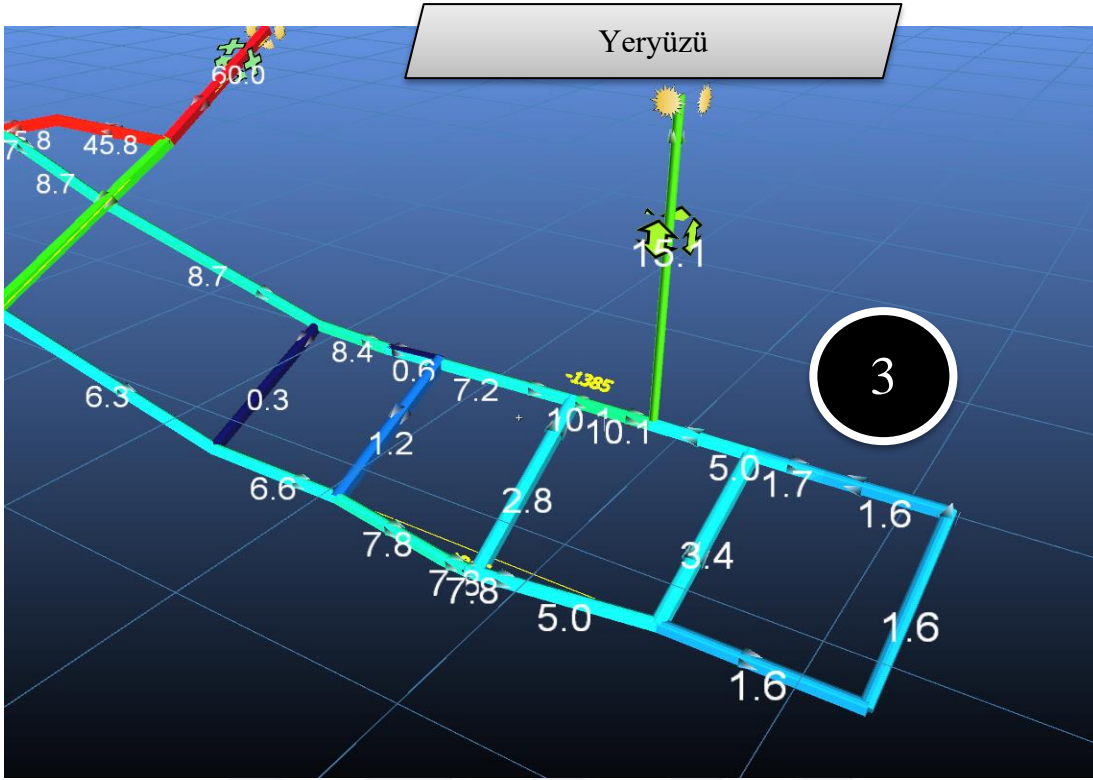
**Şekil 5.12:** -1385 Kotunda Yüze Dik Tasarlanan 1 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri( $\text{m}^3/\text{s}$ )

-1385 üst kotundan yüzeye dik bir kuyu tasarlanmıştır ve 3. başyukarının biraz ilerisinden yeryüzüne ulaşmaktadır. (Şekil 5.13) Yeryüzündeki atmosferik basınç için **101,735 Pa** değeri programa tanımlanmıştır. Sonuç olarak 2. başyukarıda  $1,04 m^3/s$  lik hava tedariki sağlanamamıştır. İlk olarak tünelin yeri değiştirilmeden kesit alanı değiştirilmiş ancak yine de istenilen sonuç elde edilememiştir. Ayrıca panodaki diğer hava dağılımları göz önünde bulundurularak 1 m lik kuyudan vazgeçilmiş 1,75 m lik bir kuyuda karar kılınmıştır.

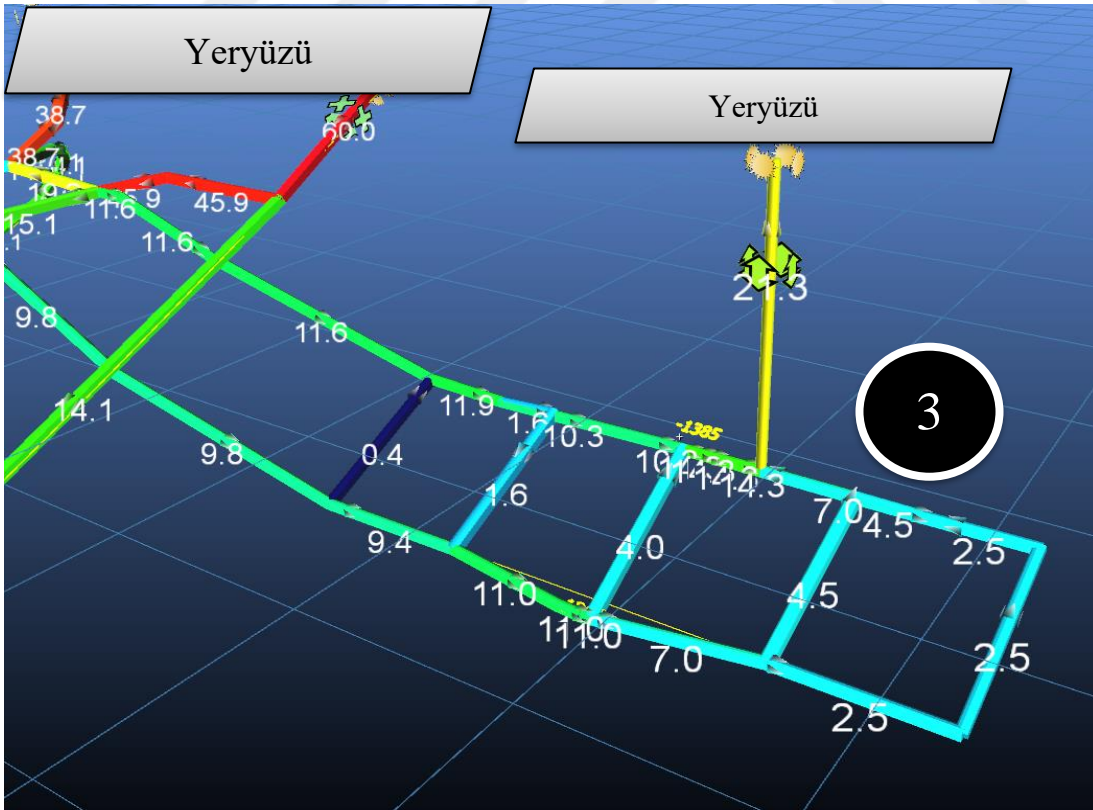


**Şekil 5.13:** -1385 Kotunda Yüzeye Dik Tasarlanan 1,75 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri ( $m^3/s$ )

Kuyunun yeri 2. ve 3. başyukarının ortası olarak değiştirilmiş ve dairesel kesit alanı 1,75 m sabit tutularak hava debileri incelenmiştir. (Şekil 5.14) Hava tedarikinde daha homojen bir görünüm elde edildi ise de 1. başyukarıda ihtiyacımız olan  $1,57 m^3/s$  lik asgari hava tedariki sağlanamamıştır. Şekil 5.14 de bu duruma yer verilmiştir. Son olarak dik tünelin kesit alanı 2.25 m olarak revize edilmiştir ve tüm başyukarılarda istenilen değerler elde edilmiş, ayrıca panonun diğer tüm alanlarında asgari hava tedariki sağlanmıştır.

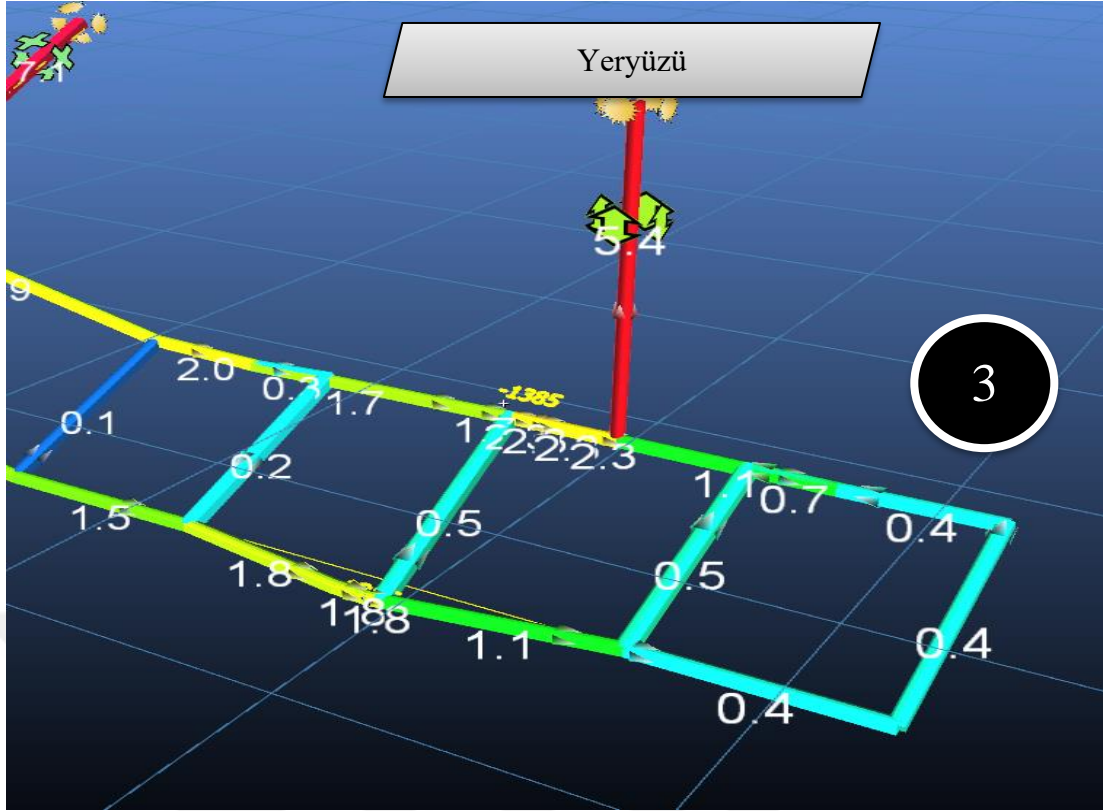


Şekil 5.14: -1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 1,75 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri ( $m^3/s$ )

