



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.



YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE KENDİLİĞİNDEN YANABİLİRLİK ETÜDÜ İLE İSG UYGULAMALARININ İZLENEBİLİRLİĞİNİN ARTIRILMASI PROJESİ

# KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMA OLGUSU

2023  
ZONGULDAK/ANKARA



İNSAN KAYNAKLARININ  
GELİŞTİRİLMESİ  
PROGRAM OTORİTESİ



T.C. ÇALIŞMA VE  
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI  
İŞ SAĞLIğI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ



T.C. ÇALIŞMA VE  
SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIğI



CDT  
COALDRESSER EXTRACTION AND MINING TECHNOLOGY



**EDİTÖR**  
Halim DEMİRKAN

***“Kömür madeni kazalarında kaybettiğimiz şehitlerin anısına adanmıştır”***

*“Bu yayın Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti'nin mali katkısıyla hazırlanmıştır. Bu yayının içeriğinden yalnızca Maden Sanayii İşverenleri Sendikası (MASİS) sorumludur ve bu içerik hiçbir şekilde Avrupa Birliği veya Türkiye Cumhuriyeti'nin görüş ve tutumunu yansıtmamaktadır.”*

## ÖNSÖZ

Türkiye ile Avrupa Birliği arasındaki mali iş birliği kapsamında geliştirilen Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı "IPA II" altında, İstihdam, Eğitim ve Sosyal Politikalar Sektörel Operasyonel Programı Uygulaması kapsamında, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı AB ve Mali Yardımlar Dairesi Başkanlığı'nın, İnsan Kaynaklarının Geliştirilmesinden Sorumlu Program Otoritesi ve Sözleşme Makamı sıfatıyla yürüttüğü ve faydalanıcısı olduğu, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü'nün operasyon faydalanıcısı olarak yer aldığı, Kurumsal Kapasite Geliştirilmesi için Teknik Yardım Projesi olarak gerçekleştirilen İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi (IOHS) Hibe Programı'nda desteklenen ve Maden Sanayii İşverenleri Sendikası (MASİS) tarafından yürütülen, "Yeraltı Kömür Madenlerinde Kendiliğinden Yanabilirlik Etüdü İle İSG Uygulamalarının İzlenebilirliğinin Artırılması" Projesi kapsamında yayımlanmış bulunan bu eseri, sektör profesyonelleri ve karar alıcılarının hizmetine sunmaktan büyük memnuniyet duymaktayız.

Projemiz boyunca her konuda desteklerini bizlerden esirgemeyen Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nün birbirinden değerli akademisyenlerinin sunumlarını ve gerçekleştirilen analizlerden elde edilen verilere ilişkin yorumları içeren bu kıymetli yayının vücuda gelmesinde büyük emekleri bulunan başta T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü ve AB ve Mali Yardımlar Dairesi Başkanlığı'nın yetkilileri olmak üzere tüm paydaş kuruluşlarımıza, kıymetli proje ekibimize, katılımlarıyla projemizi zenginleştiren MASİS üyesi kuruluşlara ve bilgi birikimlerini bu esere yansıtan değerli hocalarımıza teşekkürü bir borç biliyoruz.

Türkiye'deki yer altı kömür madeni işletmeciliğinde kendiliğinden yanabilirlik risklerine ilişkin farkındalığın yükselmesine ve bu alandaki iş sağlığı ve güvenliği bilincinin artırılmasına katkı sunmayı amaçlayan projemizden elde edilen somut çıktıların planlanan hedeflere ulaşma yolunda dikkate değer değişikliklere vesile olmasını temenni ediyor, tüm madencilik sektörümüze iş sağlığı ve güvenliği kurallarına tamamen uyumlu, sağlık ve esenliklerle dolu çalışmalar diliyoruz.

Saygılarımızla.

***Maden Sanayii İşverenleri Sendikası***

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>III</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	<b>VII</b>
<b>GÖRSELLER DİZİNİ</b> .....	<b>VIII</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>IX</b>
<b>BÖLÜM 1 “YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE KENDİLİĞİNDEN YANABİLİRLİK ETÜDÜ İLE İSG UYGULAMALARININ İZLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” PROJESİ</b> .....	<b>1</b>
1.1.Özet.....	1
1.2.Giriş.....	1
1.3.Projenin Hedefleri.....	2
1.3.1. Ana Hedef.....	2
1.3.2.Genel Hedefler.....	2
1.3.3.Özel Hedefler.....	3
1.3.4. Ana Aktiviteler.....	3
1.3.5.Faaliyetler / Çıktılar.....	3
1.3.6.Projenin Çağrının Amacı ile İlişkisi.....	4
1.3.6.1. Projenin Çağrının Genel Amacı İle İlişkisi.....	4
1.3.6.2. Projenin Çağrının Özel Amacı İle İlişkisi.....	4
<b>1.4.SONUÇ</b> .....	<b>4</b>
<b>BÖLÜM 2 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMASI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Giriş.....	5
2.2 Kendiliğinden Yanma Olayına Etki Eden Faktörler.....	6
2.2.1 İç Faktörler.....	7
2.2.1.1. Kömürün Rankı.....	7
2.2.1.2. Petrografik Bileşim.....	7
2.2.1.3. Nem İçeriği.....	7
2.2.1.4. Mineral Madde ve Kül İçeriği.....	8
2.2.1.5. Tane Boyutu ve Yüzey Alanı.....	8
2.2.1.6. Pirit İçeriği.....	8
2.2.2. Dış Faktörler.....	9
2.2.2.1. Jeolojik Özellikler.....	9
2.2.2.2. Madencilik Uygulamaları.....	9
<b>BÖLÜM 3 KENDİLİĞİNDEN YANMA OLAYLARININ ÖNLENMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR</b> .....	<b>12</b>
3.1. Giriş.....	12
3.2. Kendiliğinden Yanma İle Mücadele Yöntemleri.....	12
3.3. Planlama Sırasında Yapılabilecek Çalışmalar.....	13
3.4. Üretim Sırasında Alınan Önlemler.....	14
3.5. Kendiliğinden Yanmanın Tespit Edilmesinden Sonra Uygulanacak Yöntemler.....	17

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
<b>BÖLÜM 4 KENDİLİĞİNDEN YANMANIN ERKEN TESPİTİ</b> .....	<b>21</b>
4.1. Giriş.....	21
4.2. Koku.....	21
4.3. Sıcaklık Artışı.....	22
4.4. Yanma Gazları.....	22
4.4.1. Hidrojen.....	23
4.4.2. Etilen Ve Propilen.....	23
4.4.3. Karbondioksit.....	23
4.4.4. Karbonmonoksit.....	23
4.5. Erken Uyarıda Merkezi İzleme Sistemi.....	24
<b>BÖLÜM 5 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMA OLAYININ MEVZUATTAKİ YERİ</b> .....	<b>25</b>
5.1. Giriş.....	25
5.2. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönetmeliğinde Kendiliğinden Yanma.....	26
<b>BÖLÜM 6 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIĞININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN LABORATUVAR YÖNTEMLERİ VE RİSK İNDEKSLERİ</b> .....	<b>29</b>
6.1. Giriş.....	29
6.2. Yöntemlerin Sınıflandırılması.....	30
6.2.1. Doğrudan Gözlemler.....	30
6.2.2. Kimyasal Yöntemler.....	30
6.2.3. Statik İzotermal Yöntem.....	31
6.2.4. Dinamik Yöntemler.....	32
6.2.5. Adyabatik Oksidasyon Yöntemi.....	33
6.2.6. Tutuşabilirlik Yöntemi.....	34
6.2.7. DTA (Differential Thermal Analysis) Yöntemi.....	37
6.2.8. Olpinski Yöntemi.....	38
6.3. Deneysel Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	38
6.4. Risk İndeksleri.....	41
6.4.1. Geçmiş Deneyimlere Dayanan Pratik Yöntemler.....	41
6.4.2. Kömürlerin Doğal Yatkınlığını Değerlendiren Yöntemler.....	42
6.4.2.1. FCC İndeksi.....	43
6.4.2.2. MR İndeksi.....	43
6.4.2.3. WITS-EHAC İndeksi.....	45
6.5. Kritik Çevresel Faktörleri Ve Laboratuvar Deneylerinin Sonuçlarını Birlikte Değerlendiren Yöntemler.....	46
6.5.1. Polonya Yöntemi (Olpinski İndeksi).....	46
6.5.2. FCC Yöntemi.....	47
6.5.3. Bystron ve Urbanski Yöntemi.....	48
6.5.4. Banerjee tarafından Önerilmiş Kuramsal Dizayn.....	50

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

6.5.5. Alman Yöntemi.....	52
6.5.6. Yöntemlerin Karşılaştırılması.....	54
<b>BÖLÜM 7 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIĞININ BELİRLENMESİNDE ZBEÜ MADEN MÜHENDİSLİĞİ OLARAK KULLANILAN LABORATUVAR YÖNTEMİ.....</b>	<b>55</b>
7.1. Giriş.....	55
7.2. Deney Seti.....	55
<b>BÖLÜM 8 POLONYA KÖMÜR MADENLERİ, SEKTÖR KURULUŞLARI VE MADEN ARAMA KURTARMA BİRİMİ İLE İLGİLİ TEKNİK GEZİ RAPORU.....</b>	<b>59</b>
8.1. Giriş.....	59
8.2. Teknik Çalışma Ziyareti Ardından Polonya Taş Kömürü Madenlerindeki Yeraltı İşletmelerinin ve Yangın Risklerinin Değerlendirmesi.....	62
<b>BÖLÜM 9 SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....</b>	<b>63</b>
9.1. Giriş.....	63
9.2. Yeraltı Kömür Madenciliğinde Kendiliğinden Yanmaya Karşı Alınabilecek Önlemler.....	64
9.3. Proje Bilgi Paylaşım Toplantısı Çıktıları.....	65
9.4. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Proje Kapsamında Yapılan Bilimsel Çalışmalar ve İncelemeler Neticesinde Oluşturulan Mevzuat Önerisi.....	70
9.4.1. Coğrafi Bilgi Sistemi.....	70
9.4.2. Mevzuat Önerisi.....	71
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>72</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 3.1. Ayak arkasında kömürün kendiliğinden yanması.....	16
Şekil 3.2. Ayak arkasına inert gaz kullanımı.....	18
Şekil 3.3. Taban yolunun sıvanması.....	20
Şekil 4.1. Orta uçuculu bitümlü kömürde açığa çıkan gazlar ile kokunun sıcaklığa bağlı değişimi.....	21
Şekil 4.2 Yanma gazlarının sıcaklıkla değişimi.....	23
Şekil 6.1. Zaman-sıcaklık eğrisi.....	31
Şekil 6.2 Kesişme ve tutuşma noktası.....	35
Şekil 6.3. Tipik bir termogram.....	37
Şekil 6.4. Kömürün ısınma eğrisinin analizi.....	44
Şekil 6.5. Kömürün kendiliğinden yanma karakteristikleri tarafından oluşturulan üçgen.....	45
Şekil 7.1 Kendiliğinden yanma deney seti.....	55
Şekil 7.2 Kendiliğinden yanmaya yatkınlığın ve çıkan gazların belirlenmesinde kullanılan deney seti.....	55
Şekil 7.3 Kendiliğinden yanma deney setinin şematik gösterimi.....	56
Şekil 7.4. Deneylerde kullanılan reaktör. a) Şematik gösterim, b) Reaktöre ait bir görsel.....	56
Şekil 7.5 Tipik bir zaman-sıcaklık eğrisi.....	57
Şekil 9.1 Polonya kömür endüstrisinin yeniden yapılanması.....	66
Şekil 9.2. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı.....	70



## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1 Kendiliğinden yanmayı etkileyen faktörler.....	7
Çizelge 4.1. Yanma gazlarının sıcaklıkla değişimi.....	22
Çizelge 6.1. Çin kömürlerinin oksijen tüketimi yöntemine göre risk değerlendirilmesi.....	32
Çizelge 6.2. Kendiliğinden yanmanın saptanmasında kullanılan bazı deney yöntemlerinin karşılaştırılması.....	40
Çizelge 6.3. Kuluçka süresi risk indeksi.....	41
Çizelge 6.4. Zonguldak Havzası kömür damarlarının kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırılması.....	42
Çizelge 6.5. Kesişme noktası sıcaklığı sonuçlarına göre risk sınıflandırması.....	43
Çizelge 6.6. MR indeksi.....	45
Çizelge 6.7. Kendiliğinden yanmayı etkileyen kritik faktörler.....	47
Çizelge 6.8. Olpinski risk indeksi.....	47
Çizelge 6.9. Yatkınlık ve çevre indeksi.....	48
Çizelge 6.10. Risk indeksi.....	48
Çizelge 6.11. Bystron ve Urbanski tarafından önerilen risk değerleri.....	48
Çizelge 6.12 Kömür ocaklarında değiştirilmiş Bystron ve Urbanski tekniğine göre kendiliğinden yanmanın değerlendirilmesi.....	49
Çizelge 6.13. Çevresel faktörler ve adyabatik deney sonuçlarını temel alan kendiliğinden yanma risk sınıflandırması.....	50
Çizelge 6.14. Baneerje'nin parametre takımları.....	51
Çizelge 6.15. Alman risk değerlendirme yöntemi.....	53
Çizelge 6.16. Kendiliğinden yanma risk indekslerinin karşılaştırılması.....	54
Çizelge 7.1. FCC indeksine göre kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlık değerleri.....	57
Çizelge 9.1. Polonya'da 2012-2021 yılları arasında yaşanan doğal risklerle ilişkili tehlikeli olay ve kaza sayısı.....	67
Çizelge 9.2. Polonya kömür madenlerinde yangın riski.....	68
Çizelge 9.3. Eksojen ve endojen yangınların sayısı ve yangın indeksi (W).....	69
Çizelge 9.4. Risk grubuna göre yangın sayısı.....	69

## GÖRSELLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Görsel 8.1. Brzeszcze Madencilik Tesisi maden kurtarma istasyonu.....	59
Görsel 8.2. Termal kamera.....	60
Görsel 8.3. Kapalı devre solunum cihazı.....	60
Görsel 8.4. Kurtarma aparatı.....	60
Görsel 8.5. Eğitim-Uygulama odası (Training room).....	60
Görsel 8.6. Kuyudan ocağa giriş.....	61
Görsel 8.7. Polonya Madencilik Sanayi ve Ticaret Odası üyeleri (GIPH).....	61
Görsel 9.1. Deney galerisinde kömür tozu patlaması.....	66
Görsel 9.2. Patlama sığınağı.....	66

## KISALTMALAR

<b>AB</b>	Avrupa Birliği
<b>CBS</b>	Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>CDT</b>	Czech Extraction and Mining Technology
<b>ÇSGB</b>	Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
<b>DTA</b>	Diferansiyel Termal Analiz
<b>EÜAŞ</b>	Elektrik Üretim A.Ş.
<b>GIG</b>	Polonya Merkezi Madencilik Enstitüsü
<b>IESP SOP</b>	İstihdam, Eğitim ve Sosyal Politikalar Sektörel Operasyonel Programı
<b>IOHS</b>	Institution of Occupational Safety and Health
<b>IPA</b>	Instrument for Pre Accession
<b>İSG</b>	İş Sağlığı Güvenliği
<b>İSGGM</b>	İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
<b>KİAŞ</b>	Kömür İşletmeleri A.Ş.
<b>MASİS</b>	Maden Sanayii İşverenler Sendikası
<b>MTA</b>	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
<b>RG</b>	Resmi Gazete
<b>TİSK</b>	Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu
<b>T.KÖMÜRDER</b>	Türkiye Kömür Üreticileri Derneği
<b>TKİ</b>	Türkiye Kömür İşletmeleri
<b>TTK</b>	Türkiye Taş Kömürü Kurumu

# BÖLÜM 1

## “YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE KENDİLİĞİNDEN YANABİLİRLİK ETÜDÜ İLE İSG UYGULAMALARININ İZLENEBİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI” PROJESİ

(TREESP1.1.OHSMS/P-03/89)

Halim DEMİRKAN

### 1.1. ÖZET

Türkiye ile Avrupa Birliği arasındaki mali iş birliği kapsamında geliştirilen Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA-Instrument for Pre Accession)’nın “İstihdam, Eğitim, Sosyal Politikalar” bileşeni altında İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi (IOHS)” Hibe Programı uygulanmaktadır. Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen söz konusu hibe programı, Sözleşme Makamı olan Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Mali Yardımlar Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülmekte ve izlenmektedir. Programın Operasyon Faydalanıcısı T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Hibe Faydalanıcısı Maden Sanayii İşverenleri Sendikası (MASİS)’dir

Maden Sanayii İşverenler Sendikası’nın (MASİS) hazırlamış olduğu “Yeraltı Kömür Madenlerinde Kendiliğinden Yanabilirlik Etüdü ile İSG Uygulamalarının İzlenebilirliğinin Artırılması” Projesi, MASİS’in bağlı olduğu Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu (TİSK), Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG), Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü (TKİ), Türkiye Kömür Üreticileri Derneği (T. KÖMÜRDER) ve Çek Madenciler Derneği (CDT) desteklerinde yürütülmüştür.

Proje ile; Türkiye’deki yeraltı kömür ocaklarından alınan numunelerin, kendiliğinden yanma testlerine tabii tutularak, sonuçlarının, İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamalarının İzlenebilirliği için kullanılması amaçlanmaktadır. Proje kapsamında; Türkiye’deki yeraltı kömür işletmelerindeki kömür damarlarından 100 numune alınarak, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde risk değerlendirmesi testlerine tabii tutulmuştur. Ankara ve Zonguldak’ta Farkındalık Çalıştayı, altı ayrı lokasyonda Kömür Madenlerinde Çalışanlar için İSG Eğitimi (Ankara, Ankara-Nallıhan, Kütahya-Tavşanlı, Manisa-Soma, Amasya-Merzifon, Zonguldak-Kozlu) gerçekleştirilmiştir. Kendiliğinden Yanma Hakkında işbu kitap, Broşür, Rehber Kitapçık hazırlanarak, basılmıştır. Konu ile ilgili 10 dakikalık film hazırlanmış ve sosyal medya kanalında ilgililerin dikkatine sunulmuştur. CBS üzerinde risk haritası oluşturulmuştur. Erken uyarı sistemlerinin kurulmasına yönelik yaklaşımlar ve mevzuat değişikliği teklifi getirilmiştir.

### 1.2. GİRİŞ

Türkiye ile Avrupa Birliği arasındaki mali iş birliği kapsamında geliştirilen Katılım Öncesi Mali Yardım Aracı (IPA-II Instrument for Pre Accession)’nın “İstihdam, Eğitim, Sosyal Politikalar” bileşeni altında İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi (IOHS)” Hibe Programı uygulanmaktadır. Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen söz konusu hibe programı, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Avrupa Birliği ve Mali Yardımlar Dairesi Başkanlığı tarafından yürütülmekte ve izlenmektedir.

T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı AB ve Mali Yardımlar Dairesi Başkanlığı’nın İnsan Kaynaklarının Geliştirilmesinden sorumlu Program Otoritesi ve Sözleşme Makamı sıfatıyla yürüttüğü ve faydalanıcısı olduğu “IPA II altında İstihdam, Eğitim ve Sosyal Politikalar Sektörel Operasyonel Programı (IESP SOP) Uygulaması Kapsamında “Kurumsal Kapasite Geliştirilmesi için Teknik Yardım” projesi olarak gerçekleştirilecek olan “İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi (IOHS)” Hibe Programında desteklenecek 36 projeden birisi böylelikle MASİS’in “**Yeraltı Kömür Madenlerinde Kendiliğinden Yanabilirlik Etüdü ile İSG Uygulamalarının İzlenebilirliğinin Artırılması**” projesi oldu.

Maden Sanayii İşverenleri Sendikası ve T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı AB ve Mali Yardımlar Dairesi Başkanlığı ile 7 Aralık 2020 tarihinde imzalanan sözleşmesinin ardından, 3 Şubat 2021 tarihi itibarıyla uygulama aşamasına geçildi.