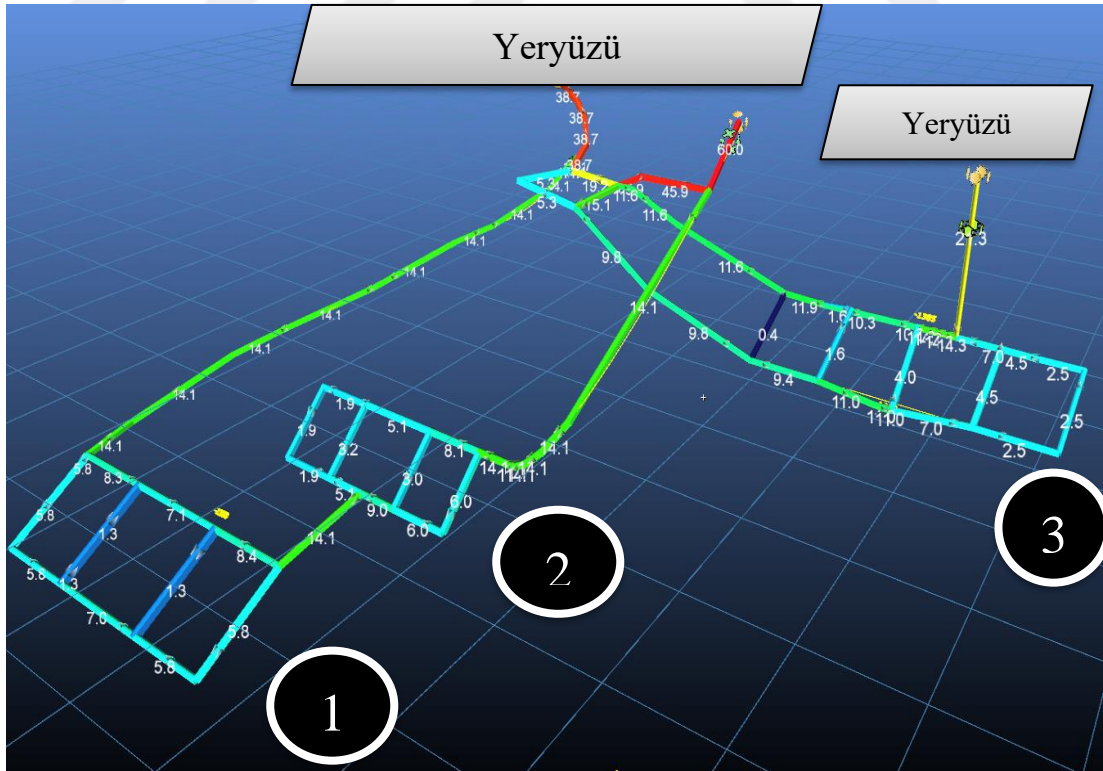


Şekil 5.15: -1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 2,25 m Çaplı Kuyu ile Hava Debileri ( $m^3/s$ )





Şekil 5.16: -1385 Kotunda Yüzeğe Dik Tasarlanan 2,25 m Çaplı Kuyu ile Hava Hızları (m/s)



Şekil 5.17: Dik Tünel Sonrası Ocak İçi Tüm Hava Debileri ( $m^3/s$ )

## 5.5. Hava Debisinin Metan Derişimine Göre Analizi

Maden işletmesinde 240 ton günlük üretim yapılmaktadır ve ton başına 8 m<sup>3</sup> lük metan intişarı vardır. Ocak havasında bulunan en tehlikeli gaz olarak metan kabul edilir ise tavan bölümlerindeki tabakalaşma durumuna göre hava hızı kontrolü yapılmalıdır. Hava hızının galeri cidarında düşmesi ve yoğunluğu havaya oranla düşük olan metan gazının kazı boşluğunun tavan kısmına doğru yükselmesi bu bölgelerde yüksek metan konsantrasyonuna sebep olmaktadır.

Metan gazı tabakalaşması genellikle hava hızının düşük olduğu uzun ayak hava dönüş yolunda, ayak çıkışından 150 m mesafeye kadar herhangi bir bölgede sıklıkla gözlenir. [29]

Literatüre baktığımızda Bakke ve Leach 1960 yılı başlarında, İngiltere’de yaptıkları araştırmalar sonucunda, metan tabakalaşmasını etkileyen başlıca faktörleri;

- Hava hızı (*m/s*) *V*
- Metan emisyonu oranı (*m<sup>3</sup>/s*) *Q*
- Hava yolunun genişliği (*m*). Dikdörtgen kesitli galerilerde galerinin eni, at nalı kesitli galerilerde ise taban genişliğinin 3/4 ü olarak alınır. *L* olarak belirlemiştir. Metan tabakalaşması ile etkin faktörler arasındaki ilişki;

$$TK = \frac{V}{1,64} \left(\frac{L}{Q}\right)^{1/3} \text{ dir.}$$

$$Q = \left(\frac{240 * 8}{86400}\right) = 0,022 \text{ m}^3/\text{s}$$

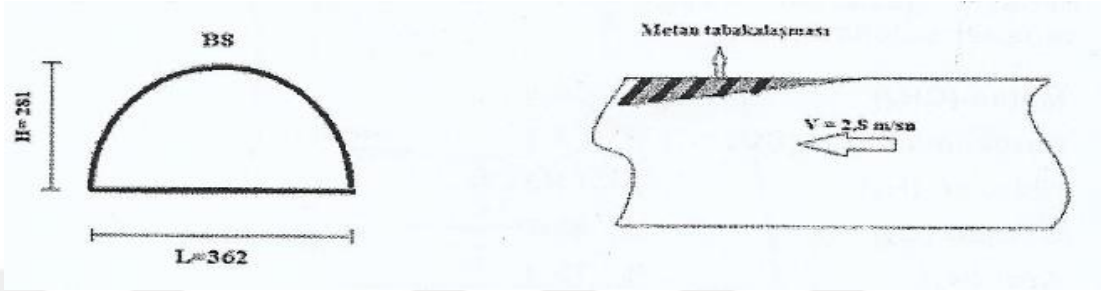
Dikdörtgen kesitli dönüş yolu galerisinde genişlik SketchUp programından 2,72 m olarak ölçülmüştür. Ayrıca VENTSIM programında hava dönüş hızı 1,9 *m/s* dir. O halde

$$TK = \frac{1,9}{1,64} \left(\frac{2,72}{0,022}\right)^{1/3} = 5,7715 \text{ olarak hesaplanır}$$



**Çizelge 5.5:** Eğimli Galerilerde Metan Tabakalaşmasını Önlemek İçin Önerilen Minimum Tabakalaşma Katsayıları [29]

Eğim ( $\alpha^{\circ}$ )	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
Yukarı doğru havalandırma	5	5,7	6,2	6,6	6,9	7,2	7,4	7,6	7,7	7,8
Aşağı doğru havalandırma		3,3	3,7	4,1	4,3	4,5	4,6	4,7	4,8	4,9



**Şekil 5.18:** Metan Tabakalaşması [29]

Yaklaşık  $30^{\circ}$  lik eğime sahip olan nefeslik dönüş yolunda metan tabakalaşmasını önlemek için önerilen minimum tabakalaşma katsayısı 7,4 olarak seçilir. Buna göre nefeslik dönüş yolunda hava hızının metan tabakalaşmasının önlenmesi açısından;

$$7,4 = \frac{V}{1,64} \left( \frac{2,72}{0,022} \right)^{1/3} \text{ ise } V = 2,44 \text{ m/s}$$

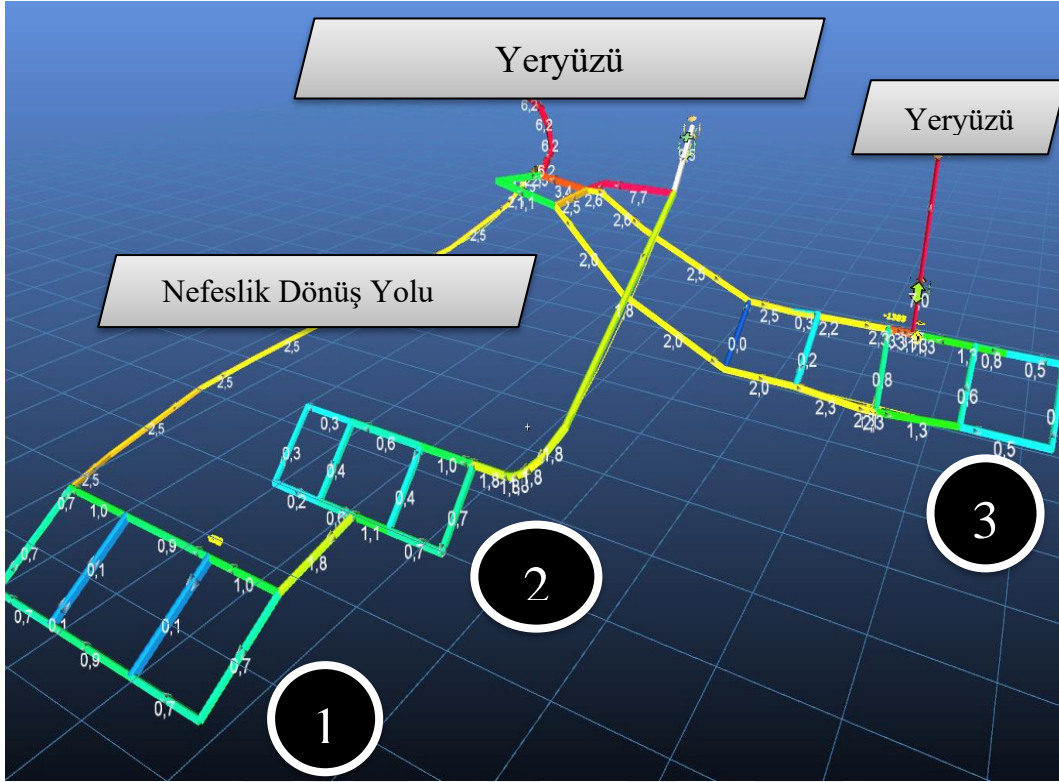
tavsiye edilir.

Mevcut durumda  $1,90 \text{ m/s}$  olan dönüş hızını  $2,44 \text{ m/s}$  e çıkarmak için ocağa verilen giriş havası miktarı VENTSIM programı tarafından yeniden hesaplanmıştır. Ana giriş bacasından  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  lik hava debisi sağlandığında maden işletmesinin metan tabakalaşması yönünden de gerekli kontrole tabi tutulduğu söylenebilir. Son durumda ocak içi hava hızları ve hava debileri Şekil 5.19 ve 5.20'de gösterilmiştir.

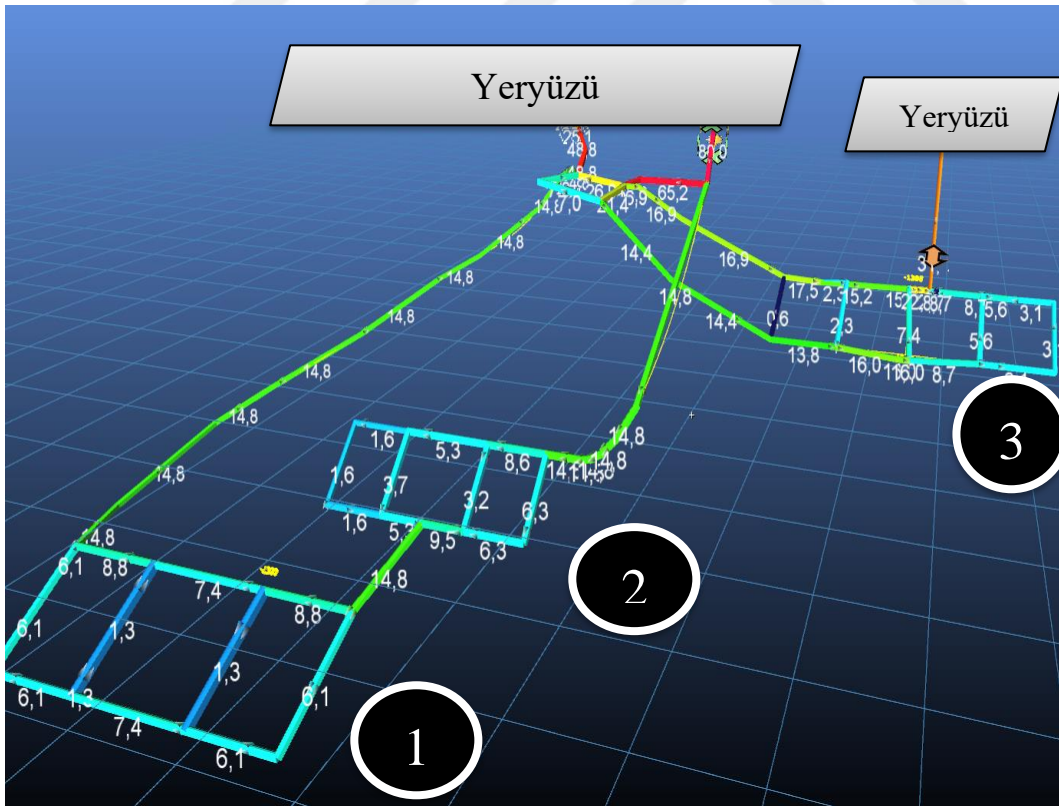
Madenin giriş ağzından  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  lik hava debisi sağlandığında dönüş yolundaki metan konsantrasyonu;

$$80 = \frac{100 * 8 * 240}{p * 24 * 60 * 60} \text{ ise}$$

$p = \%0,027$  ye ( $270 \text{ ppm}$ ) kadar düşürülmüş durumdadır.



Şekil 5.19: Metan Tabakalaşmasının Önlenmesi İçin Gerekli Hava Hızları (m/s)

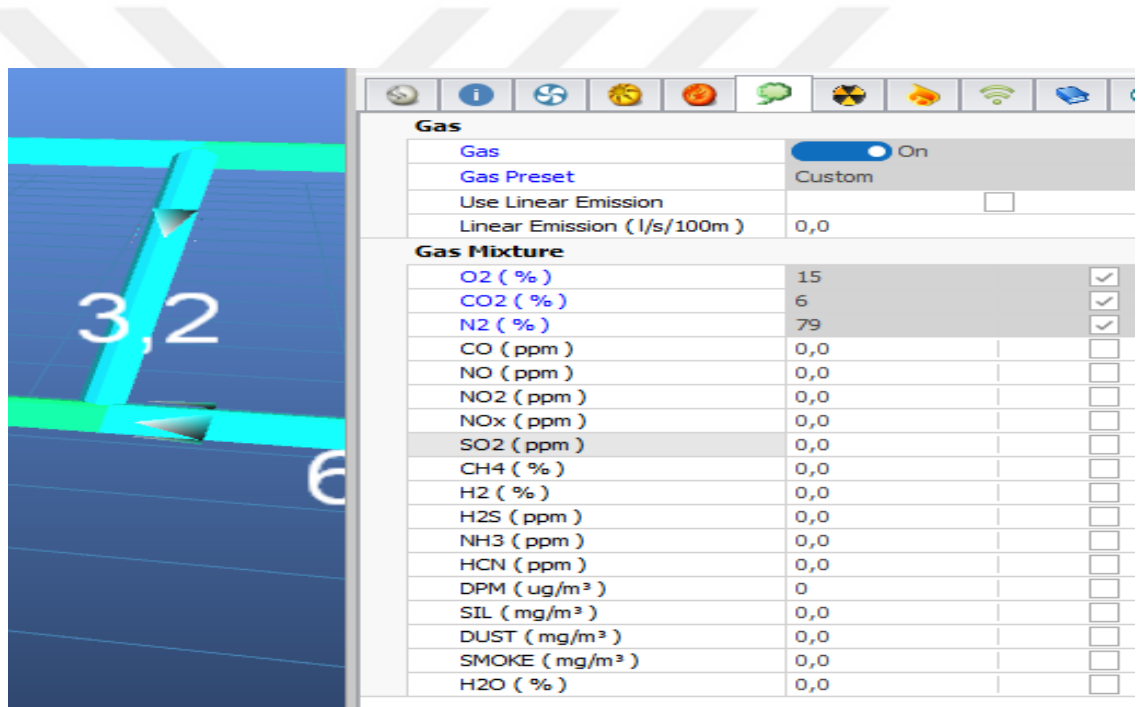


Şekil 5.20: Metan Tabakalaşması Kontrolü Sonrası  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  lik Hava Debisi ile Ocak İçi Hava Debileri ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