Maden Sanayii ve İşverenleri Sendikası (MASİS) tarafından hazırlanan ve MAPEG, TKİ, KÖMÜRDER ve Çek Madenciler Derneği (CDT) tarafından desteklenmektedir. **“Yeraltı Kömür Madenlerinde Kendiliğinden Yanabilirlik Etüdü ile İSG Uygulamalarının İzlenebilirliğinin Artırılması”** projesinin toplam bütçesi 205.283,52 Avro. Bu tutarın 29.725,05 Avro'luk kısmı Maden Sanayii İşverenleri Sendikası (MASİS) tarafından eş finansman katkısı olarak sağlanıyor.

Projenin ana hedefi, Türkiye'deki yeraltı kömür madenlerinden alınacak numunelerle, havza ve yatak bazında kömürlerin kendiliğinden yanma testlerine tabii tutulmasının ardından elde edilecek sonuçlara göre İSG yaklaşımlarının geliştirilmesidir. Proje kapsamında; Türkiye'deki yeraltı kömür işletmelerindeki kömür damarlarından 100 numune alınarak, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği bölümünde risk değerlendirmesi testlerine tabii tutulmuştur. Ankara ve Zonguldak'ta Farkındalık Çalıştayı, altı ayrı lokasyonda Kömür Madenlerinde Çalışanlar için İSG Eğitimi (Ankara, Ankara-Nallıhan, Kütahya-Tavşanlı, Manisa-Soma, Amasya-Merzifon, Zonguldak-Kozlu) gerçekleştirilmiştir. Kendiliğinden Yanma Hakkında işbu kitap, Broşür, Rehber Kitapçık hazırlanarak, basılmıştır. Konu ile ilgili 10 dakikalık film hazırlanmış ve sosyal medya kanalında ilgililerin dikkatine sunulmuştur. Test sonuçları Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) kullanılarak, kömürlerin kendiliğinden yanma risk haritası oluşturulmuştur. Erken uyarı sistemlerinin kurulmasına yönelik yaklaşımlar ve mevzuat değişikliği teklifi getirilmiştir.

Proje Koordinatörlüğünü ilk yarıyıl Dr. Nevzat KAVAKLI, son iki yarıyıl Ahmet Engin KURUOĞLU üstlenmiş, teknik uzman olarak Halim DEMİRKAN, proje sekreteri olarak Müge EREN görev almıştır. MASİS Genel Sekreteri Dr. Tanzer Polat YILMAZ ve Maden Mühendisi Burak GÖBÜTOĞLU da MASİS adına projenin farklı aşamalarında katkıda bulunmuşlardır. MASİS Yönetim Kurulu Başkanı Naci İLÇİ ve Başkan Yardımcısı Veli DOĞAN'ın ise karar ve onay mercii olarak proje ekibine destek sunmuşlardır.

Destekçi MAPEG'den projede kapsamında numune alınacak işletmelerin belirlenmesi ve numunelerin alınmasında görev alan uzmanlar şunlardır: Birsen KOCAMAN, Rahmi KOCAMAN, İhsan ÖZDİNÇ, Ramazan TAŞCI ve Anıl KANDEMİR. Projede destekçi TKİ adına Ayşe TARAKÇIOĞLU ve Ayşe ÖZER, destekçi T.KÖMÜRDER adına Genel Sekreter Vekili Simge Çelik ARKIN katkıda bulunmuşlardır.

Yeraltı Kömür işletmelerinden alınan numunelerin risk testleri ve sonuçların yorumu, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü uzmanları tarafından bölüm laboratuvarlarında yapılmıştır. Aynı uzmanlar, Eğitimlerde eğitmenlik, Çalıştay ve Sempozyumlarda sunumlar yapmış, işbu kitaptaki bölümleri yazmış, erken uyarı sistemi yaklaşımına gitmiş ve mevzuat önerisi hazırlanmasında aktif rol oynamışlardır. Üniversitedeki proje ekibi; Dr. Öğretim Üyesi Erdoğan KAYMAKÇI, Doç. Dr. Serdar YILMAZ, Prof. Dr. İhsan TOROĞLU, Prof. Dr. Hamit AYDIN, Doç. Dr. Özgür YILMAZ, Doç. Dr. Mehmet BİLEN, Arş. Gör. Dr. Haşim KILIÇ ve Arş. Gör. Dr. Utku SAKIZ'dan oluşmaktadır.

### **1.3. PROJENİN HEDEFLERİ**

#### **1.3.1. Ana Hedef**

Kömürlerin kendiliğinden yanabilirliğinin etüdü ile yeraltı kömür madenlerinde İSG risklerinin belirlenmesi, risk izlenebilirliği ve kazaları önlemeye yönelik alınacak tedbirlerin belirlenmesi

#### **1.3.2. Genel Hedefler**

Projenin genel hedefine ulaşmak için kömür madenlerindeki İSG uygulamalarının geliştirilmesi

ve potansiyel tehlikelerin minimuma indirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda olası risklerin belirlenmesi kilit rol oynamaktadır. Risk izleme ve erken uyarı sistemleri yaklaşımı ile madenlerde iyi uygulamalarının artırılması hedeflenmiştir.

Yapılan araştırmalar neticesinde, madenlerde meydana gelen kazaların %70'inin kömür damarlarındaki kendiliğinden yanma meydana gelmesi neticesinde ortaya çıkan gazların parlaması ile ilgili olduğu saptanmıştır. Bu nedenle projenin özel amaçlarının en önemlisi ve İSG uygulamalarının bu alanda uygulanmasının artırılması ile olası kazalar azaltılabilecektir. Bu kapsamda planlanan bilinçlendirme ve farkındalık aktivitelerinin yanı sıra, ortak akıl buluşmaları organize edilecek ve bilgilendirme faaliyetleri yapılacaktır. Ayrıca muhtemel risklerin takibi ve erken uyarı için çalışmalar proje kapsamında planlanmıştır.

### **1.3.3. Özel Hedefler**

1. Türkiye'deki yeraltı kömür madenlerinde kendiliğinden yanma ile ilgili etüt ve analizleri yapmak, rezerv, işletme ve bölge bazında envanterler oluşturmak
2. Envanter bilgilerinin işletme ve bölge bazında İSG risklerinin ortaya konması ve kazalara karşı alınacak tedbirlerin belirlenmesini sağlamak,
3. Oluşturulan envanterlerin belli aralıklarla güncellenerek İSG tedbirlerinin yeniden değerlendirilmesine imkan sağlamak,
4. Yeraltı kömür ocaklarının çalışanları, işverenleri, denetmenleri ve kamuoyunun konu ile ilgili bilinçlenmesini sağlayacak etkinlikler düzenlemek
5. Yeraltı kömür ocaklarının İSG Mevzuatı ve politikalarına uyumunu arttırmak, farkındalık yaratmak.

### **1.3.4. Ana Aktiviteler**

1. Proje Ekibinin Oluşturulması
2. Yeraltı kömür ocaklarının olduğu maden ruhsatlarının ve konumlarının belirlenmesi, bunlar içinden numune alınacak olanların seçilmesi
3. Numunelerin Alınması ve Laboratuvar Testleri
4. Farkındalık Çalıştayları (Zonguldak ve Ankara)
5. Yurt Dışı Teknik Çalışma Ziyareti
6. Bilgi Paylaşım Semineri ve Kitap Yayınlama
7. Kömür Madenlerinde Çalışanlar için İSG Eğitimi (Ankara, Nallıhan, Zonguldak, Kütahya, Merzifon, Manisa)
8. Erken uyarı sistemlerinin kurulmasına yönelik çalışmalar
9. Rehber ve Mevzuat değişikliği teklifinin oluşturulması
10. Görünürlük Faaliyetleri (Roll-up, broşür, film, stant, bayraklar, kartvizit, afiş, levhalar, sosyal medya hesapları)
11. Proje Kapanışı ve Raporlanması

### **1.3.5. Faaliyetler / Çıktılar**

Proje kapsamında, seçilen yeraltı kömür madenlerinde kömürün kendiliğinden yanmasının tespiti amaçlı 100 numune alınarak kendiliğinden yanma risk testlerine tabii tutulmuştur.

Kömür üreticileri, işverenler, sivil toplum kuruluşu temsilcileri, akademisyenler, öğrencilerden oluşan ekiple projedeki teknik faaliyetlerin değerlendirildiği iki çalıştay düzenlenmiştir. Zonguldak çalıştayına 153, Ankara çalıştayına 105 olmak üzere, toplam 258 kişi katılmıştır. MAPEG, MTA, İSGGM, TKİ, TTK, EÜAŞ ve KÖMÜR-DER temsilcilerinin katılım sağladığı bir bilgilendirme semineri gerçekleştirilmiştir. Kömür Madenlerinde Çalışanlar için her birinde yarım günlük, toplamda üç gün süren İSG Eğitimi (Ankara, Ankara-Nallıhan, Kütahya-Tavşanlı, Manisa-Soma, Amasya-Merzifon, Zonguldak-Kozlu) gerçekleştirilmiştir. Zonguldak eğitimi; TTK, Ankara Nallıhan; KİAŞ, Merzifon yeni Anadolu madencilik ve diğerleri TKİ'nin katkıları ile beklenen katılım düzeyinin üzerinde gerçekleşmiştir. Eğitim faaliyetlerinde yer alan toplam katılımcı sayısı 441'e ulaşmıştır.

Ölçüm analiz sonuçları, proje kapsamında yapılacak çalıştaylar ve literatür araştırması ile konunun tüm tarafları için hazırlanacak olan rehber niteliğindeki işbu kitap basılmış ve ülke çapında dağıtımı sağlanacaktır.

Yeraltı Kömür madenlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin geliştirilmesi ve bu konuda farkındalık yaratılması en öncelikli hedeftir. Bunun yanında kömürlerin kendiliğinden yanması nedeniyle büyük kömür rezervleri yok olmakta ve doğal kaynaklarımız ekonomide yerini alamamaktadır. Kendiliğinden yanmanın önlenmesi, kaynakların güvenliği, işletmelerin devlete ve vergi bütçesine katkısı, yerel katma değer ve istihdamın artması anlamına gelecektir. Yeraltı kömür işletmelerinin kurumsal kapasite artırımı sağlanacak, yatırımcılar ve yöneticiler arasında farkındalık yaratılacaktır. İSG'de gelişmiş işletmelerin varlığı yatırımcı için yatırım talebi yaratacağından yerel kalkınma ve katma değer yaratılacaktır. Proje sonucunda, kömürün kendiliğinden yanması yönünden güvenli çalışma ortamı çalışanlar ve ailelerinin yaşam kalitelerinin iyileştirilmesine olumlu etki yapacaktır. Proje neticesinde kömürün kendiliğinden yanmasına ilişkin mevzuat değişikliği için bir teklif hazırlanmış olup, ilgili makamlara sunulmuştur.

### **1.3.6. Projenin Çağrının Amacı ile İlişkisi**

**1.3.6.1. Projenin Çağrının Genel Amacı ile İlişkisi;** Bu proje, iş sağlığı ve güvenliği koşullarını iyileştirmek ve kömür ocaklarındaki tutarlı ve kapsamlı stratejilerin uygulanmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Bilinçlendirme Çalıştayı, bilgi paylaşım semineri ve eğitimleri ile madencilik sektöründeki aktörlerin bilinç düzeyi artırılarak ve en iyi uygulamalar paylaşılmış, böylece İSG bilinci artırılmıştır. Görünürlük faaliyetleri ile madencilik dışındaki kamuoyu proje konusu ve AB katkıları hakkında bilgilendirilmiştir.

**1.3.6.2. Projenin Çağrının Özel Amacı ile İlişkisi;** Kömürlerin kendiliğinden yanması koşullarının belirlenmesiyle, yeraltı kömür madenlerinin İSG koşullarındaki potansiyel risklerin izlenmesi ve izlenebilirliği kontrol altında tutulmasının yolu açılmıştır. Proje, aynı zamanda İSG konusundaki AB yasalarına uyumun avantajlarını da ele almıştır. Projede, işyerlerinde güvenlik kültürünü oluşturacak, çalışma koşullarını iyileştirecek ve iş kazalarına bağlı kayıplara ilişkin farkındalığı artıracak faaliyetler vurgulanmıştır.

## **1.4. SONUÇ**

Projenin en önemli etkisi, yeraltı kömür işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği koşullarının iyileşmesine katkısıdır. Türkiye çapında yeraltı işletmelerinden damar bazında alınan toplam 100 numunenin, kendiliğinden yanma risklerinin belirlenmesi sonucu, kendiliğinden yanma risk dağılımı ortaya çıkacaktır. Sonuçların proje kapsamında Coğrafi Bilgi Sistemi üzerinde işlenmesi ile kömürlerin kendiliğinden yanma risk dağılımı ortaya konacaktır. Buna göre alınacak tedbirler ve erken uyarı mekanizmaları ile çalışma koşullarında iş sağlığı ve güvenliği bakımından daha uygun koşullar oluşmuş olacaktır. Böylelikle çalışanlar ve aileleri, kamuoyunda oluşan olumsuz algı giderilmeye başlayacaktır. Diğer yandan kömür ocaklarında kendiliğinden yanma sonucu büyük kömür rezervleri heba olmakta, doğal kaynaklarımız yangın yolu ile ekonomideki yerini alamamaktadır. Kendiliğinden yanmanın önlenmesi, kaynakların güvenliği, çalışan işletmelerin devlet hakkı ve vergi yolu ile bütçeye katkıları, yerelde yaratılan katma değer ve istihdamında artışı demek olacaktır. Kendiliğinden yanmanın önlenmesi ile iş yeri ve yatırım güvenliği sağlanacak, bununla birlikte yeraltı kömür madenlerine yapılacak yatırımların artması sonucu ortaya çıkacaktır. Projenin çıktıları sonucu oluşacak fayda ile yeraltı kömür ocaklarında iş sağlığı ve güvenliğine yönelik olarak, kendiliğinden yanma konusunda rutin deneylerin yapılarak, çalışma koşullarının buna göre izlenmesi sağlanacaktır. Bunun mevzuatla düzenlenmesi de tüm yeraltı kömür ocaklarında bu projenin devamlılığı anlamına gelecektir.

## BÖLÜM 2 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMASI

Hazırlayanlar  
Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan KAYMAKÇI  
Doç. Dr. Mehmet BİLEN

### 2.1. GİRİŞ

Ocak yangınları çoğunlukla kömür madenciliği ile ilgili olmasına rağmen, pirit ocakları ve metal madenlerinde de zaman zaman karşılaşılabilmektedir. Yangınlar; meydana geliş şekline, yerine ve dış görünüşüne göre sınıflandırılabilir. Meydana geliş şekli, yangının önceden sezilmesi ve yangınla mücadele bakımından önemli olduğundan bu çalışmada bu yönde bir sınıflandırma esas alınmıştır. Buna göre yangınlar; açık ve gizli olmak üzere ikiye ayrılabilir. Açık yangınlar; yüksek ısı sonucu meydana gelen ve ısı kaynağı (sürtünme ısısı, açık alev, elektrik arki vb.) yanan ortamın dışında olan yangınlardır. Gizli yangınlar ise; kömürün doğasından kaynaklanır. Bu tür yangınların oluşmasının asıl nedeni oksidasyon ısıdır. Böyle yangınlar, kömürün oksijenle teması sonucunda ısı üretmesi ve bu ısının birikmesi ile gelişen yangınlar olup, madencilik çalışmalarında daha önemli bir yer tutmaktadırlar (Kaymakçı, 1998). Kömür, oksijen ile temas ettiğinde; normal atmosferik koşullar ve düşük sıcaklıkta da olsa, oksijen sorpsiyonu (soğurma) gerçekleşmekte, oksitlenme sonucunda karbon monoksit (CO) ve karbon dioksit (CO<sub>2</sub>) gazları ile ısı açığa çıkmaktadır. Oluşan ısının havalandırma ile atılamaması veya soğutma hızının daha yüksek olması halinde, ısı ve oksidasyon hız kazanacaktır (Qiao vd. 2022). Ortam ısısının yanma ısısına erişmesine değin devam edecek olan bu süreç açık alev ile yanma ile neticelenecektir. "Kömürde kendiliğinden yanma", yavaş oksitlenme sonucunda kömürün kendiliğinden ısınması ve ısınmanın yanma ile neticelenmesinin, madencilik alanındaki adıdır.

Kömürün kendiliğinden yanması ve buna bağlı olarak meydana gelen sorunlar uzun yıllardan beri bilinmektedir. Ocaklarda meydana gelen kendiliğinden yanma olayları; gerekli önlemler alınmadığında genellikle açık alevli yangına dönüşmekte ve yeraltı ocaklarında yangın yöresinde bulunan ve oksidasyon sırasında oluşan patlayıcı ve zehirli gazların her an patlamaya hazır durumda olması sonucunu doğurmakta olup, bu durum toplu ölümlere yol açabilmekte ve toplum üzerinde sosyo-ekonomik etkiler oluşturmaktadır. Kontrol altına alınamayan yangın, panonun terk edilmesine, önemli miktarda rezerv kaybına bunun sonucunda bölgedeki ekipman ve malzemelerin kaybedilmesine, önemli maddi kayıpların oluşmasına neden olabilmektedir. Görüldüğü gibi, bir maden ocağında meydana gelen kendiliğinden yanma olayı pek çok zararı da beraberinde getirmektedir. Yangının erkenden haber alınması durumunda yapılacak müdahale bir ölçüde başarıya ulaşabilir. Burada kritik öge zamandır. Birçok ocak yangını, erken haber alınarak büyümeden önlenmiştir. Fakat geç kalınması durumunda sahanın izole edilerek, diğer ocak kesimlerinden ayrılmasından başkaca yapılacak fazla bir şey yoktur ve pano kapatılırken içerideki her türlü donanım büyük ölçüde elden çıkartılmak durumundadır (Didari 1986, Kılıç 2014).

Kendiliğinden yanma veya oksidasyon konusunda ülkemizde ve diğer ülkelerde yapılan detaylı araştırmalara göre olayın bütün ocaklarda aynı ağırlıkta sorunlar yaratmadığı bilinmektedir. Bazı kömür damarları kendiliğinden yanmaya diğerlerinden daha yatkın durumda bulunurken, bazen de aynı kömür damarının değişik yerlerinde farklı yatkınlıklar gözlenebilmektedir. Bunun nedeni, kendiliğinden yanma olayının meydana gelmesinde; kömürün yapısal özelliklerinin yanı sıra, çevresel koşulların da önemli rol oynamakta oluşudur. Bu nedenle, kömürün kendiliğinden yanması olayı sürekli olarak araştırılması ve geliştirilmesi gerekli olan bir konudur. Olayı etkileyen parametrelerin tam olarak bilinmemesi veya çok fazla olması, bilimsel olarak sürekli araştırılmasını ve bu araştırmaların birçok disiplinden bilgi akışıyla ve mesleğe ait özel bir ilgi ile desteklenmesini gerektirmektedir (Kaymakçı 1998).



Kömürün yapısında; karbon, hidrojen, kükürt, azot ve oksijen organik formda, bunun yanında kil, şeyl, kumtaşı, pirit gibi birçok mineral de kül formunda bulunmaktadır. Ünver ve Özözen (1998) bu konuyla ilgili yürütülen çalışmada, organik olarak yapısında %50-90 karbon, %2-20 oksijen, %2-8 hidrojen ve %2 den az azot içeren kömürün, %8'e varan oranlarda gerek organik gerekse yapısal olarak kükürt içerebildiğini belirtmiştir. Hava ile temas ettiğinde içerdği bu maddeler reaksiyona girerek, şiddeti farklılık göstermekle birlikte, bir serbestleşme enerjisi şeklinde ısıyı meydana getirmektedir. Yapılan incelemeler neticesinde, kömüre öncelikle fiziksel olarak bağlandığı belirlenen oksijen moleküllerinin, daha sonra ısı iletimi, ısı taşınım ve difüzyon mekanizmalarının bileşkesiyle, kömürün gözeneklerine kadar ulaşarak kimyasal bir reaksiyona evrildiği ortaya çıkmıştır. Kimyasal açıdan bir farklılık taşımayan oksidasyon ile yanma karşılaştırıldığında, oksidasyonun yanmaya kıyasla hızının daha yavaş olduğu görülmektedir. Ünver (1998) çalışmasında ayrıca ısı artışının kömürün açık alevli yanmasına değin sürebileceğini ifade etmektedir.