## 5.6. Karbondioksit Kritik Değerinde Havalandırma Analizi

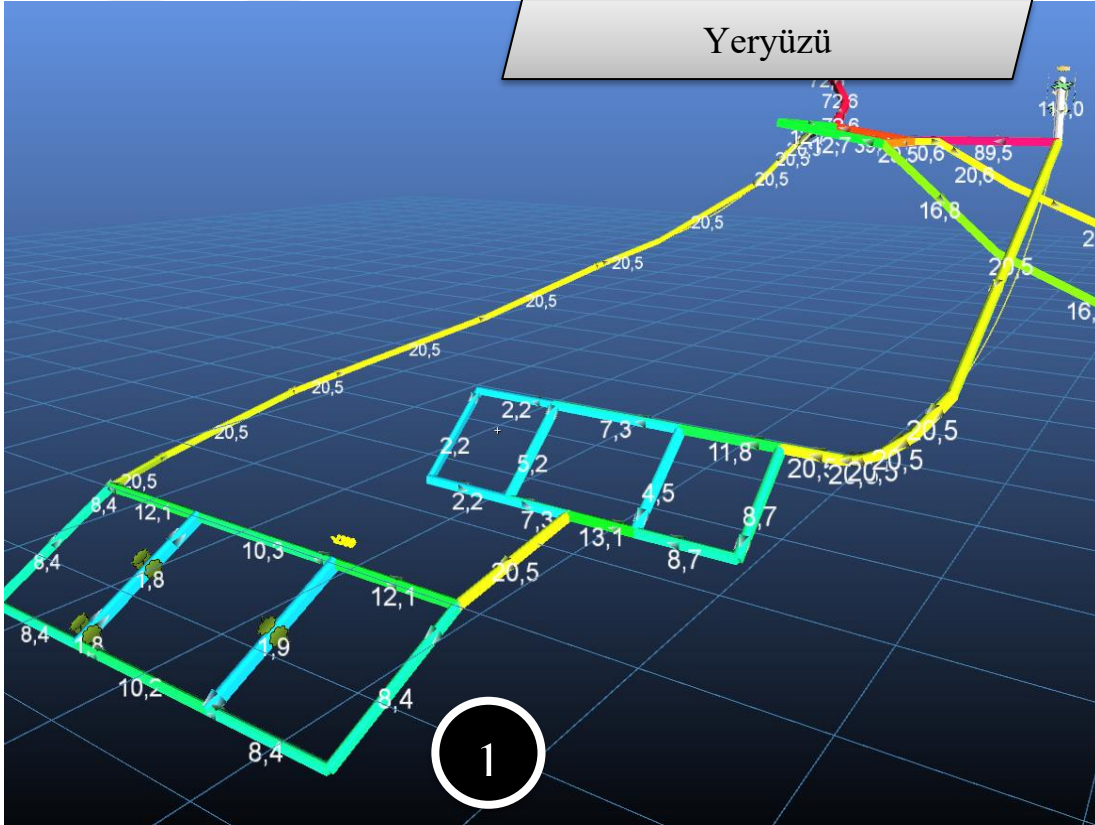
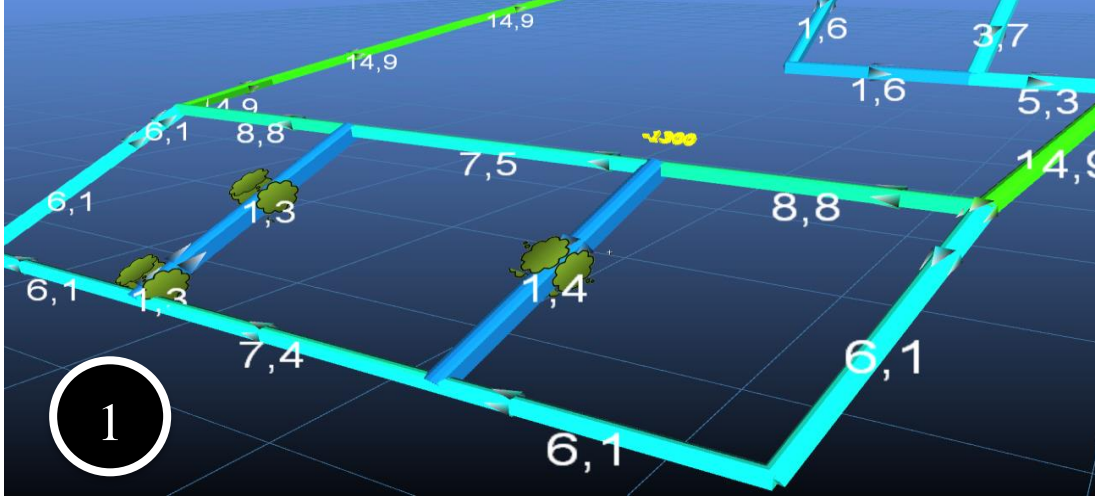
Karbondioksit artışı genel olarak hava içindeki oksijen azalması olarak tehlike arz etmektedir. Sık ve zorlu nefes almak suretiyle baş ağrısına neden olan %6 lık konsantrasyonu için VENTSIM programında gerekli hava tedariki irdelenmiştir.

Maden ocağında hava debisinin en az olduğu bölgeler -1260 ve -1300 kotları arasındaki iki başyukarıdır. Ayrıca bu kotlar daha önce kömür çıkartılan eski imalatlara en yakın alanlardır. Sıcaklık ve rutubete bağlı olarak kardondioksitderişiminin artması olasıdır. Oksijen oranındaki azalma direkt olarak hava ihtiyacının artışı olarak kendisini gösterir. Boğucu hava şekil 4.29 da gösterilmiştir.



Şekil 5.21: VENTSIM Programına Karbondioksit Artışının Tanımlanması (%)

Havadaki oksijen yüzdesinin %18'den aşağıya doğru düşmesi ile birlikte, solunum hızı ve nabız artmakta, bulantı, kulaklarda uğultu ve çınlama gibi belirtiler görülmektedir. Oksijen oranındaki %30 luk azalma aynı yüzde ile hava tedarikine eklendiğinde  $1,4 m^3/s$  lik hava debisi  $1,82 m^3/s$  olarak revize edilmelidir. Bu kotlara verilecek  $1,82 m^3/s$  lik temiz hava tedariki için ocak ağzından  $110 m^3/s$  lik hava tedariki gereklidir.



%6 lık karbondioksit derişimi sadece acil durumlar için geçerlidir. Maden işletmesinde yaşanabilecek herhangi bir olumsuz durumda hava tedarikinin ne kadar artırılması gerektiğini göstermek için irdeleme yapılmıştır. Hesaplara ocak ağzından 80 m<sup>3</sup>/s debide hava ile devam edilecektir.

## 5.7. Vantilatör ile Havalandırma Analizi ve Maliyet Hesapları

Maden işletmesinde yaklaşık 25 farklı uzunluk, kesit ve sürtünme katsayısına sahip tünel mevcuttur. Bunların bir kısmı kömür içinde, diğer kısımlar ise farklı özellikte kayaç ve yantaşlardadır, sürtünme değerleri oldukça değişkendir. Klasik havalandırma yöntemlerinde her bir tünelin  $\alpha$  sürtünme katsayısı,  $S$  kesit alanı ve  $P$  kesit çevresi ve  $L$  galeri uzunluğuna göre havalandırma direnci hesaplanarak seri ve paralel bağlı tünellerin toplam direnci bulunur ve bu maden ocağının toplam eşdeğer direncidir.

$$R = \alpha \frac{L \cdot P}{S^3}$$

Karmaşık ocak içi yapısında VENTSIM programı Kirchoff Kanunları'nı kullanarak her bir galeri için hava debilerini hesaplamaktadır. Ocağın toplam direnci ise ocakta meydana gelen basınç düşüşünü bulmak ve vantilatör karakteristik eğrisine göre çalışma koşullarını belirlemek için gereklidir.

VENTSIM programı ile yapılan hesaplarda metan tabakalaşmasını da önleyecek şekilde bulunan sonuçlar ocağa  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  hava tedarikinin zorunlu olduğunu göstermiştir. Maden işletmesinde kullanılacak vantilatörün  $750 \text{ dev/dk}$  hızla çalışırken  $100 \text{ mmSS}$  çalışma basıncında  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  hava vereceği tasarlanmıştır. (Çalışma basıncı - Hava debisi grafiğine göre vantilatör karakteristik eğrisinden)

Maden işletmesinde yılın 7 ayında (Nisan-Ekim dönemi) hava yoğunluğu yaklaşık  $1,284 \text{ m}^3/\text{kg}$  dır. Nispeten daha soğuk 5 ayda ise daha önce hesaplandığı şekilde  $1,298 \text{ m}^3/\text{kg}$  dir. Yani tez çalışmasının yapıldığı dönem de dahil 5 aylık periyotta maden işletmesine  $103,84 \text{ kg/s}$  lik temiz hava tedariki sağlanacaktır ve saniyede  $80 \text{ m}^3$  lük debiye eşittir. Diğer 7 ayda ise  $103,84 \text{ kg/s}$  hava tedariki  $80,88 \text{ m}^3$  lük debide sağlanacaktır. Bu verilere dayanarak %80 verimle çalışan bir vantilatörün gücü 7 aylık periyotta;

$$G_V = \frac{h_v * Q_t}{102 \cdot \eta} = \frac{100 * 80,88}{102 \cdot 0,8} = 99,12 \text{ kW}$$

5 aylık periyotta ise;

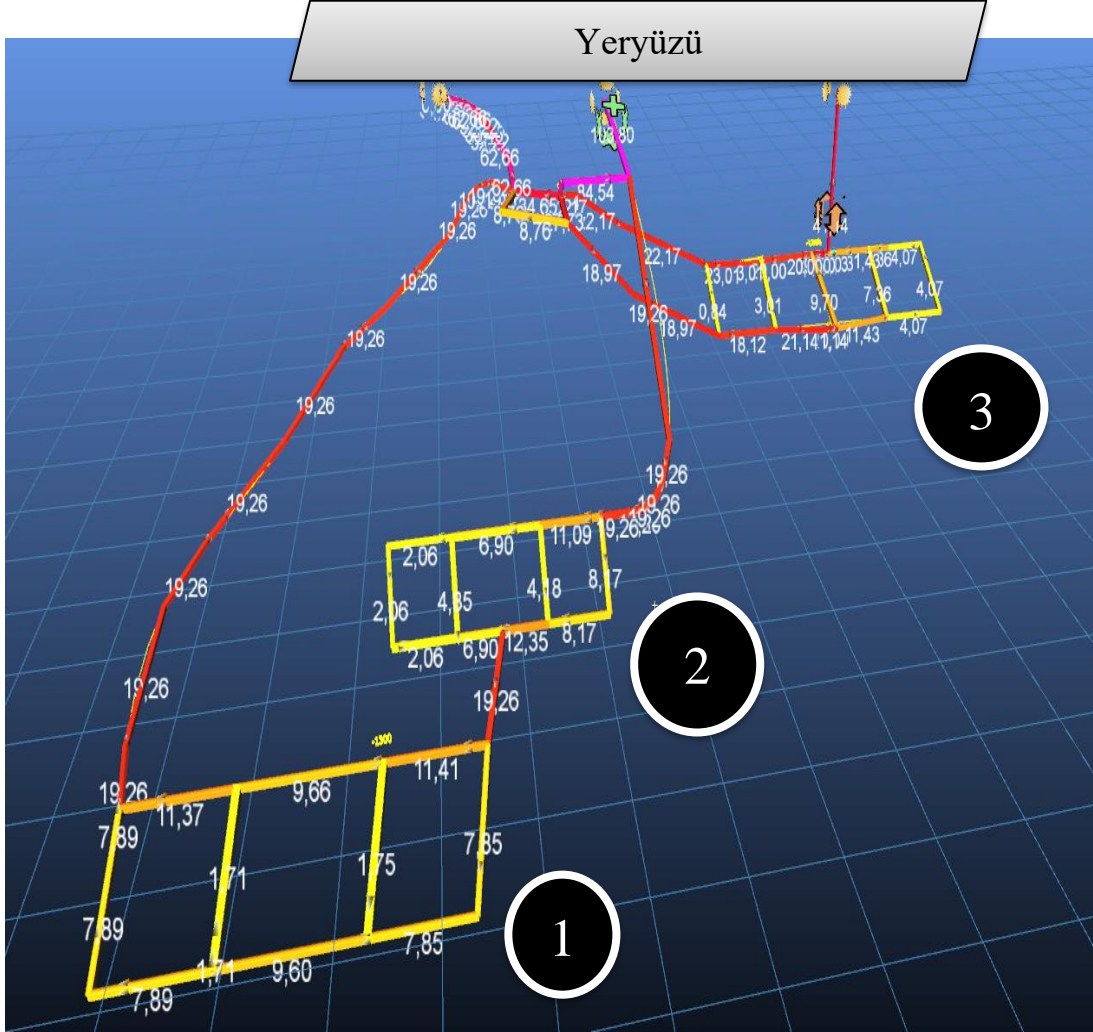


$$G_v = \frac{h_v * Q_t}{102. \eta} = \frac{100 * 80}{102.0,8} = 98 \text{ kW}$$

Yıl ortalaması 98,65 kW tır.

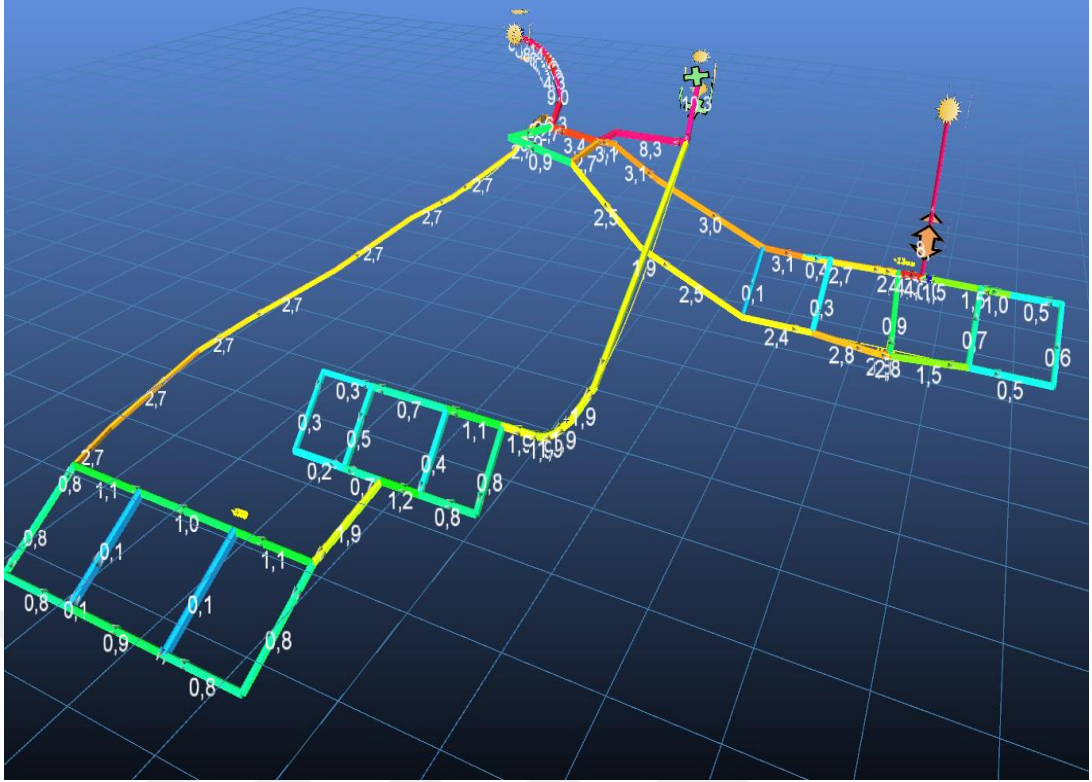
Yıllık enerji sarfıyatı ise

$$98,65 \text{ kW} * (24 * 360) \text{ h} * 0,30 \left( \frac{TL}{kWh} + KDV \right) = 255700,80 \text{ TL} + KDV \text{ dir.}$$



**Şekil 5.24:** Ana Giriş Bacasından 103,84 kg/s lik Hava Debisi ile Tüm Ocaкта Hava Debileri (kg/s)

Maden işletmesinin -1450 kotunda bulunan giriş ağzından 80 m<sup>3</sup>/s lik hava temini 98,65 kW güçle çalışacak olan santrifüj vantilatör vasıtası ile sağlanacaktır. Herhangi bir metan tabakalaşması ve hava yetersizliği ön görülmemektedir.



Şekil 5.25: Ana Giriş Bacasından  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  lik Hava Debisi ile Tüm Ocakta Hava Hızları ( $\text{m}/\text{s}$ )