Özet olarak; kömür oksidasyonu ekzotermik bir reaksiyondur ve bu süreçte oldukça fazla miktarda ısı üretilir. Oluşan ısının miktarı esas olarak kömürün rankına bağlıdır. Düşük ranka sahip olan kömürlerin ısı üretim oranı daha fazladır. Ortamdaki ısının uzaklaştırılmasına bağlı olarak sıcaklık artacak veya azalacaktır. Sıcaklıktaki her yükseliş, oksidasyonun ilerlemesine neden olacak ve böylece ardışık olarak daha fazla üretilen ısı, kendiliğinden yanma işlemini hızlandıracaktır (Kaymakçı 1998).

Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının büyük oranda değişimler göstermesi nedeniyle kendiliğinden yanma olayı bugün bile tam olarak anlaşılammıştır. Bilimsel araştırmanın değişmeyen bir konusu olan kendiliğinden yanmanın nedenleri ve önlenmesi konusunda değişik tezler ortaya atılmış, fakat ne yazık ki kömürlerin karmaşık bileşimlerinin; yüzey reaksiyonlarında değişik durumlar ortaya çıkarmaları nedeniyle kesin çözümler bulunammıştır. Bununla beraber, bu konu ile ilgili araştırmalarda önemli bir yaklaşım, kömürlerin kendiliğinden yanmaya bünyesel (doğal) yatkınlıklarının saptanmasıdır. Diğer bir deyişle, farklı kömür madenciliği koşulları altında çevresel faktörlerin etkilediği yangın riskinin saptanması kadar, belirli bir kömürün bünyeden gelen yatkınlığını yansıtan ve önceden tedbir alınmasına olanak sağlayan bünyesel bir risk indeksinin bulunmasına da gereksinim vardır (Kaymakçı 1998).

## **2.2. KENDİLİĞİNDEN YANMA OLAYINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER**

Kendiliğinden yanma ve kömürün oksidasyonu üzerinde etkili olan faktörlerle ilgili olarak bu güne kadar yapılan çalışmaların pek çoğunda bu olaya etki eden bazı faktörlere ilişkin net bir görüş birliğine ulaşılamamıştır. Yine yapılan çalışmaların pek çoğunda da, faktörler "iç" ve "dış (çevresel)" olmak üzere iki grupta toplanmıştır.

Bu bağlamda İç faktörlerin kömürün özellikleri ile ilgili parametreler olup, dış faktörlerin de jeolojik ve atmosferik koşullar ile işletme koşullarından oluştuğu belirlenmiştir. Çizelge 2.1'de kömürün kendiliğinden yanmasını etkileyen faktörler gösterilmektedir (Ünver ve Özözen 1998, Kaymakçı 1998).

Çizelge 2.1. Kendiliğinden yanmayı etkileyen faktörler (Demirbilek, 1986).

İÇ FAKTÖRLER	DIŞ FAKTÖRLER	
Kömür Özellikleri	Jeolojik Özellikler	Madencilik Uygulamaları
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kömürün rankı</li> <li>2. Petrografik Bileşim</li> <li>3. Nem İçeriği</li> <li>4. Pirit İçeriği</li> <li>5. Kırılganlığı</li> <li>6. Eksinit ve Vitrit İçeriği</li> <li>7. Yüzey alanı</li> <li>8. Mineral Madde İçeriği</li> <li>9. Kimyasal Bileşimi</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kömür damarlarındaki süreksizliklerin varlığı</li> <li>2. Düşük kaliteli kömür bantlarının bulunduğu kalın damarlar</li> <li>3. Derinlik</li> <li>4. Birbirine yakın birçok damarın varlığı</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Kömür kayının fazlalığı</li> <li>2. Tavan ve tabanda kömür bırakılması</li> <li>3. Tabaka hareketlerine bağlı aşırı çatlaklar</li> <li>4. Örtü tabakası ince olan</li> <li>5. Ocaklarda göçmeler sonucu yüzeyle bağlantı oluşması</li> <li>6. Üretim yöntemleri</li> <li>7. Topuklar ve eskiden çalışılmış alanların varlığı</li> <li>8. Havalandırma anomalileri (büyük basınç farklılıkları, dar geçitler, sıklamalar vs.)</li> <li>9. Göçük içine hava kaçağı</li> </ol>

### 2.2.1. İç Faktörler

Kömürlerin oksidasyon potansiyeli, yani bünyelerinde var olan kendiliğinden yanmaya yatkınlık, kömürün çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikleri tarafından yönlendirilir. Bu nedenle kömürlerin doğal yatkınlıklarının saptanmasında bu özelliklerin araştırılması gerekmektedir. İç faktörler kontrol edilemezler ve kendiliğinden yanma veya oksidasyon olayı üzerinde hızlandırıcı, geciktirici veya katalitik etkileri vardır.

#### 2.2.1.1. Kömürün Rankı

Turbadan antrasite kadar meydana gelen kömürleşme süreci, kendiliğinden yanma olayını direkt olarak tetiklemektedir. Kömürdeki karbon içeriğinin artması ve dolayısı ile oksijen içeriğinin azalması rankta artış yaratmaktadır. Yapılan araştırmalar, içeriğinde yüksek oksijen olan kömürlerin kolaylıkla oksidasyona uğradıkları ve böylece de kendiliğinden yanmaya çok yatkın olduklarını kuşkuyla yer bırakmayacak şekilde ortaya koymuştur. Özetle, düşük kaliteli kömürlerin kendiliğinden yanmaya olan eğilimi çok daha yüksektir. Örneğin, antrasit kömürlerinde oksidasyon olasılığı linyitlerden çok daha az oluşmaktadır. Bunun da en önemli sebebi, kömürleşme derecesi düşük olan kömürlerin bünyelerinde daha fazla reaktif O<sub>2</sub> (Oksijen) bulundurmaları dolayısı ile geniş gözenekleri sayesinde oksidasyon için daha elverişli şartları içermesidir (Saraç 1992, Ökten 1988, Ünver ve Özözen 1998, İnal ve Aydın 2019).

#### 2.2.1.2. Petrografik Bileşim

Kömürler, yarıparlak, mat, litotipler (ince bant) şeklinde meydana gelirler. Vitren ve klaren olarak adlandırılan parlak litotiplerin, mat litotipler olan düren ve füsene kıyasla oksidasyon hızı yüksek olmakla birlikte bu konuda net bir görüş birliğinden söz etmek mümkün değildir. Füsene'in ise diğer litotiplere göre daha uzun sürede tutuşma gösteren bir bileşen olduğu ise görülmüştür (Ünver, 1998).

#### 2.2.1.3. Nem İçeriği

Kömürün nem içeriği, oksidasyonu ve kızışmayı etkilemektedir. Düşük kömürleşme derecesine sahip bir kömür tanesi nem özelliğini yitirdiğinde, yüzey çekilmeleri meydana gelir bununla birlikte oluşan bu çatlaklar sebebiyle yeni yüzeyler oluşur. Bu oluşan yeni yüzeyler oksijenle birleşmeye daha yatkın hale gelir. Kömürün neminin azalması, diğer bir deyimle nemini ocak havasına vermesi endotermik bir olaydır. Bu, kömürün sıcaklığının artması ve oksidasyonun hızlanması demektir. Tersine olarak, kömürün neminin artması veya ocak havasının nemini alması ise ekzotermik bir olaydır. Bu ise çevrenin sıcaklığının artması anlamına gelir (Güney 1968; Banerjee 1982; Demirbilek 1986).

Gerek kömürün higroskopik nem içeriği, gerekse de ocak havasının nemliliği ve nem basıncı, kömürün oksitlenme hızı ve kendiliğinden yanma karakteri üzerinde büyük bir etki yaratmaktadır. Yüksek nem içerikli kömürler genellikle düşük kaliteli kömürler olmakta ve yapılan araştırmalar bu kömürlerin oksijen soğurma edebilme yeteneklerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Hodges and Hinsley 1964; Güney 1968).

#### **2.2.1.4. Mineral Madde ve Kül İçeriği**

Kömürün yapısında bulunan ve organik bileşenlere oranla çok daha az olan inorganik bileşenlerin tümü "Mineral Madde" olarak tanımlanmıştır. Kömürlerde görülen mineral maddeler; kil mineralleri, karbonat mineralleri, sülfidler ve silikatlar gibi gruplara ayrılmaktadır. Kül ise kömür yandıktan sonra arta kalan inorganik maddedir (Yücel, 1996). Kömürün oksidasyon potansiyeli üzerinde kül ve mineral madde içeriğinin ters etkisi olduğu saptanmıştır. Bu maddeler kömürün değişen özelliklerine bağlıdır ve oksidasyonun özellikle başlangıç aşamalarında, kömürün oksijen adsorpsiyon kapasitesini etkilerler (Güney 1968; Demirbilek 1986, Kaymakçı 1998).

Karbon oranının düşmesi sebebiyle içeriğinde yüksek kül oranına sahip olan kömürlerin kendiliğinden yanmaya olan yatkınlıkları daha düşüktür. Külde yer alan kireç, demir ve soda gibi maddelerin ise oksidasyonu hızlandırdığı, silis ve alüminyumun yavaşlatabildiği tespit edilmiştir (Didari 1986; Ökten 1988).

#### **2.2.1.5 Tane Boyutu ve Yüzey Alanı**

Parça boyutu ve yüzey alanı Kendiliğinden yanma konusunda yapılan çalışmalardan da bilindiği gibi, kömürün oksidasyonu yüzey alanıyla doğrudan bağlantılı olarak gelişmektedir. Bu konuda Graham tarafından yapılan araştırmalar sonucunda, parça boyutu büyük olan kömürlerin oksitlenmenin yüzeyde kaldığı ve derinlere kadar inemediği sonucu elde edilmiştir. Kömürün oksitlenmesi esnasında adsorbe edilen oksijen miktarı ile kömür yüzey alanı arasındaki ilişki birçok görgül eşitlik ile ifade edilebilmektedir (Durucan ve Güyagüler 1982). Kömürlerin kendiliğinden yanması esnasında oksidasyon olayı ile birlikte buharlaşma ve yoğunlaşma olayları da meydana gelmektedir. Dolayısı ile parçacık boyutundaki değişime göre kömürün kendiliğinden yanmaya karşı yatkınlığındaki değişimi irdelemek için buharlaşma ve yoğunlaşma olaylarının bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Kömürün oksidasyon hızı, etkin yüzey alanı ile değişmekle birlikte yüzeylerdeki oksijen derişikliğine de son derece bağlıdır. Kömürün gözenekli bir yapıya sahip olması nedeniyle, reaksiyon yalnızca parçacık dış yüzeyinde değil, gözenek yüzeylerinde de oluşmaktadır. Dolayısı ile yanma için gerekli oksijen difüzyon yolu ile parçacık merkezine ulaşırken, yanma ürünleri yine difüzyon yolu ile parçacıktan uzaklaşmaktadır. Bu esnada, oksijen eğer parçacık merkezine kadar ulaşabiliyor ise, oksidasyon olayı parçacık boyutundan bağımsız olmaktadır. Başka bir deyişle, tüm yüzeylerde aynı hızla oluşan hacımsal bir reaksiyon söz konusu olmaktadır. Bu durum, ancak küçük taneli kömürlerin düşük sıcaklıklardaki oksidasyonu olayında gerçek olabilir. Oysa kömürün büyük taneli olması durumunda gözenek içerisindeki oksijen difüzyonuna karşı oluşan direnç etkin olmaktadır. Böylece, oksijen derişikliği parçacık yüzeyinden merkeze doğru azalmakta ve reaksiyon hızı parçacık boyutuna bağımlı hale gelmektedir. Dolayısıyla parçacık boyutu arttıkça oksidasyon hızında önemli oranda bir azalma olmaktadır (Akgün ve Arısoy 1990).

#### **2.2.1.6 Pirit İçeriği**

Kömürde farklı oranlarda bulunan pirit, nemli bir hava ile temas etmesi halinde kolayca oksitlenebilir ve bu oksitlenme sonucunda meydana gelen ısı kızışmayı kolaylaştırır. Pirit önceleri kömürdeki kendiliğinden yanmanın en önde gelen sebeplerinden biri olarak kabul edilirken, gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda, düşük sıcaklıkta da oksitlenebildiğinin ortaya çıkarılması ve pirit bulunmayan kömürlerin de yatkın olabildiğinin görülmesi neticesinde ikincil bir faktöre dönüşmüştür. Pirit oksitlendiğinde, şişme sonucunda parçalanarak kömürün yüzey alanı artarak oksitlenmeyi hızlandırmaktadır (Güney 1968; Feng vd. 1973).

## 2.2.2 Dış Faktörler

Bu faktörleri; jeolojik özellikler ve madencilik yöntemleri olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür.

### 2.2.2.1. Jeolojik Özellikler

Bir kömür damarının bünyesel özellikleri ile birlikte, jeolojik özellikleri de kendiliğinden yanmanın önlenmesi için yapılan çalışmalarda kontrol altında tutulamayan parametrelerdendir. Olay, kömür damarı ve komşu kayaçların her ikisinin de fiziksel ve yapısal özelliklerinin bir ürünü olmaktadır. Damardaki çatlak ve kırıklar yüzünden havanın bu çatlak ve kırıklardan kömür içine sızması daha kolay olmakta ve böylece kızışma başlamaktadır. Kalın veya içinde çeşitli bantların bulunduğu damarlar, kendiliğinden yanmaya daha yatkındırlar. Yeraltı yangınları, eğimi fazla olan damarlarda, daha büyük sorunlar yaratmaktadır. Damarın derinde olması, zayıf veya rahatsız edilmiş tabakaların varlığı, jeolojik süreksizlikler ve ikinci kalitede kömür bantları ile karbonlu şeyler ve pirit bantlarının bulunması kendiliğinden kızışmayı tahrik edici faktörlerdir ((Banerjee 1985, Demirbilek 1986; Morris ve Atkinson 1986, Kaymakçı 1998).

Çok kalın örtü tabakası (genellikle 300 m'nin üstünde), damarda daha çok çatlaklanmanın oluşmasına neden olabilir ve bu nedenle kendiliğinden yanma riskini şiddetlendirebilir. Örtü tabakası ince ise (genellikle 50 m'den az), yüzeyden kömür damarına hava girişleri kolaylaşmakta ve oksidasyon işlemi hızlanmaktadır. Örtü tabakasındaki kayaçların ısı iletkenliği ve gözenekliliği de kendiliğinden yanma riskini etkileyebilir. Granitin ısı iletkenliği kumtaşından ve kumtaşının ısı iletkenliği şeyden daha azdır. Ayrıca, dayklar veya volkanik kaya sokulumlarının varlığı da, genellikle civardaki kömür damarında daha fazla kırılanmaya ve madencilik süresince daha fazla kömür kaybına neden olduklarından, risk açısından önemlidirler (Banerjee, 1985). Kendiliğinden yanmaya zemin hazırlayan iki önemli faktör özellikle derin ocaklarda jeotermal gradyandan dolayı sıcaklığın artması ve topukların ezilmesidir. Ayrıca, ayak düzgünlüğünü muhafaza etmekte zorluklara yol açıp göçükler nedeniyle hava sirkülasyonunu engelleyen kaçaklara sebebiyet veren arızalar ve damar sayısı çok olan ocaklarda; hava kaçışlarına neden olarak yan damarlara geçiş veren bozuk yan taşlar, kolaylaştırıcı etkenler olarak sayılabilir (Didari 1986).

Yan taşlara göre daha düşük ısı iletkenliği olan kömür, kaçınılmaz olarak ayak gerisinde fazlaca kömür bırakılması ve aradaki bir bandın oksitlenmeye çok yatkın olma ihtimalinin yüksekliği sebepleriyle kalın damarlarda kendiliğinden yanmaya riski daha yüksektir.

### 2.2.2.2. Madencilik Uygulamaları

Madencilik; kömür damarını ve komşu tabakaları rahatsız etmeyi gerektiren bir faaliyet olduğundan, kendiliğinden kızışmanın başlaması için elverişli koşullar ortaya çıkarabilir. Mekanize ocaklarda, önemli miktarda toz kömür üretilir. Eğer, üretimi tamamlanmış veya terk edilmiş galerilerde, toz haline gelmiş veya ufalanmış kömür birikimine izin verilirse; tabaka şartlarının daha da bozulduğu 19 böyle yerlerde kendiliğinden kızışma için elverişli koşullar oluşabilecektir (Güney 1968 Feng vd. 1973, Demirbilek 1986, Kaymakçı 1998). Kalın damarlarda, tabaka kontrolü amacıyla tavan ve tabanda kömür bırakılabilir. Üretimi bitmiş alanlarda ise tavan göçmesi veya taban kabarması nedeniyle ufalanmış kömür parçacıklarının birikmesi kolaylaşabilmektedir. Böyle durumlar kendiliğinden yanma açısından bir tehlike doğurmaktadır. Ayrıca, yüzeye yakın olan ve göçertmeli sistemle çalışılan kömür damarlarında üretim kayıpları kaçınılmaz olmakta ve madencilik yapılan saha ile yüzey arasında önlenemeyen hava kaçakları, potansiyel bir kendiliğinden kızışma tehlikesi yaratabilmektedir. Kendiliğinden yanmayı etkileyen madencilik parametreleri; üretim yöntemi, havalandırma ve ocak çevresi olmak üzere üç başlık altında incelenebilir.

## **Üretim Yöntemi**

Kendiliğinden yanma tehlikesi uygulanan üretim yöntemi ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle üretim sisteminin daha projelendirme aşamasında damarın yangına yakınlığı belirlenmeli, yangın tehlikesini en aza indirebilecek bir üretim sistemi seçilmelidir (Saraç 1992).

Topuklu yöntemlerle yapılan üretimlerde oluşan boşluklara bağlı olarak yangınlar meydana gelebilir. Fazlaca kırılanmış kömür damarlarında topuklarda veya tavanda kalan kömür de kızışmaya neden olabilir. Meydana gelen boşluklar tamamen dolgu malzemesi ile doldurulursa kızışma riski büyük oranda azaltılabilir. Hidrolik dolgu, yangın riskini azaltmada pnömatik dolgudan daha etkilidir. Pano ölçüleri oldukça büyük, ayak boyu uzun, arın ilerleme hızı düşükse ve arın ilerlemesi zaman zaman elde olmayan nedenlerle kesintiye uğruyorsa kendiliğinden yanma riski artar (Banerjee, 1985). Ayak arkasında kesilmeden bırakılan ağaç tahkimat ya da alınamayan çelik tahkimat malzemeleri, göçük içinde hava sızmasına yol açacağından, kendiliğinden yanma açısından sakıncalı olmaktadır (Didari 1986).

Yeraltında bulunan kömür ocaklarında uygulanan üretim metodu bölgenin yapısına uygun olarak geliştirilmelidir. Kendiliğinden yanmaya yakın kömür damarlarında üretim yapıldığında, üretim yöntemini belirleyecek en önemli faktörlerden birisi de kömürün kendiliğinden yanma karakteridir. Uzunayak yöntemi ile çalışıldığında, dönmümlü ayaklar göçük içerisine hava sızmasını ve hava kaçaklarını en aza indirerek kendiliğinden yanmaları önlemede etkili olmaktadır. İlerletimli çalışmada ise, göçük alanına kaçak yapabilen hava, ayak arkasında kalan kömürü kızıştırır ve böylece kendiliğinden yanmaya olayını tetiklemektedir. Kendiliğinden yanmaya yakın damarlarda hidrolik veya pnömatik rambles uygulaması yangınların önlenmesinde başarılı olmuştur. Böylelikle, üretilen kömür nedeniyle oluşan boşluklar doldurulmakta ve kontrollü bir tavan oturması sağlanarak kırılma ve çatlaklar en aza indirilmektedir. Göçük içerisine veya çevresine hava kaçağı önlenerek kızışmanın önü alınabilmektedir. Oda-topuk yöntemi ile çalışılan damarlarda, topukların tavan basıncı ile çatlaması ve bu çatlaklardan sızan hava ile oksitlenmeye uğraması da kendiliğinden yanmalara neden olabilmektedir. Özellikle derin damarlarda bu yöntemin uygulanması durumunda sorun, daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır (Durucan ve Güyağüler 1982).