Ocak Bölümleri	Yeraltı Kömür Madeni Ocak İç Hava Dağılımları						
	15,3 $\text{m}^3/\text{s}$	25 $\text{m}^3/\text{s}$	60 $\text{m}^3/\text{s}$	80 $\text{m}^3/\text{s}$ ve dik tünel sonrası	Sınır Değer	103,84 $\text{kg}/\text{s}$ de debi ve hız	
Ana Nakliyat Yolu	3,7 $\text{m}^3/\text{s}$	6,1 $\text{m}^3/\text{s}$	14,6 $\text{m}^3/\text{s}$	14,8 $\text{m}^3/\text{s}$	1,916 $\text{m}^3/\text{s}$	19,26 $\text{kg}/\text{s}$	1,9 $\text{m}/\text{s}$
1385 Desandre	0,9 $\text{m}^3/\text{s}$	1,48 $\text{m}^3/\text{s}$	3,4 $\text{m}^3/\text{s}$	16,9 $\text{m}^3/\text{s}$	0,09 $\text{m}^3/\text{s}$	22,17 $\text{kg}/\text{s}$	3 $\text{m}/\text{s}$
1385 Düz Galeri	0,1 $\text{m}^3/\text{s}$	0,2 $\text{m}^3/\text{s}$	0,4 $\text{m}^3/\text{s}$	14,4 $\text{m}^3/\text{s}$	0,09 $\text{m}^3/\text{s}$	18,7 $\text{kg}/\text{s}$	2,4 $\text{m}/\text{s}$
1365 Desandre	0,9 $\text{m}^3/\text{s}$	1,48 $\text{m}^3/\text{s}$	3,4 $\text{m}^3/\text{s}$	15,2 $\text{m}^3/\text{s}$	0,09 $\text{m}^3/\text{s}$	19,26 $\text{kg}/\text{s}$	2,5 $\text{m}/\text{s}$
1365 Düz Galeri	0,1 $\text{m}^3/\text{s}$	0,2 $\text{m}^3/\text{s}$	0,4 $\text{m}^3/\text{s}$	13,8 $\text{m}^3/\text{s}$	0,09 $\text{m}^3/\text{s}$	18,12 $\text{kg}/\text{s}$	2,4 $\text{m}/\text{s}$
1385 ve 1365 Arası Pano 1. Başyukarı	0,2 $\text{m}^3/\text{s}$	0,2 $\text{m}^3/\text{s}$	0,9 $\text{m}^3/\text{s}$	2,3 $\text{m}^3/\text{s}$	1,57 $\text{m}^3/\text{s}$	3,41 $\text{kg}/\text{s}$	0,3 $\text{m}/\text{s}$
1385 ve 1365 Arası Pano 2. Başyukarı	0,1 $\text{m}^3/\text{s}$	0,1 $\text{m}^3/\text{s}$	0,3 $\text{m}^3/\text{s}$	7,4 $\text{m}^3/\text{s}$	1,57 $\text{m}^3/\text{s}$	9,70 $\text{kg}/\text{s}$	0,9 $\text{m}/\text{s}$
1385 ve 1365 Arası Pano 3. Başyukarı	0 $\text{m}^3/\text{s}$	0,1 $\text{m}^3/\text{s}$	0,1 $\text{m}^3/\text{s}$	5,6 $\text{m}^3/\text{s}$	1,57 $\text{m}^3/\text{s}$	7,36 $\text{kg}/\text{s}$	0,7 $\text{m}/\text{s}$
1340 Düz Galeri	1,4 $\text{m}^3/\text{s}$	2,2 $\text{m}^3/\text{s}$	5,3 $\text{m}^3/\text{s}$	8,6 $\text{m}^3/\text{s}$	0,09 $\text{m}^3/\text{s}$	11,09 $\text{kg}/\text{s}$	1,1 $\text{m}/\text{s}$
1315 Düz Galeri	1,4 $\text{m}^3/\text{s}$	2,2 $\text{m}^3/\text{s}$	5,3 $\text{m}^3/\text{s}$	5,3 $\text{m}^3/\text{s}$	0,09 $\text{m}^3/\text{s}$	6,90 $\text{kg}/\text{s}$	0,8 $\text{m}/\text{s}$
1340 ve 1315 Arası Pano 1. Başyukarı	0,8 $\text{m}^3/\text{s}$	1,3 $\text{m}^3/\text{s}$	3,1 $\text{m}^3/\text{s}$	3,2 $\text{m}^3/\text{s}$	1,04 $\text{m}^3/\text{s}$	4,18 $\text{kg}/\text{s}$	0,4 $\text{m}/\text{s}$
1341 ve 1315 Arası Pano 2. Başyukarı	0,8 $\text{m}^3/\text{s}$	1,4 $\text{m}^3/\text{s}$	3,3 $\text{m}^3/\text{s}$	3,7 $\text{m}^3/\text{s}$	1,04 $\text{m}^3/\text{s}$	4,85 $\text{kg}/\text{s}$	0,5 $\text{m}/\text{s}$
1315 ve 1300 Arası Desandre	3,7 $\text{m}^3/\text{s}$	6,1 $\text{m}^3/\text{s}$	14,6 $\text{m}^3/\text{s}$	14,8 $\text{m}^3/\text{s}$	0,09 $\text{m}^3/\text{s}$	19,26 $\text{kg}/\text{s}$	1,9 $\text{m}/\text{s}$
1300 Düz Galeri	1,9 $\text{m}^3/\text{s}$	3,1 $\text{m}^3/\text{s}$	7,3 $\text{m}^3/\text{s}$	7,4 $\text{m}^3/\text{s}$	2,75 $\text{m}^3/\text{s}$	9,66 $\text{kg}/\text{s}$	1,1 $\text{m}/\text{s}$
1260 Düz Galeri	1,8 $\text{m}^3/\text{s}$	3,0 $\text{m}^3/\text{s}$	7,3 $\text{m}^3/\text{s}$	7,4 $\text{m}^3/\text{s}$	2,75 $\text{m}^3/\text{s}$	9,66 $\text{kg}/\text{s}$	1,1 $\text{m}/\text{s}$
1300 ve 1260 Arası Pano 1. Başyukarı	0,3 $\text{m}^3/\text{s}$	0,5 $\text{m}^3/\text{s}$	1,3 $\text{m}^3/\text{s}$	1,3 $\text{m}^3/\text{s}$	1,04 $\text{m}^3/\text{s}$	1,75 $\text{kg}/\text{s}$	0,14 $\text{m}/\text{s}$
1300 ve 1260 Arası Pano 2. Başyukarı	0,3 $\text{m}^3/\text{s}$	0,5 $\text{m}^3/\text{s}$	1,3 $\text{m}^3/\text{s}$	1,3 $\text{m}^3/\text{s}$	1,04 $\text{m}^3/\text{s}$	1,72 $\text{kg}/\text{s}$	0,14 $\text{m}/\text{s}$
Nefeslik Dönüş Yolu	3,7 $\text{m}^3/\text{s}$	6,1 $\text{m}^3/\text{s}$	14,6 $\text{m}^3/\text{s}$	14,8 $\text{m}^3/\text{s}$	1,916 $\text{m}^3/\text{s}$	19,26 $\text{kg}/\text{s}$	2,7 $\text{m}/\text{s}$

Şekil 5.26: Ocak İç Hava Dağılımı Tablo Görünümü





## 6. ÖRNEK HESAPLAMA

Örnek maden işletmesi Doğu Anadolu Bölgesi'nde -1450 ile -1260 kotlarında yer almaktadır, vardiyede 30 işçi vardır ve günlük 240 ton üretim planlanmıştır. Ahşap tahkimat kullanılacaktır. Her 1 m de çintili bağ bulunacaktır.

Maden ana giriş bacası : **-1450 m**

Maden ana nakliyat yolu kesit alanı : **8,6 m<sup>2</sup>**

Nefeslik kesit alanı : **6,05 m<sup>2</sup>**

### **3 nolu üretim panosunda;**

Kuzeybatı kömür damar kalınlığı : **2 m**

Kuzeybatı 3 nolu panoda galeri kesit alanı: **6,05 m<sup>2</sup>**

3 nolu pano başyukarı sayısı : **3**

3 nolu pano başyukarı kesit alanı : **8,6 m<sup>2</sup>**

Ayak genişliği ve pano uzunluğu : **40 m \* 160 m**

### **2 nolu üretim panosunda;**

Kuzeydoğu üst kömür damar kalınlığı : **2,2 m**

Kuzeydoğu 2 nolu panoda galeri kesit alanı : **8,6 m<sup>2</sup>**

2 nolu pano başyukarı sayısı : **2**

2 nolu pano başyukarılar kesit alanı : **8,6 m<sup>2</sup>**

Ayak genişliği ve pano uzunluğu : **50 m \* 150 m**

**1 nolu üretim panosunda;**

Kuzeydoğu alt kömür damar kalınlığı : **2,5 m**

Kuzeydoğu 1 nolu panoda galeri kesit alanı : **8,6 m<sup>2</sup>**

1 nolu pano başyukarı sayısı : **2**

1 nolu pano başyukarılar kesit alanı : **11,2 m<sup>2</sup>**

Ayak genişliği ve pano uzunluğu : **60 m \* 180 m**

Havalandırma planı çıkarılırken asgari hava debileri belirlenmek zorundadır. Tedarik edilen hava bu debilerin üzerinde olmalıdır.

Sınır değerler;

1 işçi için gerekli ortalama hava debisi : **0,064 m<sup>3</sup>/s**

3 nolu pano başyukarılarda : **1,57 m<sup>3</sup>/s**

2 nolu pano başyukarılarda : **1,04 m<sup>3</sup>/s**

1 nolu pano başyukarılarda : **1,04 m<sup>3</sup>/s**

Nefelik hava hızı : **2,44 m/s**

Merkezkaç vantilatör ile;

Ocağın giriş ağzından verilecek hava debisi : **80 m<sup>3</sup>/s**

Hava yoğunluğu : **1,298 kg/m<sup>3</sup>**

Ocağın giriş ağzından verilecek hava debisi : **103,84 kg/s dir**

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, kapalı maden işletmeleri için oldukça karmaşık olan yeraltı havalandırma çözümlenmeleri yapılmıştır. İşletmede birçok farklı uzunluk ve kesitte çalışma galerileri mevcuttur. Ayrıca tahkimat cinsi ve şekline bağlı olarak değişken sürtünme katsayıları bulunmaktadır.

Klasik hesaplama yöntemlerinde her bir tünel için sürtünme katsayısı, tünel kesit alanı ve çevresi ile tünel uzunluğu esas alınarak havalandırma dirençleri hesap edilmekte ve sonrasında maden için gerekli temiz hava miktarı bulunmaya çalışılmaktadır. Ancak bu hem zahmetli hem de güncellenmesi zor bir metoddur.

Son yıllarda hesaplamalar bilgisayar destekli yapılmaktadır. Bu tez çalışmasında da VENTSIM maden havalandırma programı kullanılmıştır.

Doğu Anadolu da bulunan örnek kömür cevheri ocağında kuzeydoğu ve kuzeybatıya uzanan 2-2,5 m arası damar kalınlığında vardiyada 30 işçi ile üretim yapılmaktadır. -1450 ile -1260 kotları arasında 3 adet panoda çalışma vardır.

Örnek heapta -1450 kottaki giriş ağzından 3 metrelik ağaç tahkimatlar kullanılarak 230 m ana nakliyat yolu sonunda kömür cevherine ulaşılmaktadır. Çeşitli uzunlukta ve ayak genişliğinde kömür üretimi yapılmaktadır. Farklı fiziksel koşullarda çalışan işçiler mevcuttur.

Temiz hava ihtiyacı öncelikle ASHRAE standartları da gözetilerek toplam işçi sayısına göre hesaplanmıştır. Daha sonra yayılan tehlikeli gaz miktarı ve toz derişimine göre tekrar hesaplamalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ocak derinliği ve kavşaklar göz önünde bulundurularak revize edilmiştir.

Ocak ağzından  $60 \text{ m}^3/\text{s}$  lik hava debisi ile ocağın alt kotlarında bulunan hazırlık galerileri ve başyukarılarda temiz hava tedariki sağlanmıştır. Daha fazla kavşak ve dik desandreden oluşan -1385 ile -1365 kotları arasında ise yüzeye dik 2,25 m çapta bir tünel tasarlanmıştır.

Metan tabakalaşmasını önlemek için nefeslik dönüş yolunda hava hızı 2,5 m/s e revize edilmiş ve ocak ağzından üfleme debisi düzeltilerek  $80 \text{ m}^3/\text{s}$  e çıkarılmıştır.  $103,84 \text{ kg}/\text{s}$  lik hava temininde tüm ocakta asgari temiz hava ihtiyacı sağlanmış hava hızları Maden Emniyet Tüzüğü'ne uygun değerlerde saptanmıştır.

Bilgisayar destekli havalandırma analizi tüm kapalı işletmeler için hem işçi sağlığı ve güvenliği hem de kaza riskleri açısından çok büyük öneme sahiptir. Bu sayede önceden tasarım ve hesaplarla maddi kayıpların da önüne geçilmiş olur. Yetersiz hava ve tehlikeli gaz oluşumuna bağlı ölümlerin tamamen önüne geçilmesi için etkin bir planlama çok gereklidir.



## KAYNAKÇA

- [1] **Hartman, H. L.** (1992). *SME Mining Engineering Handbook*, Second Edition, Society for Mining Metallurgy and Exploration Inc.
- [2] **Olgun, B., Gültek, S. ve Bulgurcu, H.** (2015). Yeraltı Mden Ocaklarında Havalandırma Kriterleri, *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, İzmir, 369.
- [3] **Polat, N. K. ve Didari, V.** (2002). TTK Kilimli İşletmesinin Kazemaru Programı Kullanılarak Havalandırma Analizi. *Türkiye 13 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, Zonguldak, 13, 378-380.
- [4] **Ökten, G. ve Fişne, A.** (2011). *Madenlerde Havalandırma Ders Notları*.
- [5] **Şensöğüt, C.** (1994). Klasik ve Kontrollü Kısa Devre Havalandırma ile Uzun Hazırlık Galerilerinde Toz Kontrolü. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, 33(1), 17-22.
- [6] **Url-1** <[www.maden.org.tr/resimler/ekler/cdace91c487558e\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/cdace91c487558e_ek.pdf)>, erişim tarihi 01.12.2019
- [7] **Durşen M. ve Yasun B.** (2012). *Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar Ve Metan Drenajı*. İSGÜM, Ankara.
- [8] **Saltoğlu S.** (1975). *Madenlerde Havalandırma ve Emniyet İşleri*. İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [9] **Güyağüler, P. D. T., Karakaş A., Güngör A.,** (2005). *Occupational health and safety in mining industry*. Ankara
- [10] **Url-2** <[cat.cu.edu.tr/Egitim/KARBON%20MONOKS%20C4%B0T%20ZEH%20%20BORLENMES%20\\_k%20C4%B0TAP\\_Levent.pdf](http://cat.cu.edu.tr/Egitim/KARBON%20MONOKS%20C4%B0T%20ZEH%20%20BORLENMES%20_k%20C4%B0TAP_Levent.pdf)>, erişim tarihi 01.12.2019
- [11] **Ayvazoğlu E.** (1986) *Madenlerde Havalandırma ve Emniyet*. İ.T.Ü. Vakfı Kitap Yayınları, No:1, İstanbul.
- [12] **Gönen, A. ve Mallı, T.** (2018). Linyit Kömürü İşletmelerinde Havalandırma Planlamasına Alternatif Çözümler. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(60), 765-775.
- [13] **Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı** (2013) *Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve İş Güvenliği Rehberi*. Yayın No:43
- [14] **Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik (2015)**. T.C. Resmî Gazete, 29291, 10.03.2015.
- [15] **Andıç, A., Kılıç, A.** (2015). Yeraltı Maden Ocaklarında İç Hava Kalitesi. *12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*. İzmir.

- [16] **Fans and Systems Workshop-Howden** (2014). *10. International Mine Ventilation Congress*, IMVC, Sun City.
- [17] **BBE Consultancy-Mining Ventilation Planning Workshop** (2014) *10. International Mine Ventilation Congress*, Imvc, Sun City.
- [18] **Conti Ronald S., Linda L. Chasko, Charles P. Lazzara ve Gary B.** (August 2000) *An Underground Coal Mine Fire Preparebness and Response Checklist: The Instrument*. U.S. Department Of Health and Human Services, National Institute for Occupational Safety and Health, Research Laboratory Pittsburgh, PA, .
- [19] **Gönen A. ve Mallı T.** (2018) Linyit Kömürü İşletmelerinde Havalandırma Planlamasına Alternatif Çözümler. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 20(60), 765-775.
- [20] **Tarım ve Orman Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü.**
- [21] **Sketch Up Drawing.**
- [22] **ANSI/ASHRAE Standard 55** (2015). *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- [23] **ASHRAE** (1999). HVAC Applications Handbook (Chapter 28). *Ventilation of the Industrial Environment*.
- [24] **TSE EN 14983** (Ocak 2008). *Yeraltı Madenlerinde Patlama Önleme ve Korunma*.
- [25] **MSHA Federal Register Document Rules and Regulations**, Mine Safety and Health Administration, MSHA , United State Department of Labor.
- [26] **Conti Ronald S., Chasko, L.L., William J.W. ve Lazzara C.P.** (December 2005). *Fire Response Preparedness for Underground Mines*. U.S. Department Of Health and Human Services, Research Laboratory Pittsburgh, PA.
- [27] **Belle, B., Nundlall A.R., Biffi M., Thomson C.;** (2014). Mine Ventilation Design Velocity Standards for Underground Mines. *10. International Mine Ventilation Congress*, Imvc, Sun City.
- [28] **ANSI/ASHRAE Standard 62** (1989). *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*.
- [29] **Ökten, G., Fişne, A.** (1975). *Madenlerde Havalandırma ve Emniyet Çözümlü Problemler*, İTÜ Yayınları, İstanbul.
- [30] **Ventsim Design.**
- [31] **Vutukiri V.S. ve Lama R.D.** (1986). *Environmental Engineering In Mines*. Cambridge University Press.

## **EKLER**

**EK A :** Metan Gazı İçin Sınır Değerler

**EK B :** Havalandırma Direnci Sürtünme ve Emniyet Katsayıları

**EK C :** Meteoroloji İstatistik Verileri

**EK D :** Vantilatör Karakter Eğrisi



## Çizelge A.1: Tutuşma Sınır Değerleri [23]

102

Tablo B.5 Çok kullanılan bazı yakacıklara ait ısı değerleri [17]

Madde	Sembol	Üst ısı değeri <sup>a</sup> (MJ/kg)	Alt ısı değeri <sup>a</sup> (MJ/kg)	Yoğunluk <sup>b</sup> (kg/m <sup>3</sup> )
Karbon (CO şeklinde yanma)	C	9,188	9,11	-
Karbon (CO <sub>2</sub> şeklinde yanma)	C	32,780	32,780	-
Karbon monoksit	CO	10,111	10,111	1,187
Hidrojen	H <sub>2</sub>	142,107	118,680	0,085
Metan	CH <sub>4</sub>	55,533	49,997	0,679
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	51,923	47,492	1,28
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	50,402	46,373	1,92
Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	49,593	45,771	2,53
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	50,325	47,160	-
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	48,958	45,792	1,78
Asetilen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	50,028	48,309	1,120
Kükürt (SO <sub>2</sub> şeklinde yanma)	S	9,257	9,257	-
Kükürt (SO <sub>3</sub> şeklinde yanma)	S	13,816	13,816	-
Hidrojen sülfür	H <sub>2</sub> S	16,508	13,205	1,456

Gas Engineering Handbook (1965)'den alınmıştır.