Uzun süre ilerlemeden sabit kalan ayakların hemen gerisinde, göçük içerisinde, sıcaklığı sürekli olarak artan ve kendiliğinden yanmaya yakın bir bölge oluşur. Bu bölgenin göçük içerisinde kaybolması ve hava kaynağının kesilmesi ayak ilerleme hızı ile doğrudan bağlantılıdır. Bu nedenle de uzun ayaklarda ilerleme hızı, kendiliğinden yanmayı etkileyen başlıca faktörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Kendiliğinden yanmayı önleyici belirgin bir ayak ilerleme hızı verilememekle birlikte, ayak ilerleme hızının yüksek tutulması gereği bilinen bir gerçektir. Herhangi bir nedenle üretimin aksaması ve ilerlemenin durması ile meydana gelen ocak yangınları bu konuda verilebilecek en anlamlı örneklerdir. Kalın damarlarda üretim yapılması durumunda, daha iyi tavan şartları yaratmak amacı ile tavanda kömür bırakılması da kendiliğinden yanmaya yakın damarlarda yangınlara neden olabilmektedir. Yine aynı şekilde, birbirine çok yakın damarların veya panoların çalışılması, bir uzun ayaktan diğerinin göçük bölgesine hava kaçağı oluşmasına, dolayısıyla yangınlara neden olabilmektedir (Kaymakçı 1998).

## **Havalandırma**

Havalandırma koşulları, ocaklarda kendiliğinden yanma konusunda önemli bir unsurdur. Havalandırma basıncındaki artış, çatlaklı bir yapıda bulunan kömür damarı içine, terk edilmiş ve üretimi bitmiş alanlara hava kaçaklarını arttıracak ve böylece kızışma riskini de arttırabilecektir. Havalandırma basıncındaki düşüş de, oluşan ısının dağılımına izin vermemesi nedeniyle ayrıca bir tehlike oluşturacaktır. Barometrik basınçtaki düzensiz değişimler, kapatılmış alanların içinde veya dışında hava akışında değişimlere neden olacak ve böylece kömürün kızışması hızlandırılmış olacaktır. Ayrıca, ocağa giren havanın nemi ve sıcaklığı da kömürün oksidasyon oranını etkileyecektir (Demirbilek 1986).

Uzunayak madencilğinde ilerletimli çalışma; göçük alanlarına kaçınılmaz şekilde hava kaçakları olması nedeniyle, dönümlü çalışmaya göre daha risklidir. Havalandırma yöntemi ve şiddetinin her ikisi de kendiliğinden yanmanın oluşmasında büyük rol oynar. Çok küçük hava miktarı oksidasyonun oluşmasını destekleyemez, çok fazla hava miktarı ise oluşan ısının birikimine izin vermez. Kendiliğinden kızışmanın oluşabilmesi, hava miktarına, ısı transferi koşullarına ve hava kaçaklarının bulunup bulunmadığına bağlıdır (Wade 1988).

Göçüklere hava kaçağını önleyebilmesi nedeniyle emici havalandırma üfleyici havalandırmaya göre daha güvenlidir. Didari (1986) çalışmasında, ocak vantilatörünün değiştirilerek veya vantilatör eklenmesi gibi değişikliklerin yapılarak hava miktarının artırılması hedeflenen işletmelerde, yanma hadiselerinin artışının gözlemlendiğini belirtmektedir. Didari'ye (1986) göre, yollarda bulunan kapı ve regülatörlerin sebebiyet verdiği basınç farklılıkları, havanın çevredeki diğer tabakalara kaçmasına ve buna bağlı olarak kızışmalara neden olmaktadır. Ocaklarda bu tür yapılardan kaçınılarak kesitlerde daralmaya yol açmamak önemlidir. Didari (1986) çalışmasında, havalandırma basıncındaki farklılıkların büyük olmasının kendiliğinden yanmayı tetikleyen ana etkenlerden birisi olduğunu belirtmektedir. Gerçekleştirilen değişikliklerle havalandırma basıncının arttırılması, göçük içerisinde hava kaçaklarının artmasına dolayısıyla kendiliğinden yanmaya yol açmaktadır. Esas amaç, düşük basınç ile havayı geniş hacimde dolaştırabilmek, bu şekilde kaçağa meydan vermeden ortaya çıkan sıcaklığı tahliye etmek olmalıdır. Hava yollarındaki engeller, kesit daralmaları, regülatör ve kapılar basınç düşmelerine yol açmakta ve havanın istenmeyen yörelere kaçak yapmasına neden olmaktadır. Uzunayak hava girişi ile dönüşü arasındaki havalandırma basınç farkının yüksek olması durumunda, ilerletimli ayaklarda göçük içerisinden kaçak artmakta, kendiliğinden yanma kolaylaşmaktadır. Bu nedenle havalandırma planlamasına özen göstermek gerekmektedir (Durucan ve Güyagüler 1982).

### **Ocak Çevresi**

Kendiliğinden yanmayı etkileyen ocak çevresi ile ilgili parametreler aşağıda küçükbaşlıklar halinde verilmiştir.

- **Kömürün Birikmesi**

*Toz haline gelmiş kömürün ocak çevresinde birikmesi ve çok fazla miktardaki kömür kaybı, madencilik yöntemine bağlıdır ve bu birikimler kendiliğinden yanma riskini artırır (Banerjee 1985).*

- **Sıcaklık**

*Ortam sıcaklığı yüksek olan bir panoda kendiliğinden yanma riski artar. Ortam sıcaklığının artmasına ise; jeolojik karakteristikler ve derinliğe bağlı olarak kayaç sıcaklığının artması, sıcak su kaynaklarının ve komşu yangın sahalarının bulunması gibi nedenler sebep olmaktadır (Banerjee 1985).*

### **Nem**

Yüksek nem kendiliğinden kızışmayı kolaylaştırır. Ancak, son derece ıslak olan veya aşırı rutubetli damarlar (damar yüzeyinden sürekli olarak akan veya sızan suların bulunması gibi), nemli damarlardan daha güvenlidir (Banerjee, 1985). Gaz Yayılımı Yüksek orandaki gaz yayılımı, göçüklerdeki veya eski üretim alanlarındaki oksijen yüzdesini azalttığı için (metan ile havanın yer değiştirmesi nedeniyle) yangın oluşmasını engelleyebilir (Banerjee 1985).

### **Gaz Yayılımı**

Yüksek orandaki gaz yayılımı, göçüklerdeki veya eski üretim alanlarındaki oksijen yüzdesini azalttığı için (metan ile havanın yer değiştirmesi nedeniyle) yangın oluşmasını engelleyebilir (Banerjee 1985).

## BÖLÜM 3

# KENDİLİĞİNDEN YANMA OLAYLARININ ÖNLENMESİNE YÖNELİK ÇALIŞMALAR

Hazırlayanlar  
Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan KAYMAKÇI  
Prof. Dr. Hamit AYDIN  
Doç. Dr. Özgür YILMAZ  
Arş. Gör. Dr. Haşim DURU  
Arş. Gör. Dr. Utku SAKIZ

### 3.1. GİRİŞ

Kömür var olduğu ve kullanımı devam ettiği sürece önemli bir enerji kaynağıdır. Küresel olarak en önemli birincil fosil yakıtlardan biri olmaya devam etmektedir. Ne yazık ki, kömürün kendiliğinden yanması, kömürün depolanması ve taşınması süreçlerinde sıklıkla meydana gelir. Kömür yangını felaketi, can kayıplarının yanında gaz ve toz patlaması, sera ve zehirli gaz üretimi, kömür kalitesinin bozulması, kömür kaybı için termal dinamik tehlikeler oluşturur. Çin, Almanya, Amerika Birleşik Devletleri, Hindistan, Avustralya, Güney Afrika, Polonya, Çek vb. gibi kömür üreten bölge ve ülkelerde uzun süredir ciddi bir sorun olmuştur. Örneğin, Çin’de, her yıl kendiliğinden yanma nedeniyle 20 milyon tondan fazla kömür kaynağı doğrudan kendiliğinden yanma sebebiyle yanmış ve yıllık ekonomik kaybın yaklaşık 20 milyar yuan olduğu belirtilmiştir (Li vd. 2019). Almanya’da, Ruhr bölgesinde kendiliğinden yanmanın neden olduğu yılda yaklaşık on kömür yangını rapor edilmiştir. Hindistan’da, Jharia kömür sahası yangınının en ciddi olduğu kömür kendiliğinden yanma sebepli yangınlar, kömür sahası yangın felaketlerinin %75’ini oluşturmaktadır. Kendiliğinden yanma sebepli yangınlar, gizli yanma merkezli, hareketli sıcak nokta, onlarca ila yüzlerce yıl boyunca için için yanmalar olarak, söndürülmesi zor ve tekrarlama olasılığı yüksek olarak dört farklı şekilde karakterize edilebilmektedir. Bu nedenle, şimdiye kadarki tüm kendiliğinden yanma olaylarında hem yangınla mücadelede hem de atık enerji yönetiminde hala büyük bir zorluk olmaya devam etmektedir (Lu vd. 2022).

### 3.2. KENDİLİĞİNDEN YANMA İLE MÜCADELE YÖNTEMLERİ

Ocağın henüz planlandığı aşamada kendiliğinden yanma riskinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Planlama aşamasında kömür analizleri ile birlikte kömürün bünyesel yatkınlığı saptanarak buna göre üretim yöntemi belirlenmelidir. Kömür kendiliğinden yanmaya yatkınlık gösteriyorsa dönümlü ayak uygulaması seçilmelidir. Damardaki süresizlikler (fay vs) havalandırmayı etkilediğinden ocak jeolojik olarak iyi etüt edilmiş olmalıdır. Havalandırmadaki basınç farklarına neden olan kapılara ve kesitlerde yaratılan daralmalara ocaklar planlanırken özellikle dikkat edilmeli ve bu sonuçları doğuracak bir tasarım tercih edilmemelidir. Hava basınç farkına neden olma riskinden ötürü hava kapılarının minimum düzeyde kullanılması gerekmektedir. Az miktarda da olsa aldığı hava nedeniyle kızışmayı artırarak kendiliğinden yanmayı sebebiyet verme potansiyeline sahip olan göçük arkasındaki kömürün en az miktarda tutulması büyük önem taşımaktadır. Bu bölgeye havanın ulaşmaması için dolgu malzemeleri kullanılarak kapatılması gerekmektedir. Mekanize kazıdan kaynaklanan yüksek oranda kömür tozu, çalışma ortamında öngörülmesi mümkün olmayan patlamalara neden olabilir. Yanıcı maddeler, oksijen ve sıcaklığın birlikteliğinden meydana gelen yangını önleyebilmek için bu üç etkenden en az birinin deplase edilmesi zorunludur. Yangın küçük bir bölgede meydana gelmişse daha fazla büyümesine olanak vermeden kömür o alandan uzaklaştırılıp yanan kömür ve çevresine su ve köpük ile soğutma işlemi uygulanmalıdır. Oksidasyon güçlendikten sonra sıcaklığın uzaklaştırılması mümkün değildir. Havanın ortamdaki uzaklaştırılması işleminde ise yanıcı yüzey su ve ısıya dayanıklı, patlama dayanımı yüksek ve kolay uygulanabilir kaplama malzemeleriyle kapatılabilir. Yanan bölgede önemli teçhizatlar yok ise bölgeye su basılarak yangın önlenir. Yanan bölgede önemli teçhizat kalmışsa yangının olduğu bölgeye inert gazları enjekte ederek oksijen derişimi düşürülebilir. Eğer yanma önlenememiş ve boyutu büyük ise yalıtımına dikkat edilerek barajlama işlemi yapılır (Ilıca 2020).

Bir kendiliğinden yanma riski belirlendiğinde çalışanların derhal ocak dışına çıkartılıp, uygun donanımlara sahip kurtarma ekiplerinin olay yerine gönderilmesi gerekir. Ancak, çevre kayaçlardan yayılan aşırı ısı, tahkimatın yanması veya tavan tabakalarının kızışmasından dolayı göçmesi durumlarında, yangın bölgesine bu ekiplerin dahi gönderilmesi tehlikeli olabilir (Saraç 1992).

Kendiliğinden yanma ile mücadelede uygulanacak temel strateji yangının ulaştığı aşamalara göre şöyle sıralayabiliriz:

- Kızıışmanın oluşumunu olabildiğince engellemek,
- Önlenemeyen kızıışmaları olabildiğince en erken aşamada saptamak,
- Saptanan kızıışmalara olabildiğince en kısa sürede, kızıışma bölgesel boyutta iken müdahale etmek,
- Yangın büyük maddi kayıplar getirirse dahi, önce can güvenliğini düşünmek,
- Tam donanımlı tahlisiye istasyonlarını ve ekiplerini her an yangın çıkacakmış gibi göreve hazır tutmak,
- Bölgesel yangınla mücadele tekniklerinin başarılı olmaması ve yangının ilerlemesi durumunda, panoyu barajlayarak bölgeyi izole etmek
- Baraj gerisi atmosferini gözleyerek, barajlanmış yangının gelişimini izlemek.

Bu temel strateji çerçevesinde, kendiliğinden yanma olayı ile mücadelede en önemli görev maden mühendislerine düşmektedir. Ocak idaresinin daha ocak planlama aşamasından başlayarak, gereğini yerine getirmesi yaşamsal önem taşıyan pek çok yükümlülüğü bulunmaktadır. Kömürün kendiliğinden yanmasına yönelik önleme çalışmaları başlıca üç başlık altında toplanmaktadır.

1. Planlama Sırasında Yapılabilecek Çalışmalar
2. Üretim Sırasında Alınan Önlemler
3. Kendiliğinden Yanmanın Başlamasından Sonra Uygulanacak Yöntemler

### **3.3. PLANLAMA SIRASINDA YAPILABİLECEK ÇALIŞMALAR**

Bir damarda üretime geçmeden önce damardan uygun şekilde numuneler alınarak damarın kendiliğinden yanma özelliklerinin araştırılması gerekir. Fiziksel, kimyasal ve petrografik analizler yapıldıktan sonra, bu örnekler üzerinde yürütülen laboratuvar çalışmaları, damarın oksidasyon davranışlarını ortaya koyar, uygulanacak üretim ve kazı sisteminin seçiminde ve alınacak önlemlerin belirlenmesinde temel verileri sağlar. Damarda daha önce başka panolar işletilmişse veya çevrede daha önce çalışılmış eski üretim yerleri varsa, buradaki çalışmalar sırasında edinilen deneyimler mutlaka göz önünde tutulmalıdır. En güvenilir verilerin uygulama sonuçları olduğu unutulmamalıdır. Damar özellikleri ve çevre koşulları değerlendirilerek çalışılacak damarın risk indeksi belirlenmelidir. Hesaplanan indeks değeri, kendiliğinden yanmaya yakınlıkta yüksek veya orta değeri işaret ediyorsa, kızıışmaya karşı üst düzey önlemler alınmalıdır (Saraç 1992).

Uygulanacak kazı ve üretim yöntemi, projelendirme aşamasında veriler göz önünde tutularak seçilmelidir. Yangına yatkın damarlarda:

- Uzun ayak yöntemi uygulanacaksa mutlaka dönümlü ve dolgulu çalışma düzeni tercih edilmelidir. Böylece kaçaklar minimize edilebilir ve havalandırma randımanı yüksek tutulabilir.
- Üretim boşluklarının rambale malzemesi ile doldurularak tavanın kontrol edilmesi, kızıışmaya uygun ortamların yok edilmesinde çok etkin bir yoldur. Özellikle hidrolik ve pnömatik dolgu gibi randımanı oldukça yüksek olan rambale yöntemlerinde tavan kontrollü bir şekilde oturmakta, tavan çatlakları minimum düzeyde kalmaktadır. Ayak arkası boşlukları da büyük oranda doldurulduğundan, hava kaçakları en aza indirilmekte, kızıışma için en uygun ortamı oluşturan ayak arkası göçüğü tehlike olmaktan çıkmaktadır.



- Ayak arkasının tamamen doldurulmasının maliyetleri çok yükseltmesi durumunda, taban yolu kenarları şerit dolgu yapılabilir. Uygulamada bu yöntem ile büyük başarılar elde edilmiştir.
- Ayak boyu ve ilerleme hızının seçiminde kızışma tehlikesi mutlaka göz önünde tutulmalıdır. Kızışma zamanla gelişen bir olaydır. Bu nedenle ayak uzunluğu az, ilerleme hızı yüksek olan ayaklar oluşturulmalıdır. Arının hızlı ilerletilmesi durumunda bir bölgedeki oksidasyon kızışmaya dönüşmeden çok gerilerde kalır. Oksijen gelirinin kesilmesi ile de yangın boğulur. İlerleme hızının yüksek tutulabilmesi, ayak uzunluğunun kısa olmasını, mekanize kazı veya tahkimat araçlarının kullanılmasını gerektirir.
- Mekanize kazı araçlarının kullanımı ise, kömürün daha çok ufalanmasına ve parça boyutunun küçülmesine neden olur. İnce parça oluşumunu olabildiğince düşük tutacak bir matkap düzeni seçilmelidir.
- Kalın damarlarda kızışmaya yatkın kısımlar daha önce kazılmalı, üretim kayıpları çok az olan bir üretim yöntemi seçilmelidir. Üretim kayıpları yüksek olan blok göçertme yöntemlerinden kaçınılmalıdır.
- Ocak havasının sürekli denetiminde kullanılacak donanım için gerekli yatırımlar yapılmalıdır.
- Havalandırma şebekesinin tasarımında yangın tehlikesi mutlaka gözönünde tutulmalı, olabildiğince birbirinden bağımsız devreler oluşturulmalıdır (Saraç 1992).
- Topuklarda mukavemet hesabı ve oluşabilecek çatlaklardaki kendiliğinden yanma ihtimaline karşı periyodik kontrol yapılmalıdır.

### 3.4. ÜRETİM SIRASINDA ALINAN ÖNLEMLER

Kendiliğinden yanmayı erken tespit ederek önlem alabilmek amacıyla üretim esnasında düzenli olarak hava numuneleri alınmalı ve izleme yapılmalıdır. Bir yeraltı kömür ocağının saha koşullarına bağlı olarak, numune alma yerleri ve sıklığı belirlenmeli ve gerektiğinde değiştirilmelidir. Gaz yönetiminin ayrılmaz bir parçası olarak gaz izleme, potansiyel ısınma göstergesinde vazgeçilmez bir rol oynar. Avustralya’da, normal gaz arka planının oluşturulmasına ve normal değerden herhangi bir değişiklik olduğunda anında uyarı verilmesine yardımcı olmak için gerçek zamanlı sensörler, tüp demeti sistemi, kişisel taşınabilir sensörler ve periyodik torba numuneleri dahil olmak üzere entegre bir gaz izleme sistemi yaygın olarak uygulanmaktadır ki bu durum, kendiliğinden yanmanın erken tespitine ve dolayısıyla önlenmesine yardımcı olabilir.

Bu amaçla kullanılan ve farklı gazları sürekli olarak izleyebilen farklı tipte sensörler vardır. Özel gereksinimlere bağlı olarak, bazı sensörler dört tipik gazı algılayabilir: CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>; diğer sensörler ise CO veya CH<sub>4</sub> gibi tek bir belirli gazın algılanmasına hizmet eder. Birçok kömür madeninde sensörler CO ve CH<sub>4</sub>’ü aynı anda algılayabilir. Bu sensörler, stratejik konumlardaki farklı tipteki gazların gerçek zamanlı ve sürekli bir şekilde izlenmesini sağlasa da, sınırlı gaz algılama aralığı ve hizmet ömrü, sensör bakımı ve ayarı, oksijen için uygun olmaması gibi bazı dezavantajlara sahiptir.

Tüp demeti (TD) sistemi, plastik tüpler aracılığıyla birden fazla yeraltı konumundan numuneleri sürekli olarak çekebilir ve bunları sırayla analiz edebilir. Sistemin analiz edebildiği tipik gazlar CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ve CH<sub>4</sub>’tür. Yeraltı TD tüp demeti lokasyonlarından gaz örnekleri, (Gaz Kromatografı (GC) ile karakteristik gazların daha hassas analizi için) özel gaz torbaları kullanılarak toplanabilir. TD sistemi, karakteristik gazların uzun vadeli eğilimi, geniş gaz algılama aralığı, kolay bakımı, uzun hizmet ömrü ve bir patlamadan sonra hala çalışabilir olması gibi büyük avantajlara sahiptir. Bununla birlikte, esas olarak yeraltı TD lokasyonlarından yüzey TD merkezine olan mesafeye bağlı olarak zaman gecikmesi, tüp tıkanması veya sızıntısını önlemek için düzenli TD denetimi ve bakımı ve her bir TD konumu arasında sonuç analizi döngüsü gibi bazı dezavantajlarla karşı karşıyadır.

Avustralya yeraltı kömür madenlerinde, hem gerçek zamanlı sensör sistemi hem de TD sistemi, normal olarak, belirli izleme konumlarında gaz konsantrasyonunu ve oranlarını görüntüleyebilen “Safegas” (Martin ve Clough 2021) adlı bir yazılım sistemine dâhil edilmekte olup tetikleyici gaz seviyelerine ulaşıldığında uyarı vermektedir. İzleme verileri ve uyarılar, TD’nin uzaktaki merkezi kontrol odasında da eş zamanlı analiz edilebilir, böylece anormal durumlar görevliler tarafından zamanında fark edilebilmekte ve önlem alınabilmektedir.

El tipi portatif gaz monitörleri de yeraltı kömür madenlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeraltı işleri yaparken, kömür işçileri, ilgili alanlarda gaz seviyelerinin ayrıntılı bir şekilde izlenmesini sağlayan bir el tipi gaz monitörü ile donatılmıştır. Ayrıca, bu portatif gaz monitörü, yeraltı madencilerini, mühürlere veya duraklara yakın alanlar gibi riskli alanlardaki potansiyel yüksek gaz seviyelerinden korumaya yardımcı olmaktadır.

GC kullanılarak gaz bileşimini daha fazla analiz etmek için ilgili alanlarda rutin olarak gaz örnekleri alınmaktadır. GC, metan ( $C_2H_4$ ), etan ( $C_2H_6$ ), asetilen ( $C_2H_2$ ) ve hidrojen ( $H_2$ ) gibi dört tipik gaz dışında çok çeşitli gazları doğru bir şekilde tespit edebilmektedir. Bu nedenle, operatörlerin GC kontrolü ve veri analizi konusunda iyi bir kavrayışa sahip olmaları gerekmektedir.

Yukarıdaki gaz örnekleme ve izleme tekniklerine ek olarak, belirli bir yerdeki hava akış oranlarını kaydetmek için kritik yeraltı konumlarına hava hızı izleme sensörleri kurulmaktadır. Spesifik sahaya bağlı olarak, hava akış hızı buna göre düzenlenmeli ve kontrol edilmelidir (Qiao vd. 2022).

### **Erken Tespit:**

Kömürün kendiliğinden yanma riskinin bulunduğu işletmeler, kurulacak olan merkezi izleme sistemiyle entegre çalışacak olan sensör sayıları belirlenirken dikkate alınmalıdır. Bu sistemin dışında kömürün risk taşıyan yerlerde sıcaklık ve gaz ölçümleri gerçekleştirilerek ortaya çıkarılan sonuçlar, MİS verileriyle mukayese edilmelidir (Yılmaz 2016).

### **Göçükte Kömür Bırakmamak:**

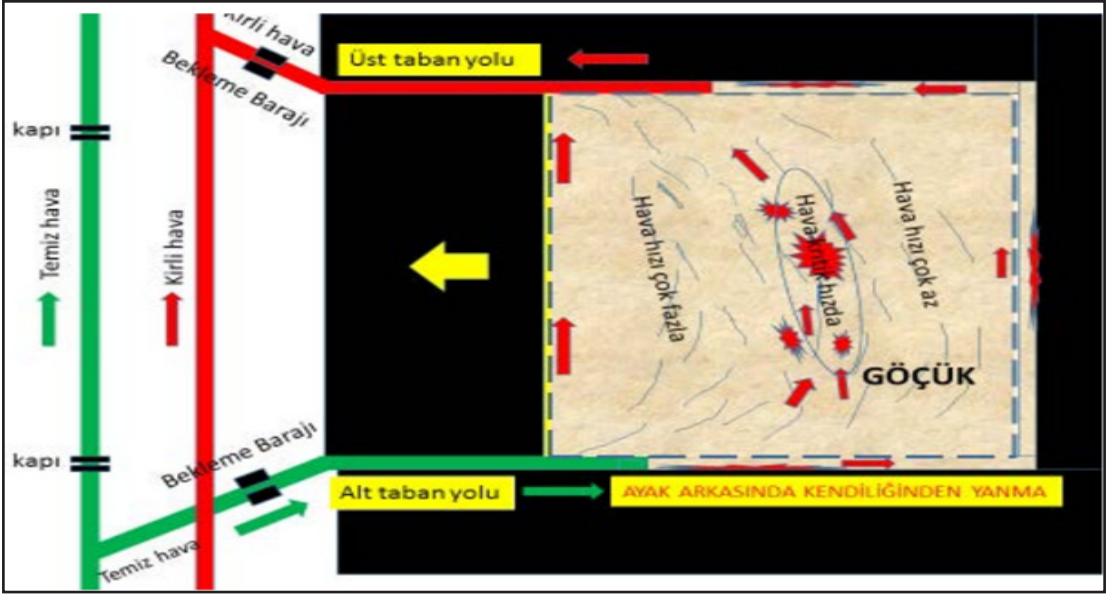
Ayak arkasındaki kızışmanın, buralarda kalan kömürlerden kaynaklandığı bilinmektedir. Kömür üretim esnasında en fazla şekilde ayak arkasında, göçükte, fay ve kırılma zonlarının olduğu yerlerde ve ayrıca damarın fazla kalınlaşma yaptığı yerlerde bırakılmaktadır. Bu şartlar altında kalındığında bütün tedbirlerin alınması önem arz etmektedir. Dolayısıyla madencilik tekniği ve işletme koşulları dikkate alınmalı ve ayak arkasında yani göçükte mümkün olduğunca kömür bırakılmamalıdır (Dünder vd. 1977).

### **Ayak İlerleme Hızını Optimize Etmek:**

Kömürün kendiliğinden yanmasını önlemek veya etkisinden uzaklaşmak için çalışılan bölgedeki kömüre ait önceki yıllarda yapılan tüm madencilik faaliyetlerinden elde edilen veriler dikkate alınmalı ve ayak ilerleme hızının en uygun şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayak ilerleme hızının düşük ve göçükte kalan kömürün fazla olması kömürün kendiliğinden yanmasını kolaylaştıracak ve bunun sonucunda ortama dolacak gazların etki sahası içerisinde kalınması söz konusu olacaktır (Yılmaz 2016).

### **Hava Denetimleri Yapmak**

Bir ocağın havalandırılmasında özellikle kesit daralmalarının ve havalandırma kapılarının bulunduğu yerler direnç değişimlerine yol açtığı için çok dikkatli olunmalıdır (Kara 2015). Bu yüksek basınç farkları; eski imalatlara, göçüklere, çatlaklara giderek hava kaçacağını artırır. Böylece de havanın bu çatlaklardan diğer çevre katmanlarına kaçak yapması, çeşitli kızışmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle eski çalışılan ve kapatılan alanlara (eski imalatlar) yakın yerlerde, topuklarda ve kömür içerisinde sürülmüş galerilerde çalışılırken hava basıncının artmasına neden olacak tüm durumlardan kaçınılmalıdır. Bu tür yerlerde hazırlık çalışmaları yapılırken kayaç yapısına uygun patlatma metodu oluşturulmalıdır. Patlatma tavan, taban ve yan duvarların örselenmesini önleyecek bir durumda yapılmalı ve bu sayede havalandırmada meydana gelecek gereksiz direnç oluşumları önlenmelidir. Şekil 3.1'de ayak arkasındaki bir yangın oluşumu şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Ayak arkasında kömürün kendiliğinden yanması (Kara, 2015)

#### **Kalın Damarlarda Alınan Önlemler:**

Kalın damarlarda ayak arkasında kömür bırakılmamasına dikkat edilmelidir. Tavan taşı bünyesinde yer alan ince damarlar ayrıca kömür ve yan kayaçlardaki faylanmalar sebebiyle oluşan kırık zonlar, risk oluşturmaktadır. Kalın damarlarda uygulanan katlı-dilimli üretim yöntemlerinde, üretim sonrası kömür parçalarının göçükte kalması son derece tehlikelidir. Bu tür çalışmalarda, bir alt dilim çalışması dizayn edilirken, üst katta bırakılması ihtimali olan kömürlerin kendiliğinden yanma süresinden önce kazı hızı ayarlanarak tamamlanması olası yangını büyük ölçüde önlemiş olacaktır (Ökten vd. 1998, Yılmaz 2016).

#### **Tasman Etkisi:**

Yılmaz (2016) çalışmasında, tasman nedeniyle meydana gelen ve yeryüzüne kadar ulaşan çatlakların, havalandırma hesaplarını bozarak kendiliğinden yanmaya neden olduğunu belirtmektedir. Ocağa giren ve çıkan hava miktarı, emici havalandırmada tasmandan gelen hava ile artmakta ve üfleyci havalandırmada ise ocağa basılan havanın bir kısmı yeryüzüne kaçak yapmaktadır. Tasmanlara kaçan hava ise daha üst kotlardaki önceki çalışma bölgelerinde yangına sebebiyet vermektedir. Ayrıca tasmandan gelen hava bu yangını ocaktaki mevcut çalışma alanına da taşıyabilmektedir. Bundan dolayı Yılmaz (2016) tasman etkisinin dikkate alınıp gün ve yıl bazındaki değişmelerin takip edilmesi gerektiğini ifade etmektedir.

#### **Eski İmalatlarda Alınan Önlemler:**

Çalışması biten ve kömürü alınan yerler hava ve insan girişini önleyecek şekilde kapatılmalıdır.

#### **Topuk Kontrolü Yapmak**

Ökten vd. (1998), Yılmaz (2016) çalışmalarında; "Topuklarda meydana gelecek çatlaklar oksijeni topuğun iç kısımlarına taşıyacağından işletme şartları gereği bırakılacak topuğun mukavemet hesabının iyi yapılması gerekmektedir. Topuğun yeterinden az bırakılması fazla çatlaklara veya serbest yüzey oluşumuna ve oksijenin topuğun iç kısımlarına ulaşmasına neden olur. Bu nedenle ocakta bulunan mevcut topuklardaki çatlaklar kendiliğinden yanma ihtimaline karşı periyodik olarak kontrol edilmelidir (CO ve ısı ölçümü topuklarda periyodik olarak yapılarak kayıt altına alınmalıdır)" diye ifade etmektedirler.

### **Baraj ve Kapı Malzemesi Bulundurulması:**

Yine Yılmaz (2016) çalışmasında; “Yeraltında olabilecek kendiliğinden yanma olaylarına acil müdahale edebilmek için yeraltında veya yer üstünde havalandırma barajı, kapısı, perdesi yapımında kullanılacak malzeme yedek olarak bekletilmelidir ve kömür yangınlarında hava yastıklarının kullanılma imkânları araştırılmalıdır” diye bildirmektedir.

### **Tatil Dönüşünde Denetim:**

Tatil günlerini takip eden çalışma günlerinde kömürün kendiliğinden yanması hususu özellikle dikkate alınmalı ve özel olarak denetimler gerçekleştirilmelidir.

### **Merkezi İzleme Sisteminin Kullanılması:**

Uzaktan izleme ve kontrol sisteminin ana amacı “iş sağlığı ve iş güvenliği” ni arttırmaktır. Sistem birçok özellikleri sonucu iş sağlığı ve iş güvenliğini tehlikeye sokabilecek durumların önceden saptanmasına yardımcı olmakta ve verimi yükseltmektedir. Her alanda olduğu gibi madencilik alanında da teknolojik yeniliklerden yararlanmak kaçınılmaz olmaktadır. Üretim yapılan ocak sayılarının artması, yayılması ve derinleşmesi sonucunda çalışılan ortamların daha güvenilir ve sağlıklı hale getirilmesi için uzaktan izleme ve kontrol sistemlerinin kullanılarak tüm ocakların tek bir merkezden izlenmesi gerekli hale gelmiştir.

### **Dedektörcülerin Yaptığı Denetimler**

Yılmaz (2016) çalışmasında; “İş Güvenliği ve Sağlığı Başmühendisliği’ne bağlı dedektörcü unvanındaki personel ile ocağın stratejik yerlerinde; karbonmonoksit, karbondioksit, metan, oksijen, hidrojen sülfür, nem, ısı, duman, havalandırma basınçları, hızları ve yönleri gibi ihtiyaç duyulacak diğer ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Dedektörcülerin ölçümleri ile Merkezi İzleme Sisteminin ölçümleri, kömürün kendiliğinden yanmaya başladığı yerin erken tespiti, yangın süresince ve yangın sonrasındaki gaz çıkışlarının incelenmesi bakımından karşılaştırılmalıdır” diye söylemektedir.

## **3.5. KENDİLİĞİNDEN YANMANIN BAŞLAMASINDAN SONRA UYGULANACAK YÖNTEMLER**

Kendiliğinden yanma ile mücadelede temel hedef kızışmaya uygun ortamları yok ederek, kızışmanın gelişmesini önlemektir. Ancak, tüm önlemlerin alındığı düşünülen panolarda bile, beklenmedik kızışma olaylarıyla karşılaşılabilir. Bu durumda kendiliğinden yanma ile aşağıdaki doğrudan mücadele yöntemleri derhal devreye sokulmalıdır gerekir (Ökten vd. 1998).

### **Yanan Kesimi Kazarak Uzaklaştırmak:**

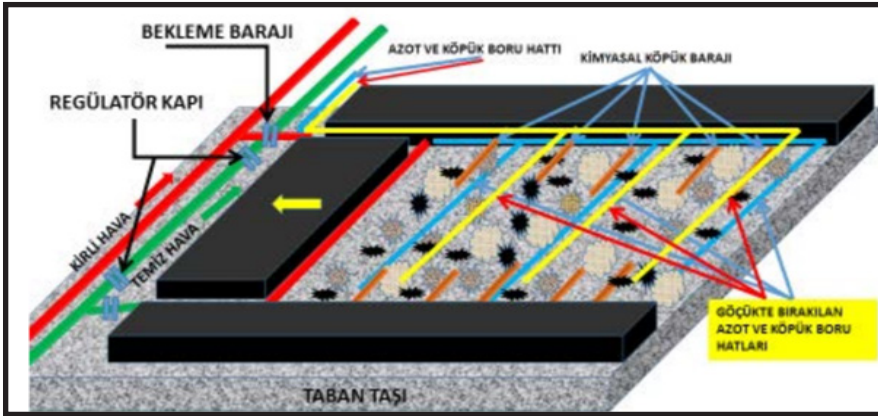
Merkezi izleme sistemi, gaz ölçümleri veya kızıl ötesi sıcaklık ölçerler ile yapılan incelemeler sonucu elde edilen bulgular değerlendirilerek, kızışma merkezi kesin olarak belirlenir. Kızışmanın merkezi ulaşılabilir bir noktada ve küçük boyutta ise kömürün kazılarak uzaklaştırılması düşünülebilir. Yangın büyük kütleleri etkilemişse veya göçük içi gibi ulaşılabilen kısımlardaysa bu yöntem uygulanamaz. Uygulama yerleri taban yolları kenarları, topuklar ve küçük boyutlu kızışmalarla sınırlıdır. Özellikle galerilerde, başlangıç aşamasındaki yangınların söndürülmesinde etkilidir. Kazım işlemine başlamadan önce bölgedeki tüm personel geri çekilir. Kızışma bölgesi ile kontrol odası arasında haberleşme sağlanır. Kazılan kömür su veya köpük ile soğutulur, üzeri taş tozu veya izole edici maddelerle kaplanarak en kısa sürede yeryüzüne taşınır. İslatma sırasında zehirleyici ve patlayıcı olan su gazı oluşumuna karşı dikkatli olunmalıdır. İşlem, tüm ısınmış malzeme kazılıncaya kadar devam ettirilmelidir. Kazılarak alınan kısım taş malzeme ile doldurulmalı, yüzeyler hava sızdırmaz şekilde sıvanmalıdır. Bu işlemler süresince ekipte görev yapan elemanların uygun solunum aletleriyle donatılmış olması gerekir (Banerjee 1985, Saraç 1992, Ökten vd. 1998, Yılmaz 2016).

### Yanan Kesimi İzole Etmek:

Saraç (1992), Ökten vd. (1998), Yılmaz (2016) çalışmalarında; “Bu yöntemde amaç, kızışan bölge civarına enjeksiyon yaparak yangının hava ile ilişkisini kesmek ve yangının boğulmasını sağlamaktır. Hava kaçaklarını kontrol altına almak da yangınla mücadelede etkili bir yöntemdir. Bu amaçla sızdırmazlık sağlayacak yüzeyin önü tahta perde ile kapatılır, arada kalan boşluk kil (bentonit), kum veya taş tozu ile doldurulur. Özellikle göçük ve çevre kayaçlara, taban yollarından açılan sondajlarla (50 mm çaplı ve 2-6 metre uzunluğunda), taş tozu, çimento veya termik santral artığı kül enjeksiyonu ile yanan kısım izole edilmeye çalışılmalıdır” diye ifade etmişlerdir.

### Yangın Sahasını Su ile Doldurmak:

Yine aynı çalışmalarında Saraç (1992), Ökten vd. (1998), Yılmaz (2016); yangın alanında önemli miktarda malzeme veya teçhizatın bulunmaması halinde bu bölümün su doldurulmak suretiyle yangının önlenebileceğini belirtmektedirler. Bu yöntem uygulandığı takdirde, saha yangın sonrasında tekrar açıldığında ocaktaki nem oranı yükselip, tekrar yanma için müsait koşullar oluşacağından dikkat elden bırakılmamalıdır. Kendiliğinden yanmaya eğilimli kalın damarlarda en alt kotta inilerek tabakaların eğimi yönünde meyil yukarı çalışılması halinde göçük kısmı alt kotta kalacağından, ocağa gelen yeraltı suları göçük kısmına yönlendirilerek, göçüğün su içerisinde kalması sağlanırsa, ayak arkasında oluşacak kendiliğinden yanma olaylarının önüne geçilebilir (Sara. 1992; Ökten 1998; Yılmaz 2016).



Şekil 3.2. Ayak arkasına inert gaz kullanımı (Kara, 2015).

### İnert Gazların Kullanılması:

Yangın bölgesine azot, karbondioksit gibi inert gazları basarak oksijen konsantrasyonu düşürülmekte ve yangın öğelerinden birine bu yöntemle müdahale edilebilmektedir. Ancak gerekli gaz miktarının fazla olması, maliyetinin yüksek olması, her yangına uygulanamaması gibi nedenler bu yöntemi sınırlamaktadır (Saraç 1992, Ökten vd. 1998, Kara 2015, Yılmaz 2016). Ayak arkasında inert gaz kullanımı Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

### Yangın Barajları Yapılması:

Diğer yöntemlerle, oluşan yangının söndürülememesi veya üretimi tamamlanan sahaların terk edilmesi durumunda bölge barajlar ile kapatılır. Yangın sahasının hava giriş ve dönüş yollarına kurulan barajlar hava kaçaklarını tamamen önleyecek nitelikte ve gaz patlamalarına karşı dayanıklı olmalıdır. Barajlama, kızışma bölgesine hava girişini önleyerek yangının uzun dönemde boğulmasını esas alan ve yangınla savaşımında ancak bölgesel tekniklerle sonuç alınmadığında uygulanan bir yöntemdir. Çünkü barajlama sonucunda terk edilen panoda önemli miktarda rezerv ve malzeme kayıpları söz konusu olur. Bu nedenle, kızışmanın erken belirlenerek barajlamaya gerek kalınmaması temel alınmalıdır.

Barajlanan pano yangın tamamen söndüğünde ve koşullar elverdiğinde bir süre sonra tekrar açılabilir. Bu işlem için baraj girişi atmosferinden belli aralıklarla hava örnekleri alıp, gaz analiz değerlerinin gelişimini gözlemek gerekir. Yangının tamamen söndüğüne karar verilip, ilgili makamlardan izin alındıktan sonra, barajlar açılarak bu panoda yeniden üretime geçilebilir. Kömür ocaklarında üretimi tamamen bitmiş panolar da, hava kaçaklarını ve burada kalmış kömür tozlarının yangına neden olmasını önlemek için benzer şekilde barajlanarak kapatılır.