<sup>a</sup> Bütün değerler, 16 °C sıcaklık, 101,4 kPa basınç ve kuru baz göre düzeltilmiştir. 16 °C sıcaklıkta, su buharı ile doymuş gazlar için su buharının hacimsel etkisini gözönüne almak için ısı değeri % 1,74 azaltılmalıdır.

<sup>b</sup> 0 °C sıcaklık ve 101,3 kPa basınç değerindedir.

Tablo B.6 Bazı yakacıklar için hava-yakacak karışımlarına ait tutuşma sınırları ve tutuşma sıcaklıkları [17]

Madde	Sembol	Alt tutuşma sınırı (%)	Üst tutuşma sınırı (%)	Tutuşma sıcaklığı (°C)	Kaynaklar
Karbon (aktif kok)	C	-	-	660	Hartman (1958)
Karbon monoksit	CO	12,5	74	609	Scott ve ark. (1948)
Hidrojen	H <sub>2</sub>	4,0	75,0	520	Zabetakis (1956)
Metan	CH <sub>4</sub>	5,0	15,0	703	Gas Engineers Handbook (1963)
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	3,0	12,5	520 ila 630	Trinks (1947)
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	2,1	10,1	466	NFPA (1962)
Bütan, n	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	1,86	8,41	405	NFPA (1962)
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,75	28,6	490	Scott ve ark. (1948)
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2,00	11,1	458	Scott ve ark. (1948)
Asetilen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	2,50	81	406 ila 440	Trinks (1947)
Kükürt	S	-	-	190	Hartman (1958)
Hidrojen sülfür	H <sub>2</sub> S	4,3	45,50	492	Scott ve ark. (1948)

Tutuşma sınırları, Coward ve Jones (1952)'den alınmıştır.

Bütün değerler 16 °C sıcaklığa, 101,4 kPa basınç ve kuru baz göre düzeltilmiştir.



**EK B****Çizelge B.1: Sürtünme Katsayısı  $\alpha$  değerleri [8]**

TABLO : 6  
SÜRTÜNME KATSAYISI DEĞERLERİ

Yatay Yollar	Düzdün	Pürüzlü	Çıkıntılı
A — Tavanı kemerli düz yollar :			
Taşta lâğım - Tahkimatsız	0,047	0,075	0,105
Betonlaşmış lâğım	0,021	0,025	0,031
TH ve MOLL tahkimath	0,060	0,085	0,115
B — Trapez kesitli düz yollar :			
Taşta lâğım - Tahkimatsız	0,052	0,080	0,105
Betonlaşmış lâğım	0,025	0,030	0,035
Kömürde açılmış yollar-Tahki- matsız	0,038	0,070	0,105
Kömürde açılmış yollar - Bağ tahkimath	0,060	0,100	0,135
C — Kuyular (Daire kesitli) :			
Teçhizatsız çıplak kuyu-kârgir	0,020	0,050	0,080
Teçhizatsız çıplak kuyu-Tahki- matsız	0,100	0,150	0,190
Teçhizath, Kafessiz-kârgir	0,043	0,115	0,130
Teçhizath bir kafesli-kârgir	0,130	0,155	0,280
Teçhizath iki kafesli-kârgir	0,160	0,230	0,345
D — Uzun Ayaklar :			
Kazı ve yükleme mekanize	0,390	— 0,425	
Kazı ve yükleme el ile	0,230	— 0,295	

## Çizelge B.2: Hava Emniyet Katsayısı [4]

### 11.3. Hava Miktarının Emniyet Katsayısı

Kömür ocaklarındaki kaçaklar ile yeni açılacak ayaklardaki gaz yayılımı ve üretim miktarındaki belirsizliklerin vb. hesaba katılabilmesi için bir "Emniyet Faktörü" kullanılır.

1. Kategoride	2,1 – 10,7	
2. Kategoride	1,3 – 2,3	
3. Kategoride	1,07 – 1,5	alınır.

Metal ocaklarında,

Eski imalat yoksa	1,4	
Bir tarafta eski varsa	1,5	
İki tarafta eski varsa	1,6	alınır.

Diğer yeraltı boşluklarının (garaj, P.M deposu, su havuzu vb) hava ihtiyaçları genellikle ayrı olarak hesaplanmaz, emniyet faktörünün kapsamı içindedir.

## EK C

**Çizelge C.1:** Hava İçeriği [20]

Gaz adı	Kimyasal formül	Yüzde değeri
Nitrojen (Nitrogen)	N <sub>2</sub>	78.08 %
Oksijen (Oxygen)	O <sub>2</sub>	20.95 %
Su (Water) (*)	H <sub>2</sub> O	0 to 4 %
Argon(Aron)	Ar	0.93 %
Karbondioksit (Carbon Dioxide) (*)	CO <sub>2</sub>	0.0350 %
Neon (Neon)	Ne	0.0018 %
Helyum (Helium)	He	0.0005 %
Metan (Methane) (*)	CH <sub>4</sub>	0.00017 %
Hidrojen(Hydrogen)	H <sub>2</sub>	0.00005 %
Diazotmonoksit (Nitrous Oxide) (*)	N <sub>2</sub> O	0.00003 %
Ozon (Ozone) (*)	O <sub>3</sub>	0.000004 %

## EK D

Çizelge D.1: Vantilatör Karakter Eğrisi [31]

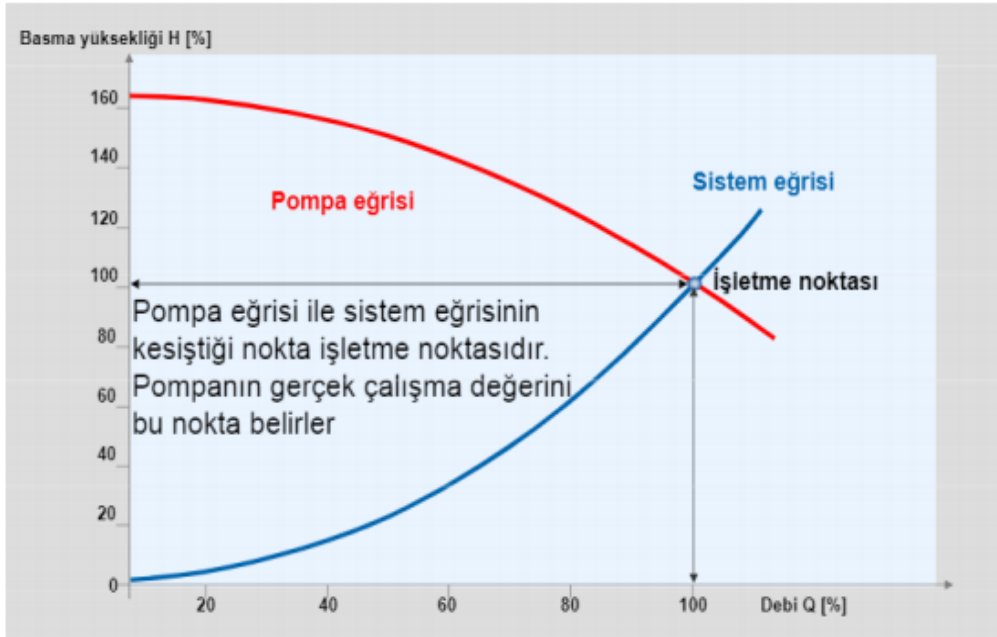
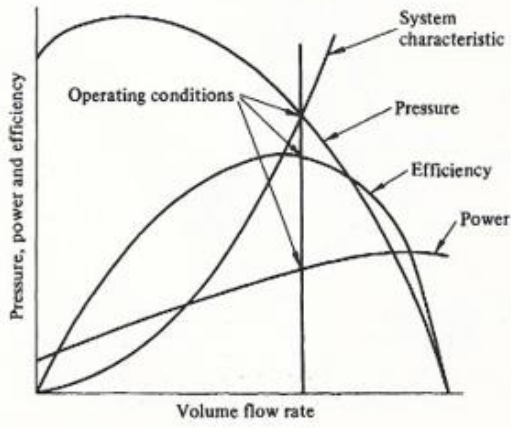
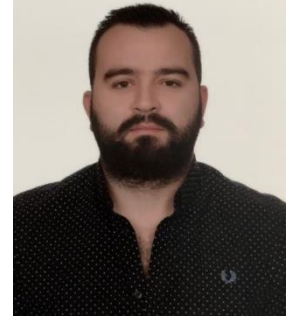


Fig. 2.27. Fan and system characteristics.



## ÖZGEÇMİŞ



**Ad Soyad** : ALİ DARTICI  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Ermenek / 18.03.1989  
**E-posta** : [alitartici@gmail.com](mailto:alitartici@gmail.com)

### ÖĞRENİM DURUMU:

**Lisans** : 2012, Yıldız Teknik Üniversitesi, Makina Fakültesi,  
Makine Mühendisliği

### MESLEKİ DENEYİM :

- 2012-2013 Ankur Mühendislik Onaltı Dokuz İstanbul İnşaat Projesi Mekanik Taahhüt İşleri
- 2013-2018 Tarkom Madencilik Ermenek Güzve Kömür İşletmesi Üretim Mühendisi
- 2018-2019 Tarkom Madencilik Erzurum Maden İşletmesi Üretim Mühendisi