Uzun ayaklarda hava giriş ve dönüş yollarında yer alan yangın barajlarının, hava kaçaklarını tamamen önleyecek kalitede ve gaz patlamalarına karşı da dayanıklı olması esastır. Baraj civarındaki formasyonlar çatlaklı, faylı veya geçirimli olmamalıdır. Gerekirse çevre formasyonlara çimento enjeksiyonu yapılmalı veya bölge tamamen beton kemere alınmalıdır. Gaz ölçümlerini yapmak üzere barajların içine boru bırakılmalı, deveboynu kurularak baraj arkasında biriken suyun tahliyesi sağlanmalıdır. Ayrıca barajlar su patlamalarına dayanıklı şekilde tasarlanmalıdır. Baraj yapımında kullanılacak yapı malzemeleri kolay temin edilmeli ve baraj yerinde her an kullanılmaya hazır durumda bulundurulmalıdır. Panonun kapatılmasına karar verildikten sonra barajların olabilen en kısa sürede kapatılması yangın bölgesinde oluşabilecek gaz patlamalarının önlenmesi, baraj yapım ekibinin güvenliğinin sağlanması ve yangının kısa sürede söndürülebilmesi açısından çok önemlidir (Saraç 1992, Ökten vd. 1998, Kara 2015, Yılmaz 2016).

### **Basınç Dengeleme Yöntemlerinin Uygulanması:**

İlerlemiş kızışmalarla savaşımında temel strateji yangın bölgesine gelen hava akımını kontrol etmektir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden birisi pano hava giriş ve çıkış yollarında barajlar yapmak, diğeri ise hava kaçak yollarının girişi ve çıkışı arasındaki hava basıncı farklılığını azaltmaktır. Barajlama klasik bir yöntem olup, yaygın olarak kullanılır. Ancak barajlar tam anlamıyla hava sızdırmaz değildir. Özellikle yüksek basınç farklarının olması durumunda, baraj bünyesinden veya çevre kayaçlardan önemli miktarda hava kaçak yapar. Bu nedenle, barajlama yapıldığında barajlar arasındaki basınç farklılığını minimize etmek gerekir. Bu işlem basınç dengeleme olarak bilinir. Yangınla savaşımında en iyi sonuç, basınç dengeleme yöntemiyle desteklenmiş, yüksek kaliteli barajlarla alınır (Saraç 1992).

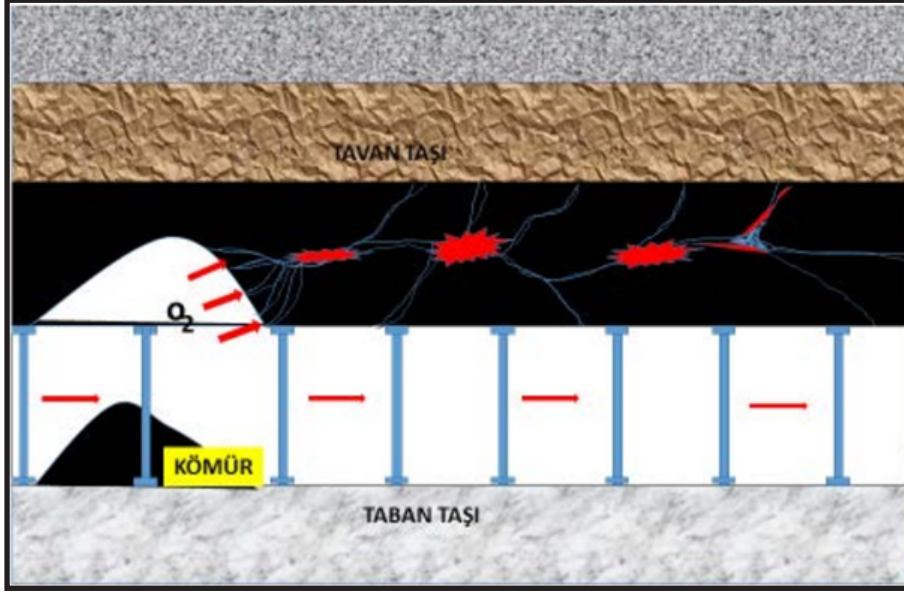
Kaçak hava miktarı, kaçak yollarının giriş ve çıkışları arasındaki basınç farkıyla orantılı olarak artar. Ayrıca, çok yüksek basınç farkları büyük tehlikeler doğurabilen baraj patlamalarına da yol açabilir. Bu basınç farklılığını dengelemek için:

**1)Basınç odaları oluşturulabilir:** Bir bölgede kızışma belirlendiğinde vakit geçirmeden hava giriş ve çıkış yolları klasik barajlama tekniği ile barajlanır. Barajın 3-6 metre önünde ek bir duvar örülerek baraj ve duvar arasında bir oda oluşturulur.

**2)Havalandırma sistemlerinde düzenlemeler yapılabilir:** Barajlar arasındaki basınç farklılığı havalandırma sisteminde değişiklikler yaparak da dengelenebilir. Yangın bölgesine giden hava yollarındaki bazı kapıların kaldırılması veya kesitlerinin ayarlanması yoluyla hava basınçları değiştirilebilir. Olanak varsa iki tabanyolu bir bağlantı galerisi ile birleştirilerek, burası basınç dengeleme yolu olarak kullanılabilir. Bu işlemler, hava basıncı sık sık ölçülerek kontrollü bir biçimde yürütülür. Barajlardaki hava kaçak yollarının giriş ve çıkış uçları arasındaki basınç farkını azaltmanın bir başka yolu, yardımcı vantilatör kullanmaktır.

### Taban Yollarının Sıvanması:

Göçük içinde kızışma belirlendiğinde veya yangına yatkın damarlarda çalışılırken önceden taban yollarının sıvanması, göçük içine olan hava kaçaklarını önleyerek yangınla mücadelede etkin bir önlem oluşturur (Kara 2015). Bu yöntemde taban yolları göçük tarafında damar yüksekliğini aşacak şekilde tabandan itibaren püskürtme yöntemi ile sıvanmalıdır. Taban yolu tahkimat bağlarının iç kısmına ikinci bir dizi bağ atarak arasının çimentolanması da çok etkin bir önlemdir. Sıva malzemeleri geçirgenliği çok düşük olan ve yanıcı olmayan yapı malzemelerinden seçilmelidir. En yaygın olarak kullanılan sıva malzemeleri çimento ve jipstir (Şekil 3.3.).yolu tahkimat bağlarının iç kısmına ikinci bir dizi bağ atarak arasının çimentolanması da çok etkin bir önlemdir. Sıva malzemeleri geçirgenliği çok düşük olan ve yanıcı olmayan yapı malzemelerinden seçilmelidir.



Şekil 3.3. Taban yolunun sıvanması (Kara,2015).

## BÖLÜM 4 KENDİLİĞİNDEN YANMANIN ERKEN TESPİTİ

Hazırlayanlar  
Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan KAYMAKÇI  
Prof. Dr. İhsan TOROĞLU  
Doç. Dr. Serdar YILMAZ

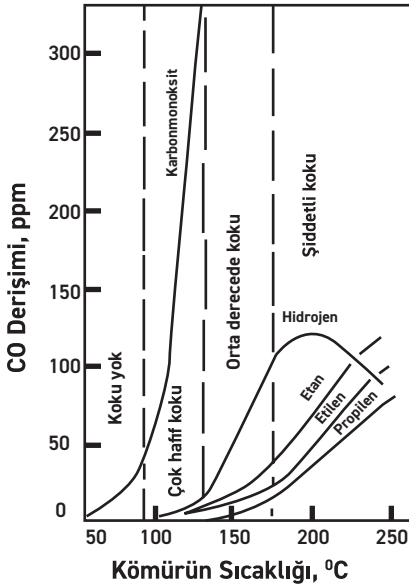
### 4.1. GİRİŞ

Kömürün otooksidasyonu sonucu meydana gelen kızışma olaylarının mümkün olduğunca erken belirlenmesi, ortaya çıkabilecek zararları en alt düzeyde tutabilmek açısından önemlidir. Sıcaklık arttıkça oksidasyon ve gaz çıkışı hızlanmakta bununla birlikte olayın ileri aşamalarında sorunlar ağırlaşmaktadır. Bu nedenle olayın erken tespiti ve gelişmesini sınırlandırmak için gerekli tedbirlerin alınması önem taşır. Bu amaca yönelik izleme ve değerlendirme çalışmalarında esas alınan ölçütler, üç ana başlıkta toplanabilir.

- Koku
- Sıcaklık artışı
- Yanma Gazları

### 4.2. KOKU

Oksidasyonun başlangıcından itibaren ilk yangın izlerinin duyu organları tarafından hissedilmesi birkaç saat veya haftalarca sürebilmektedir. Bu süreye inkubasyon (kuluçka) periyodu adı verilmektedir. Terleme ile inkubasyon periyodu başlar. Terlemeden sonra karbonmonoksit ve karbondioksit oluşumu artar ve petrolümsü bir koku hissedilir. Koku bu olgunlaşma zamanının başladığını ve kısa sürede yangın meydana gelebileceğini simgelemektedir. Ancak yangın kokusunu veren etilen ve propilen gazlarının oluşumu 150 °C civarındaki sıcaklıklarda gerçekleştiğinden, koku algılandığı zaman, yangınla mücadele açısından geç kalınmış olmaktadır. Pek çok ocakta yangın kokusunun fark edilmesi sonucunda yangınla mücadelede başarı elde edilmişse de yöntem önemli sakıncalar içermektedir. Koku keskinliğinin sıcaklığı artışına bağlı olarak değişimi Şekil 4.1'de verilmiştir (Saraç 1992, Ökten vd. 1998).



Şekil 4.1. Orta uçuculu bitümlü kömürde açığa çıkan gazlar ile kokunun sıcaklığa bağlı değişimi (Ökten vd. 1998).



### 4.3. SICAKLIK ARTIŞI

Saraç (1992) konu ile ilgili olarak; "Oksidasyon ekzotermik bir reaksiyondur. Bu nedenle kızışmanın en belirgin göstergesi sıcaklık artışıdır. Ancak sıcaklıktaki ilk değişimler kızışan ortam çevresi ile sınırlı kalmakta, havalandırma havasındaki sıcaklık artışları çok daha ileri aşamalarda gözlenebilmektedir. Ayrıca kızışmanın ilk aşamalarındaki sıcaklık artışları kolayca seyreltilmekte, ısıl sensörler etkilenen alana çok yakın yerleştirilmedikçe, sıcaklıkta kayda değer değişimler fark edilememektedir. Yangına karşı erken uyarı sistemlerinde kullanılan sensör tiplerinden birisi ocak havasındaki sıcaklık değişimini esas alan sensörlerdir. Ancak sıcaklık artışının etkili bir şekilde izlenebilmesi için çok sayıda sensörün ocak boyunca ve özellikle şüpheli bölgelere çok yakın yerlere yerleştirilmesi gerektiğini" vurgulamaktadır.

### 4.4. YANMA GAZLARI

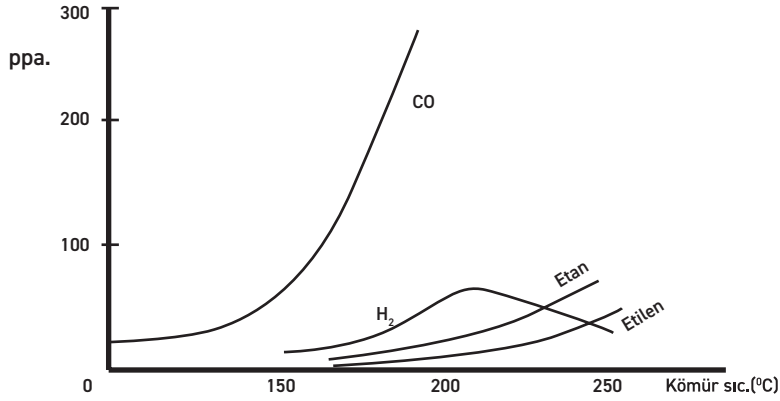
Kömürün kendiliğinden yanma mekanizmasını açıklamaya yönelik laboratuvar araştırmaları düşük sıcaklıklardan itibaren, oksidasyonun her aşamasında çok çeşitli gazların ortaya çıktığını göstermiştir. Kömürün karmaşık yapısı ve kızışma olayını etkileyen faktörlerin çok fazla olması gibi nedenlerle oluşan zincirleme tepkimeler sırasında açığa çıkan gazlar için genel kapsamlı formüller vermek mümkün değildir. Ancak düşük sıcaklıklardan başlayarak olayın farklı aşamalarında çeşitli gazların açığa çıktığı bilinmektedir. En erken oluşan gaz karbonmonoksit olup 30-40 °C sıcaklıklarda dahi ölçülebilmektedir. Bu değer hidrojen için 80-100 °C propilen gazı için ise 150 °C civarındadır (Saraç 1992, Ökten vd. 1998).

Ayrıca Chakravorty ve Feng (1978), Saraç (1992) çalışmalarında; "Kanada kömürleri üzerinde yapılan dinamik oksidasyon deneyleri sonucunda kızışma süresince, karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen, metan, etan, propan, propilen, bütan ve izobütan gazları gözlenmektedir. Karbonmonoksit oluşumu kızışmanın ilk aşamalarında başlamakta, sıcaklıkla çok hızlı bir artış trendi göstermektedir. Hidrojen gazı 85 °C derece civarında gözlenmeye başlanmakta, 150 °C'den sonra artış hızı yükselmekte, 200 °C de en yüksek değeri aldıktan sonra düşme eğilimi göstermektedir" demişlerdir. Etan ve Etilen 150 °C civarında çıkmaya başlamakta, daha sonra giderek artış göstermektedir. Sıcaklığın artışı ile çıkan gazlar Çizelge 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Karbonmonoksit, hidrojen, etilen ve propilen gazları "dedektör gazlar" olarak isimlendirilir. Dedektör gazlar içinde kızışmanın gelişimi en iyi karbonmonoksit ile izlenebilmektedir

Saraç (1992) ise "Pek çok yangın gazı arasından kızışmanın erken belirlenmesinde parametre olarak kullanılabilir özelliklere sahip gibi görünen ve aşağıda verilen birkaç gazın bir kez daha ele alınması yararlı olacaktır" diye belirtmiştir.

Çizelge 4.1. Yanma Gazlarının Sıcaklıkla Değişimi (Chakravorty ve Feng 1978).

Kömür Sıcaklığı (°C)	Karbondioksit (%)	Oksijen (%)	Karbonmonoksit (%)	Hidrojen (%)	Etilen (%)	Propilen (%)
20	0.025	20.8	0.0010	0	0	0
40	0.020	20.7	0.0010	0	0	0
74	0.030	20.6	0.0012	0	0	0
110	0.046	20.1	0.0022	0.0003	0	0
160	0.420	17.3	0.0075	0.0017	0.0003	0.0010
200	1.900	15.2	0.0530	0.0066	0.0014	0.0023
246	3.600	10.8	1.6850	0.0004	0.0045	0.0030



Şekil 4.2. Yanma gazlarının sıcaklıkla değişimi (Chakravorty ve Feng, 1978).

#### 4.4.1. Hidrojen

Bu konuda Saraç (1992), "Hidrojen gazı 80-100 °C civarında gözlenmeye başlamakta, 220 °C ye kadar çıkışı hızlı bir şekilde artmaktadır. Bu eğilim, hidrojen gazının yangın parametresi olarak kullanılabilceği izlenimini yaratmakla birlikte, 220 °C den sonra hidrojen üretiminin düşüşe geçmesi bu fikri geçersiz kılmaktadır. Yüksek sıcaklıklardaki bu düşüş, sıcaklığın artmasıyla oksijen oranının azalması, düşük oksijen seviyelerinde karbon-oksijen reaksiyonunun öncelik alması ile açıklanmaktadır" diye ifade etmektedir.

#### 4.4.2. Etilen ve Propilen

Saraç (1992) yine aynı çalışmasında, "Bu gazlar 150 °C civarında birlikte oluşmakta, sıcaklık artışı ile kararlı bir şekilde artış eğilimi göstermektedirler. Bu özelliklerinden dolayı kızıışmanın belirlenmesinde bazı araştırmacılar tarafından bu gazlar önerilmektedir. Ancak, sadece yangın ürünü olmayıp kömürün doğal gazlarından olmaları, pratikte ölçümlerinin güç oluşu, erken uyarı sistemlerine uygun olmayışları, karbonmonoksit ile kıyaslandıklarında yangının çok daha sonraki aşamalarında oluşup, artış hızlarının çok yavaş oluşu bu önerilerin pratikte fazla kabul görmemesine neden olmuştur" demektedir.

#### 4.4.3. Karbondioksit

Kendiliğinden kızıışma olayında çok düşük sıcaklıklarda dahi karbondioksit çıkmakta ve zincirin her aşamasında oluşumu sürmektedir. Ancak sıcaklıkla kararlı bir artış göstermemesi ve kendiliğinden yanma dışında pek çok kaynaktan karbondioksit geliri olabilmemesinden dolayı bu gaz tek başına yangın göstergesi olarak kullanılamaz. Bununla birlikte diğer gazlarla beraber göz önüne alındığı bazı yangın indeksleri faydalı sonuçlar vermiştir (Saraç 1992).

#### 4.4.4. Karbonmonoksit

Yangın gazları arasında yangının gelişimini en iyi ifade eden ve kızıışmayı en erken işaret eden gazın karbonmonoksit olduğu gerek literatürde gerekse madencilik pratiğinde genel kabul görmektedir. Günümüz yeraltı kömür madenciliğinde, manuel ölçüm yoluyla veya sürekli izleme teknikleriyle yangının haber alınmasında parametre olarak bu gaz kullanılmaktadır. Diğer yangın ürünleri ile karşılaştırıldığında, karbonmonoksite üstünlük kazandıran unsurlar şöyle sıralanabilir (Saraç 1992).

- Kızıışma olayında en erken oluşan gaz karbonmonoksittir. 30°C gibi çok düşük sıcaklıklarda dahi gözlenebilmektedir.
- Sıcaklık artışı ile en hızlı konsantrasyon artışı gösteren gaz karbonmonoksittir. Hidrojen 10 ppm'e ulaşıncaya kadar karbonmonoksit oranı çoktan 100 ppm'e ulaşmaktadır. Etilen ve propilen'in 10 ppm'e ulaştığı andaki karbonmonoksit konsantrasyonu ise 1000 ppm'lik çok yüksek değerlere çıkmaktadır.

- Kızışma süresince karbonmonoksit çıkışı kararlı bir davranış göstermekte, sıcaklıkla logaritmik olarak artmaktadır. Hidrojen gazı çıkışı 220 °C civarına kadar artan bir hızla yükselirken, bu sıcaklıktan sonra azalma eğilimi göstermektedir. Karbondioksit ise kararsız bir davranış göstermektedir.
- Gerek klasik yöntemlerle gerekse erken uyarı sistemleri ile izlenmeye çok uygundur.

Ocak havasındaki karbonmonoksit konsantrasyonunun gelişimini gözleyerek kızışmayı kontrol etmede, hava miktarındaki değişmelerin karbonmonoksit oranını değiştireceği, dolayısı ile hatalara yol açacağı düşünülebilir. Bu olasılık karbonmonoksit oranı ile birlikte, oksijen tüketimini de hesaba katan indekslerin kullanılmasıyla ortadan kaldırılmaktadır.

Sonuç olarak, yangın gazları arasında kızışmanın gelişimini en iyi ifade eden gazın karbonmonoksit olduğu açık biçimde görülmektedir. En iyi çözümün damardan alınan numunelerin kendiliğinden yanma özelliklerinin laboratuvar araştırılması ile belirlenmesi olduğu açıkça görülmektedir (Saraç 1992).

#### **4.5. ERKEN UYARIDA MERKEZİ İZLEME SİSTEMİ**

Yılmaz (2016) yaptığı çalışmada, ocak içerisindeki karbondioksit, karbonmonoksit, oksijen, metan, hidrojensülfür, nem, ısı, duman, havalandırma basınçları, hızları ve yönleri sürekli takip edilip elektronik olarak kayıt altına almak üzere ocağın stratejik yerlerine sensörler konulması gerektiğini belirtmektedir. Çalışanların tahliyesini sağlamak için otomatik alarm sistemleri kurulmalıdır. Gaz konsantrasyonlarının, karbonmonoksitin oksijene oranının, karbonmonoksitin karbondioksite oranının, gazların patlama özelliğinin, havalandırma basınç hız ve yönündeki anormal değişikliklerin merkezi izlemede kullanılan monitörler tarafından izlenebilmesi gerektiğini ifade eden Yılmaz (2016), bu ölçümler mevzuatta belirtilen değerleri aştığında kurulan alarm sistemini otomatik olarak aktif hale gelmesi gerektiğini belirtmektedir. Alarm sistemi belirlenen yerüstü noktalarında kolaylıkla fark edilebilen görülen ve işitilen sinyaller vermelidir. Merkezi izleme sistemi yapmış olduğu ölçümleri ve eğimleri kayıt etmelidir. Bu kayıtlar anlaşılır, ulaşılabilir, denetlenebilir olmalı ve muhafaza edilmelidir. Elektriğin kesilmesi halinde Merkezi İzleme Sisteminin fonksiyonlarını devam ettirebilmesi için alternatif bir akım desteği olmalı, havalandırma dursa dahi güvenli şekilde çalışmaya devam etmelidir. Merkezi izleme sisteminin sinyallerini izleyecek ve gerekli cevapları ve tepkileri anında verebilecek, özel eğitim almış Merkezi İzleme Sistemi Operatörleri yetiştirilip istihdam edilmelidir. Merkezi izlemede sensörlerin yerlerini, tiplerini bu yerlerde olan hava akım yönünü ve son değişiklikleri de gösteren güncel bir harita ve plan oluşturulmalıdır. Yerüstünde acil durumda madeni boşaltmaktan sorumlu kişi dâhil Merkezi İzleme Sistemi (MİS) Operatörlerinin ve diğer uygun personelin isimleri ile bu kişilerle iletişimi sağlayan bir liste oluşturulmalı ve güncel tutulmalıdır diye belirtmektedir.

Kendiliğinden yanmanın gelişimini en iyi ifade eden gazın karbonmonoksit olduğu ancak ocak havasındaki karbonmonoksit oranının gözlenmesinin bazı sakıncalar içerdiği bilinmektedir. Ancak karbonmonoksit konsantrasyonunun erken uyarı sistemleri ile kısa periyotlarla sürekli gözlenmesi ve sonuçların manyetik bir ortamda kaydedilmesi durumunda ateşlemelerden ve egzoz dumanlarından kaynaklanan piklerin kolayca ayırt edilebileceği bilinmektedir. Gerçekten bu sistemlerle ocak havasındaki yangın kaynaklı karbonmonoksit trendlerinin belirlenmesinde bir güçlükle karşılaşılmasında karbonmonoksit analizleri çok kısa zaman aralıklarında alındığından hava miktarındaki değişimlerin olumsuz etkisi de minimize edilebilmektedir.

Sonuç olarak; erken uyarı sisteminin kullanıldığı modern ocaklarda tek başına karbonmonoksit oranının gözlenmesi, bu verilerin bilgisayar ortamında yorumlanması, kızışmanın erken belirlenmesinde en etkili ve pratik yoldur.

## BÖLÜM 5 KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMA OLAYININ MEVZUATTAKİ YERİ

**Hazırlayanlar**  
**Prof. Dr. İhsan TOROĞLU**  
**Doç. Dr. Serdar YILMAZ**  
**(İş Güvenliği Uzmanları)**

### 5.1. GİRİŞ

Maden ocaklarında kendiliğinden yanmaya müsait damarlarda ve diğer ocak içi yangınların önlenmesi işleri mevzuatımızda ilk defa, mülga edilen Maden ve Taş Ocakları İle Açık İşletmelerde Alınacak İş Sağlığı ve Güvenliği Tedbirleri Hakkında Tüzükte (RG:22.10.1984-18553) yer almıştır. Bu Tüzüğün 186. Maddesi; “Grizulu ve yangına elverişli kömür damarlarının bulunduğu ocaklarda, tüm işçiler, çalışma süresince, yanlarında karbonmonoksit maskesi taşımak zorundadır. Alınması gerekli görülen diğer güvenlik önlemleri, Bakanlıkça bu Tüzüğün yürürlüğe girdiği tarihten başlayarak bir yıl içinde çıkarılacak yönetmelikte belirtilir” hükmü yer almaktadır. Tüzüğün yayımlanmasından yaklaşık 8 yıl sonra Bakanlık tarafından mülga (RG:25.07.1996-22707) “Grizulu ve Yangına Elverişli Ocaklarda Alınması Gerekli Tedbirler Hakkında Yönetmelik” çıkartılmıştır. Bu Yönetmelik 62 madde olup, yönetmelik hükümlerini T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı'nın yürüteceği belirtilmektedir. Yönetmeliğin amacı, grizulu ve yangına elverişli ocaklarda yapılan çalışmalar sırasında, grizu patlamaları ve ocak yangınlarının önlenmesi için gerekli olan tedbirlerin alınmasını sağlamaktır. Kapsamı ise grizulu ve yangına elverişli taşkömürü, linyit ve benzeri maden işletmelerindeki yer altı çalışmaları oluşturmaktadır. Aynı Tüzüğün 222. Maddesi “Kendiliğinden yanmaya elverişli madenlerde, fenni nezaretçi, işyerinin özelliğinin gerektirdiği güvenlik esaslarını belirleyen ayrı bir yönerge hazırlar. Bu gibi ocaklarda, ocağın, panoların hava giriş ve çıkış yollarında bekleme barajları yapılı ve bunların yerleri planlarda gösterilir” şeklinde verilmiştir. Ülkemizde o yıllarda yeraltı kömür üretimi yapan TTK Genel Müdürlüğü mülga 'Kendiliğinden Yanmaya Müsait Damarlarda Ocak Yangınlarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Hakkında Yönerge' hazırlamıştır. Maden ocaklarında kendiliğinden yanmaya müsait damarlarda ve diğer ocak içi yangınların önlenmesi işlerinin Maden ve Taş Ocakları İle Açık İşletmelerde Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tedbirleri Hakkında Tüzüğün ilgili maddeleri ve iş bu yönerge hükümleri gereğince yapılacağı belirtilmektedir.

Bu Yönergede Zonguldak Kömür Havzasındaki Kömür Damarların sınıflandırılması, panoların hazırlanması, havalandırılması, kömür üretilmesi ve panoların kapatılması esnasında yapılacak işler ve tedbirler detaylı şekilde açıklanmıştır. Kömür damarlarının sınıflandırılması geçmişte yaşanan tecrübelerle dayanarak yapılmıştır. Yönergede kendiliğinden yanmaya müsait damarların, yangına müsaitlik derecelerine göre sınıflandırılacağı ifade edilmektedir. Pano planlamalarında bu husus göz önünde tutulmuştur (Dündar vd. 1977).

2012 yılında, ülkemizde 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu yürürlüğe girmiş ve bu Kanununun 30 uncu Maddesi, “Aşağıdaki konular ile bunlara ilişkin usul ve esaslar Bakanlıkça çıkarılacak yönetmeliklerle düzenlenir:

a) *İlgili bakanlıkların görüşü alınarak, iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması, sürdürülmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi amacıyla; işyeri bina ve eklentileri, iş ekipmanı, işin her safhasında kullanılan ve ortaya çıkan maddeler, çalışma ortam ve şartları, özel risk taşıyan iş ekipmanı ve işler ile işyerleri, özel politika gerektiren grupların çalıştırılması, işin özelliğine göre gece çalışmaları ve postalar hâlinde çalışmalar, sağlık kuralları bakımından daha az çalışması gereken işler, gebe ve emziren kadınların çalışma şartları, emzirme odaları ve çocuk bakım yurtlarının kurulması veya dışarıdan hizmet alınması ve benzeri özel düzenleme gerektirebilecek konular ve bunlara bağlı bildirim ve izinler ile bu Kanunun uygulanmasına yönelik diğer hususlar.*

d) Yapılan işin niteliği, çalışan sayısı, işyerinin büyüklüğü, kullanılan, depolanan ve üretilen maddeler, iş ekipmanı ve işyerinin konumu gibi hususlar dikkate alınarak acil durum planlarının hazırlanması, önleme, koruma, tahliye, ilk yardım ve benzeri konular ile bu konularda görevlendirilecek kişiler.” şeklinde verilmiştir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 30 uncu maddesine dayanılarak, 19 Eylül 2013 tarihli ve 28770 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği” hazırlanmıştır. Bu yönetmelikte kendiliğinden yanmaya müsait madenlerde ve ocak yangınlarını önlemeye yönelik tedbirler çeşitli başlıklar altında verilmektedir.

## **5.2 MADEN İŞYERLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÖNETMELİĞİNDE KENDİLİĞİNDEN YANMA**

Ocaklarda kendiliğinden yanma ile ilgili önlemler, 19 Eylül 2013'te 28770 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan “Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde” aşağıdaki maddelerde verildiği gibi yer almaktadır.

1)Kendiliğinden yanmaya elverişli madenlerde, bekleme barajları dâhil olmak üzere gerekli tedbirler alınır. Yangın veya sızdırmazlık bekleme barajlarını üretimi biten panoların ya da herhangi bir yangın riskine karşı asgari olarak her üretim panosunun alt taban ve üst taban yollarında kurulur, bunlar dışında kurulacak bölgeler sağlık ve güvenlik dokümanında belirlenir. Ocağın ana hava giriş ve çıkışında bir yangın tehlikesine karşı, ocağın giriş ve çıkışını tamamen kapatabilecek miktarda malzeme bulundurulur. Üretimi biten eski imalat ve panolardaki kalıcı bekleme barajları hava sızdırmaz, basınca dayanıklı ve tahrip olmayacak şekilde kurulur ve ocak gazları yönünden sürekli kontrol altında bulundurulur. Bu barajlar, baraj arkasında oluşabilecek gaz basıncı ve su baskınına karşı dayanımı hesaplanarak kurulan sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilir. Barajların arkasında bulunan oksijen, metan, karbonmonoksit, hidrojen sülfür vb. ocak gazları ile sıcaklık ölçümleri 10 günde bir, değişiklik tespit edilmesi halinde sürekli yapılır ve kayıt altına alınır. Barajların açılmasında gerekli güvenlik tedbirleri alınır. Bu barajlar hazırlanacak olan yeraltı çalışma planlarında gösterilir **(Yönetmelik, EK-1, Madde: 5.4.6. (Değişik: RG-10/3/2015- 29291).**

2)Ocak grizulu veya damar kendi kendine yanmaya elverişli ise ayak arkası, tavan veya yanlarda meydana gelen boşluklar sıkıca doldurulur ve diğer sağlık ve güvenlik tedbirleri alınır. **(Yönetmelik, EK-3, Madde: 7.6.).**

3) Yeraltı maden ocaklarında açık tutulması gereken her yerde tavan kendini taşıyacak kadar sağlam olmadıkça tahkimat yapılması zorunludur. Tahkimat yapılması zorunlu olan ocaklarda aşağıdaki ayrıntıları kapsayan ve ilgili mevzuat hükümlerinin de göz önünde tutulduğu bir yönerge hazırlanır. Ve çalışanların görebileceği yerlere asılır. Ocak grizulu veya damar kendi kendine yanmaya elverişli ise ayak arkası, tavan veya yanlarda meydana gelen boşluklar sıkıca doldurulur ve diğer sağlık ve güvenlik tedbirleri alınır. Bu yönergede;

a) Ocakta tahkimat gerektiren her kısımda (ayak, tavan vb.) tahkimattan sorumlu çalışanın belirlenmesi **(Yönetmelik, EK-3, Madde: 7.7./a).**

b) Kendiliğinden yanmaya meyilli ve grizulu ocaklarda tahkimat yapılması ile ilgili gerekli tedbirler **(Yönetmelik, EK-3, Madde: 7.7./d)** yer almaktadır.

4) Grizulu veya yangına elverişli kömür damarlarının bulunduğu ocaklarda, tüm çalışanlar çalışma süresince, yanlarında Ek-1 inci maddede yer alan tabloda belirtilen kaçış sürelerini ve TS-EN 13794 sayılı standartta belirtilen kriterleri sağlayacak oksijenli ferdi kurtarıcı bulundurur ve gerektiğinde kullanır **(Yönetmelik, EK-3, Madde:10.12. (Değişik: RG-10/3/2015-29291).**

5) Çalışmakta olan yerler yakınında, basınç altında birikmiş tehlikeli ve zararlı gazların veya yeraltı suyunun tehlikeye neden olabileceği durumlarda veya eski çalışma yerlerinde su veya gaz birikme ihtimalinde kontrol sondajları yapılır **(Yönetmelik, EK-3, Madde:12.5.)**.

6) Yeraltı kömür ocaklarında gaz degajı riskinin değerlendirilerek sağlık ve güvenlik dokümanında yer alması esastır. Degaj riskinin değerlendirilmesinde asgari olarak aşağıdaki hususlar dikkate alınarak sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilir.

a) Kömür damarlarının gaz içerikleri,

b) Kömürün desorpsiyon kapasitesi,

c) Gaz yayılımının (a) ve (b) alt bentlerinde belirtilen hususlar göz önünde bulundurularak bilimsel bir metotla değerlendirilmesi **(Yönetmelik, EK-3, Madde: 12.5.1. (Değişik: RG-10/3/2015-29291))**.

7) Kendiliğinden tutuşmanın önlenmesi veya erken fark edilmesi için gerekli tedbirler alınır (Ek cümleler: RG-10/3/2015-29291). Jeoloji ve damar yapısı müsaade ettiği müddetçe, ana yollar ve havalandırma yollarının kömür içerisinden sürülmemesi esastır. Bunun sağlanamadığı ana yollar ve havalandırma yollarında kömürün hava ile temasını tamamen kesecek gerekli tedbirler alınır **(Yönetmelik, EK-3, Madde:13.1. (Değişik: RG-10/3/2015-29291))**.

Bu yönetmeliğin, kendiliğinden yanma olaylarının önlenmesi açısından değerlendirildiğinde geliştirilmeye açık olduğu görülmektedir. Özellikle kömür madenciliği kadar eski olan kendiliğinden yanma olayı ve ocak yangınları, yeraltı kömür işletmeciliğinde en önemli sorunlardan birisidir. Kendiliğinden yanma ilk aşamada önlenemez veya kontrol edilemezse çeşitli can ve mal kayıplarına yol açabilir. Yanmanın her aşamasında sağlığa zararlı ve zehirleyici pek çok gaz çıkmaktadır. Bu gazlardan kaynaklanan ölümlü kazalar veya kalıcı sakatlıklar da bırakabilen yaralanmalar madencilik tarihinde sıkça görülen olaylardır. Kızışma sonucu çıkan gazlar ve oluşan ısı, özellikle de açık alevli yangın, daha önceden patlama sınırlarında bulunmayan ocak atmosferine patlayıcı özellik kazandırabilir. En büyük tehlikeyi oluşturan bu durum toplu ölümlere neden olabilir. Yangının önlenememesi sonucu panonun terk edilmesi durumunda, panodaki ekipman ve malzemelerin tahrip olması önemli maddi kayıplardır. Terk edilen panolarda bırakılan kömürler büyük rezerv kayıplarına neden olur. Bütün bu kayıpların önlenmesi için grizulu ve kendiliğinden yanma özelliği gösteren taşkömürü, linyit ve benzeri maden işletmelerindeki yer altı çalışmalarında alınacak önlemlerin geçmişte olduğu gibi mevzuatımızda (yönetmelik, yönerge vb) daha kapsamlı şekilde yer verilmelidir.

Örneğin; daha önce TTK Genel Müdürlüğü'nün kendi iç bünyesinde hazırlamış olduğu fakat şu an yürürlükte olmayan eski yönergede (Kendiliğinden Yanmaya Müsait Damarlarda Ocak Yangınlarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Hakkında Yönerge) olduğu gibi, ilgili yönetmeliklerimizde kömürün kendiliğinden yanma olayının saptanmasına ilişkin durumlar ve damar özelliklerine mutlaka yer verilmedi. TTK yönergesinde; Zonguldak kömür havzasındaki kömür damarlarının sınıflandırılması, panoların hazırlanması, havalandırılması, kömürün üretilmesi ve panoların kapatılması esnasında yapılacak işler ve tedbirler detaylı şekilde açıklanmıştır. Kömür damarlarının geçmişte yaşanan tecrübelerle dayanarak sınıflandırıldığı bu yönergede, kendiliğinden yanmaya müsait damarların, yangına müsaitlik derecelerine göre sınıflandırılacağı ifade edilmiş ve pano planlamalarında da bu husus göz önünde tutulmuştur.

Maden Sanayii İşverenleri Sendikası tarafından Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü akademisyenleri ile işbirliği halinde yürütülen ve Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyetinin desteklediği proje kapsamında Türkiye’de aktif olarak kömür üretimi yapılan tüm bölgelerdeki yer altı kömür madenlerinden alınan kömür numunelerianaliz edilmiştir. Bu çalışma sonucunda bulunan risk değerlerinden istifade edilerek eski yönergede deneyimlere dayandırılan sınıflandırma bu kez bilimsel veriler ışığında yeniden yapılabilecek böylelikle risk seviyesine uygun tedbir ve uygulamalara mevzuatımızda yer verilebilecektir. Böylelikle risk durumuna göre alınması gereken ve bu yayında yer verilen tedbirlere ilişkin denetim ve ölçüm sıklığı belirlenerek yüksek riskli bölgelerin kendiliğinden yanma riskine karşı tedbir düzeyinin de yükseltilmesi önerilmektedir.

Ayrıca, hali hazırda, ülkemizdeki tüm yer altı kömür işletmeleri yeni oluşturulacak olan pano tasarımlarını gerçekleştirirken isteğe bağlı olarak işletmelerindeki kömürlerin kendiliğinden yanma yatkınlığını saptamak üzere analizler yaptırmaktadırlar. Bu analizlerin zaruri olarak yapılması gerekliliğine yönetmeliklerde yer verilmelidir. Bunun sonucunda elde edilen veriler projede olduğu gibi bir yazılım üzerinden kontrol edilmeli ve kendiliğinden yanmaya müsait damarların verileri 3 aydan başlayarak 6 ay ve 1 senelik dönemlerle (kendiliğinden yanma derecesinin durumuna göre) güncellenmelidir.

## BÖLÜM 6

# KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIĞININ BELİRLENMESİNDE KULLANILAN LABORATUVAR YÖNTEMLERİ VE RİSK İNDEKSLERİ

**Hazırlayanlar**  
**Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan KAYMAKÇI**  
**Doç. Dr. Mehmet BİLEN**

### 6.1. GİRİŞ

Kömürlerin kendiliğinden yanmasında genel olarak kömür faktörü, jeolojik faktör ve madencilik faktörü gibi üç grup etkenin katkısı olduğu söylenebilir. Bhattacharya (1982), kendiliğinden yanmanın toplam riskinin, bu üç faktöre ait sayısal değerlerin birbirleriyle çarpılarak bulunabileceğini ifade etmiştir (Eşitlik 1).

Buna göre:

$$\text{Toplam Risk} = \text{Kömür Faktörü} \times \text{Jeolojik Faktör} \times \text{Madencilik Faktörü} \quad (\text{Eşitlik 1})$$

şeklinde ifade edilebilmektedir (Kaymakçı 1998).

Yukarıdaki eşitlikte yer alan faktörlerin her biri, kendi özelliklerinin bir fonksiyonu olarak değerlendirilmektedir. Eşitlikte yer alan kömür faktörünü saptayabilmek ve yüksek riskli kömürleri tanımlayabilmek için çeşitli laboratuvar teknikleri bulunmaktadır.

Damarın kızışma yatkinliğinin ocağın henüz planlama aşamasında incelenmesi kendiliğinden yanma riskinin asgari düzeye indirgenebilmesi için hayati öneme sahiptir. Bu olgunun bilimsel ve teknik bir yaklaşımla ele alınabilmesi için üretime alınmamış bir damardan elde edilen numunelerin laboratuvar ortamında değerlendirilmesi gerekmektedir. Kimyasal ve petrografik incelemelerin ardından oksidasyon özellikleri teste tabi tutulmalıdır. Böylelikle kömürün kendiliğinden yanma riskine ilişkin elde edilen veriler ışığında kızışma esnasında damarın sergilemesi beklenen davranışlar tespit edilebilecektir. Yangın öncesi ön görülerde bulunabilmek için kullanılacak olan yangın indeksleri bu çalışmalar neticesinde ortaya çıkarılabilir (Kaymakçı 1998).

Kömürün yapısal özelliklerinin yanı sıra, çevre koşullarının da yanma davranışlarını önemli oranda etkiliyor olması, jeolojik ve madencilikle ilgili diğer etkenlerin de dikkate alınmasını zorunlu kılar. Çevrede bulunan diğer damarlar, üretim dışı kalmış eski alanlar, damar kalınlıkları gibi değişkenler de ele alınarak yangın riski hakkında bir sonuca ulaşılmalıdır. Üretim yöntemi, havalandırma, ekipman, tahkimat ve gereçler elde edilen veriler ışığında tespit edilmelidir (Kaymakçı 1998).

Yangın açısından risk taşıyan panolarda gerçekleştirilen üretim faaliyetlerini bu risk doğrultusunda planlamak yerinde olacaktır. Kömürlerin yanmaya yatkinliklerini ifade eden bir indeks geliştirme çabaları, araştırmacıların daima ilgi gösterdikleri bir alan olmuştur. Bu amaçla literatürde laboratuvar deneylerine dayanan ve/ veya çevre koşullarını değerlendiren çeşitli sınıflama teknikleri önerilmiştir. Kömürün oksitlenme mekanizmasının çok karmaşık oluşu ve olayın çok çeşitli parametrelerden etkilenmesi her koşula uyan bir sınıflama sisteminin kabul edilmesini olanaksız kılmaktadır. Petrografik yapıları benzer olan damarlar farklı kızışma davranışları gösterebildikleri gibi, aynı damarın farklı kesimleri dahi yanmaya yatkinlik bakımından farklı olabilmektedir (Kaymakçı 1998, Ilıca 2020).

Dünyada madencilikle ilgili teknolojik gelişmelere bağlı olarak tasarlanan büyük üretim sahaları ve madencilikle ilgili yatırımlar; kömürün kendiliğinden yanma riskinin önceden tahmin



edilememesi nedeniyle kesintiye uğramakta ve çok ciddi can, aynı zamanda da çok pahalı ekipman ve üretim kayıplarına, ocakların kapatılmasına ve bu bölgelerdeki mevcut rezervlerin kaybedilmesine neden olmaktadır. Kendiliğinden yanma riskinin derecesi çevre koşullarının ve kömürün kimyasal yatkınlığının bir fonksiyonudur. Yeraltında çevre koşulları ile beraber, kendiliğinden yanma riskinin saptanmasında, kömürün göreceli yatkınlığının uygun bir şekilde değerlendirilmesi son derece önemlidir. Bu, laboratuvarlarda çeşitli teknikler kullanılarak yapılabilir. Çeşitli ülkelerde değişik teknikler kullanılmasına rağmen, bu tekniklerin hiçbiri yaygın bir kullanıma sahip değildir (Kaymakçı 1998).

## 6.2. YÖNTEMLERİN SINIFLANDIRILMASI

Kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları açısından kömürleri değerlendirmek amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından geliştirilen ve literatürde ayrıntılı bir şekilde tanımlanmış olan bu yöntemler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Kaymakçı, 1998).

- a) Doğrudan gözlemler
- b) Kimyasal yöntemler
- c) Statik İzotermal Yöntem
- d) Dinamik Yöntemler
- e) Adyabatik Oksidasyon Yöntemi
- f) Tutuşabilirlik Yöntemi
- g) DTA (Differential Thermal Analysis) Yöntemi
- h) Olpinski Yöntemi

İlk iki yöntem, doğrudan gözlemler ve kimyasal yöntemler, deneysel kontrolün zorlukları ve yanlış sonuçlar vermesi nedeniyle araştırma alanlarında önemini ve uygulamasını yitirmiştir (Eroğlu 1992).

### 6.2.1. Doğrudan Gözlemler

Bu tür çalışmalar stoklarda veya yeraltında gerçek şartlarda uygulanmıştır. Gözlem bölgesindeki değişik çevresel faktörler çok kolay bir şekilde tespit edilememekte ve bazı özel faktörler yöntemin başarısını olumsuz yönde etkilemektedir. Bununla beraber, deneyden elde edilen bilgilerin yerinde gözlemlere dayanması söz konusu olduğundan pratik üstünlüklere sahip olan yöntemlerdir (Demirbilek, 1986).

Doğrudan gözlem teknikleri, kömürde meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimleri araştırmak ve kendiliğinden yanmaya yatkınlık ile bu değişimlerin karşılıklı ilişkisini saptamak için kullanılır. Yöntemin en önemli üstünlüğü küçük ölçekli laboratuvar deneylerinin yapaylığından uzak olmasıdır. Bununla beraber bu yöntemin birkaç önemli sakıncası vardır. Birincisi; deneyler genellikle büyük hacimli örnekler gereksinim duyarlar. Dolayısıyla örneklerin deney mahalline yerleştirilmesi fazla zaman almakta ve bu nedenle deneyin başlamasından önce okside olmuş kömürler hakkında bilgi sahibi olunamamaktadır. İkincisi; bu deneyler uzun bir zaman dilimine ihtiyaç göstermektedirler. Literatürde 60 günden fazla süren deneylere rastlanmaktadır (Güney and Hodges, 1969; Wade, 1988; Eroğlu, 1992, Demirbilek 1986).

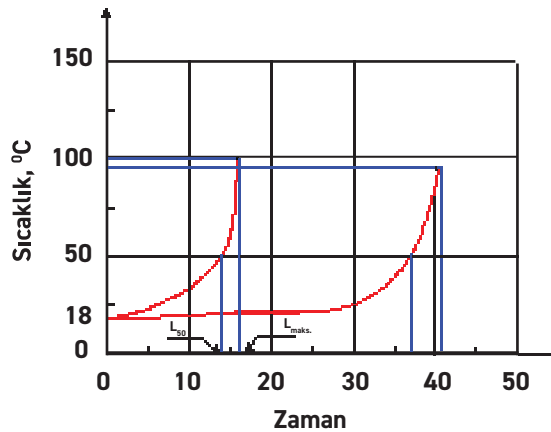
### 6.2.2. Kimyasal Yöntemler

Bu yöntemlerde, kömür örneklerinin hem oksijen tüketim kapasiteleri ve hızları incelenmekte hem de çeşitli kimyasal oksitleyici maddelerle işleme tabi tutularak, kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları saptanmaktadır (Didari 1986, Demirbilek 1986, Wade 1988, Kaymakçı 1998).

Doğu Avrupalı araştırmacıların birçoğu, kömürün kendiliğinden yanmasının değerlendirilmesinde uygulanması kolay olan kimyasal yöntemlerle ilgilenmişlerdir. Bu yöntemlerde, küçük kömür örnekleri kimyasal oksitleyici maddelerin sulu çözeltileri ile işleme tabi tutulmuşlardır. Deney koşulları atmosferik oksidasyondan oldukça farklı olduğundan, sonuçların yorumlanması zordur. Buna rağmen bu yöntemler kömürün yapısının araştırılması yönünden faydalıdır (Demirbilek, 1986).

Kimyasal yöntemlerden biri olan Wiesolowski yönteminde, önce küçük bir deney tüpü içinde 0.1 gr kömür ile 0.05 gr sodyum nitrit işleme tabi tutularak ısıtılmakta ve kömür örneğinde oluşan oksidasyon durumuna bağlı olarak bir patlama sıcaklığı elde edilmektedir. Daha sonra aynı kömür örneği hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) ile ön oksitlenmeye tabi tutularak ısıtılmakta ve patlama sıcaklığı elde edilinceye kadar benzidin ile redüklenmektedir. İki örneğin patlama sıcaklıkları arasındaki fark kendiliğinden yanma indeksini vermektedir. Elde edilen bu sıcaklık 30 oC'nin altında ise kömür kendiliğinden yanmaya yatkın değil, 40 oC'nin üstünde ise çok yatkın olarak değerlendirilmektedir. İngiltere'de değişik sahalardan alınan 30 kadar kömür örneği bu yöntemle test edilmiş ve patlama sıcaklıkları farklarının 15.4-68.6 oC arasında değiştiği bulunmuştur (Demirbilek 1986).

Doğu Avrupalı araştırmacılar. adyabatik şartlar altında hidrojen peroksit içindeki kömürün bozuşmasının ölçülmesi üzerine 1960'lara kadar yoğun olarak çalışmışlar ve kimyasal yöntemleri daha fazla geliştirmişlerdir (Demirbilek 1986). Yöntem, aşağıdaki gibi kullanılmıştır: 228 mesh altına öğütülen 3 gr kömür örneği, 1.5 cm<sup>3</sup> damıtılmış su ile nemlendirilerek, 18 oC'ye kadar ısıtılmış bir banyodaki termos içine yerleştirilmiştir. Örnek ve banyo sıcaklıkları eşitlendiği zaman 9 cm<sup>3</sup> hidrojen peroksit (% 20'lik) ilave edilmiştir. Hidrojen peroksit ve kömür karışımının sıcaklığı, kabın içine yerleştirilmiş bulunan bir termometre vasıtasıyla ölçülmüştür. Başlangıçta zaman-sıcaklık eğrileri hemen hemen yataydır. En kısa yatay uzunluk, en reaktif kömürü temsil etmektedir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1. Zaman-sıcaklık eğrisi (Demirbilek 1986).

Aynı yöntem daha sonra Fransa'da kullanılmıştır. Kömür örneği azot ortamında 240 mesh altına öğütülmüş ve 5 cm<sup>3</sup> damıtılmış su ile nemlendirilerek termos içine yerleştirilmiştir. Daha sonra 30 cm<sup>3</sup> hidrojen peroksit (% 20'lik) konsantrasyonu ilave edilerek zaman-sıcaklık değişimleri izlenmiştir (Demirbilek 1986).

### 6.2.3. Statik İzotermal Yöntem

Kömürün oksijen adsorblama yeteneğinin, kendiliğinden yanmaya yatkınlığının iyi bir göstergesi olduğu bilinmektedir. Kömürün bu yeteneğinin belirlenmesi için farklı deney teknikleri kullanılmıştır. Bilindiği gibi kömür, çevre sıcaklığında havaya maruz kaldığı zaman oksijen adsorblar ve kömürle oksijen arasında çok yavaş ilerleyen bir reaksiyon meydana gelir. Bu işlem tek yönlüdür ve adsorblanan oksijenin, oksidasyonla kömürden çevreye salıverilen gazların miktarı, sadece sıcaklığa, zamana ve kömürün özelliklerine bağlıdır (Feng, 1985, Kaymakçı 1998).

Feng (1985)'in yaptığı bir araştırmada, 250 cc'lik cam kapların içine, sızdırmazlık sağlanarak 60 mesh altına öğütülmüş olan, 50 gr'lık kömür örnekleri konulmuştur. Daha sonra bu örnekler 25 °C sabit sıcaklıkta bir su banyosunun içine yerleştirilmiştir. 14 gün sonra alınan gaz örneklerinde, karbonmonoksit, karbondioksit ve metan gazlarının üretildiği saptanırken, oksijenin yitirildiği görülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, karbonmonoksit/oksijen oranı yüksek olan kömürler, kendiliğinden yanmaya daha yatkın bulunmuştur. Yüksek metan içeriğine sahip olan kömürler ise, daha düşük karbonmonoksit/oksijen oranı göstermişler ve böyle kömürlerin kendiliğinden yanmaya daha az yatkın oldukları saptanmıştır (Feng, 1985).

Bir başka araştırmada ise, belirli bir sıcaklıktaki (yaklaşık 30 °C) termostat içine kömür örnekleri içeren bir seri şişe yerleştirilmiş, daha sonra bu şişeler belirli aralıklarla termostattan alınmışlardır. Şişelerdeki gazların analiz edilmesiyle her bir gr kömürün soğurduğu oksijen ölçülmüştür. Eğer 96 saat sonra, 30 °C'de soğurulan oksijen, 100 gr'lık kömürde 300 mililitreyi aşarsa, kömür kendiliğinden yanmaya çok yatkın, 200 mililitreden azsa kendiliğinden yanmaya yatkın değil şeklinde değerlendirilmiştir (Chamberlain ve Hall 1973, Demirbilek 1986).

Çin'deki araştırmalar, kontrollü laboratuvar şartları altında, kömürün oksijen tüketim miktarının hesaplanması için spektrum tekniklerinin kullanımına doğru yönelmiştir. Çin'deki farklı kömür damarlarından alınan örneklerin üzerinde yapılan seri deneyler sonucunda, bu kömürler; yüksek, orta ve düşük olmak üzere üç risk grubuna ayrılmıştır. Sınıflandırma, bir gram kuru kömürün 30 °C'deki oksijen soğurma miktarına göre yapılmaktadır. Çizelge 6.1'de Çin kömürleri için geliştirilen risk değerlendirme cetveli gösterilmektedir (Denby ve Ren 1992).

Çizelge 6.1. Çin kömürlerinin oksijen tüketimi yöntemine göre risk değerlendirmesi (Denby ve Ren, 1992).

Risk grubu	30 °C'de soğurulan oksijen (ml/gr)	Kendiliğinden yanmaya yatkınlık
I	>0.80	Yüksek risk
II	0.40 - 0.80	Orta risk
III	<0.40	Düşük risk

#### 6.2.4. Dinamik Yöntemler

Bu tür yöntemlerde ya sabit sıcaklıktaki ya da denetim altında ısıtılan kömür örnekleri üzerinden 15-50 ml/dak hızla hava geçirilerek gaz ürünleri incelenmektedir (Didari 1986).

Feng'in (1985), Kanada kömürlerinin kendiliğinden yanmasının araştırılmasında kullandığı birkaç yöntemden biri olan bu teknikte, 100 gr'lık kömür örneği içeren reaksiyon tüpü sabit sıcaklıktaki bir yağ banyosuna daldırılmış ve örnek sıcaklığını ortam sıcaklığı ile aynı seviyede tutabilmek için sisteme sıcaklık kontrol cihazı ilave edilmiştir. 15 ml/dak'lık akış hızıyla sisteme beslenen hava, örnek içine girmeden önce ısıtılmıştır. Bir saat sonra gaz örnekleri alınmış ve analizler sonucunda, karbonmonoksit ve karbondioksit konsantrasyonlarının, bu süre sonunda hemen hemen değişmez bir değer aldıkları gözlenmiştir (Feng, 1985).

Ayvazoğlu'nun (1978) bu yöntemi kullanarak yaptığı bir başka çalışmada ise 72 mesh altına öğütülen 50 gr kömür numunesi, sızdırmaz çelik bir kap içine konularak, kömür örneği üzerinden hava veya azot gazı geçirilmiştir. Bu kabın yerleştirildiği fırının sıcaklığı, 30 °C'den başlayarak dakikada 0.5

°C'lik artışlarla 200 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Fırın ve örnek sıcaklıkları sayısal termometrelerle sürekli olarak ölçülmüş, her 10 dakikada bir 5 °C'lik sıcaklık artışları için karbonmonoksit, hidrojen ve diğer yanma ürünü gazların ölçümleri yapılmıştır. Sonuçta sıcaklık artışı ile gaz oranlarının değişimi bir grafik şeklinde ifade edilerek değerlendirilmiştir.

### 6.2.5. Adyabatik Oksidasyon Yöntemi

Cudmore, (1964); Güney and Hodges, (1969); Banerjee, (1982) çalışmalarında, "Bu yöntemde kömür örneği, dış ortama ısı alış-verişi engellenmiş bir kap (adyabatik kalorimetre) içine konularak içinden hava geçirilmekte ve zaman-sıcaklık ilişkileri" saptanmaktadır.

Adyabatik kalorimetre ilk olarak 1914 yılında kullanılmıştır. Bu yıldan itibaren, adyabatik kalorimetre ile pek çok deney yapılmış ve genellikle iki parametrenin saptanması ile ilgilenilmiştir:

- Kömürlerin inkubasyon periyodlarının (kuluçka süresi) belirlenmesi
- Artan sıcaklıkla birlikte meydana gelen değişimlerin izlenmesi (artan sıcaklık yöntemi).

İnkubasyon periyodu yönteminde; kömür örneği, kalorimetrenin içinde yaratılan nötr atmosfer altında önceden belirlenen bir başlangıç sıcaklığına kadar ısıtılır. Kalorimetre bu sıcaklıkta sabit tutularak örneğin içinden oksijen geçirilir. Ekzotermik reaksiyon nedeniyle artan örnek sıcaklığı ölçülerek, kalorimetrenin sıcaklığındaki yükselme ile karşılaştırılır. Bu yolla ısı kaybı minimum tutulmuş ve deney, adyabatik koşullar altında gerçekleştirilmiş olmaktadır. Artan sıcaklık yönteminde ise; kömür örneği fırında doğrusal olarak ısıtılmaktadır. Doğrusallıktan sapma, kömürdeki fiziksel ve kimyasal değişimlere bağlı olmaktadır. Bu yöntemin kesişme sıcaklığı ve DTA deneylerine benzediği söylenebilir (Gouws vd. 1991).

Adyabatik oksidasyon yöntemiyle kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığını saptamak için, Nottingham Üniversitesi'ndeki bir grup araştırmacı tarafından önemli bir çalışma yürütülmüştür. 75 mesh altına öğütülmüş kömür örnekleri üzerinden hava geçirilmiş ve zamanla ısı emisyonu veya sıcaklığın değişim oranı gözlenmiştir. Deneyler kontrollü laboratuvar şartlarında özel olarak tasarımlanan bir mikro kalorimetre içinde yürütülmüş ve her bir deney 8-12 saat sürmüştür. Sıcaklık okumaları termoçiftler tarafından yapılmış ve 15 dakikada bir gaz örnekleri alınmıştır (Saraç 1992). Gaz örneklerinin analiz edilmesiyle kendiliğinden yanmanın bir göstergesi olan karbonmonoksit oksijen azalması oranı ( $CO \Delta O_2$ ) hesaplanmıştır. Deneylerde 100 gr'lık kömür örnekleri kullanılmış ve değişik nem koşullarındaki zaman-sıcaklık eğrileri çizilmiştir.

#### Deney koşulları:

- Kömürün yerindeki (in-situ) nemi / doymuş hava
- Vakumda kurutulmuş kömür / doymuş hava
- Vakumda kurutulmuş kömür / kuru hava olarak düzenlenmiştir (Singh et al., 1984).

Kömürün bünyesel yatkınlığını saptamak için kullanılmış olan parametreler, kömürün başlangıçtaki ısınma oranı (initial rate of heating [IRH]), toplam sıcaklık artışı (total temperature rise [TTR]), pirit içeriği, nem içeriği, ve ranktır (Singh vd., 1984).

### 6.2.6. Tutuşabilirlik Yöntemi

Laboratuvarda toz haline getirilmiş kömür numunesi bir fırın içinde doğrusal olarak artan bir hızla ısıtıldığında kömür kendiliğinden kızışmanın ilave etkisiyle daha hızlı ısınmakta ve bir süre sonra numune sıcaklığı ortam (fırın) sıcaklığına ulaşarak onu geçmektedir. Bu sıcaklık değeri “kesişme noktası” olarak isimlendirilir ve laboratuvar çalışmalarında önemli bir yeri vardır (Saraç 1992). Tutuşma noktası sıcaklığı ise kesişme noktası sıcaklığından sonra kömürün aniden alevlenebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık olarak tanımlanmıştır (Şekil 6.2).

Geçmişte tutuşma sıcaklığının kesin tanımı için birtakım tartışmalar olmuştur. Yakıt teknolojisi uzmanları, bu terimi, “hava veya oksijenin varlığında, kömürün aniden alevlenebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık” olarak tanımlamışlardır. Madenciler ise, “ekzotermik reaksiyonun, dışarıdan herhangi bir etki olmaksızın kendiliğinden devam edebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık” olduğu konusunda görüş belirtmişlerdir. Kömürün kendiliğinden yanması ve oksidasyon konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilere göre, son yapılan tanım daha anlamlı olarak görünmektedir. Bununla beraber unutulmamalıdır ki, bu sıcaklık bile ekzotermik reaksiyonun tam anlamıyla başlayabilmesi için gereken gerçek sıcaklıktan çok daha yüksektir (Nandy vd. 1972).

Tutuşma sıcaklığı, Coward (1957) tarafından “yanabilir bir maddenin, hava veya oksijen gibi uygun bir ortam içinde, hemen alevlenebilmesi için gerekli olan en az sıcaklık” olarak tanımlanmaktadır (Eroğlu 1992).

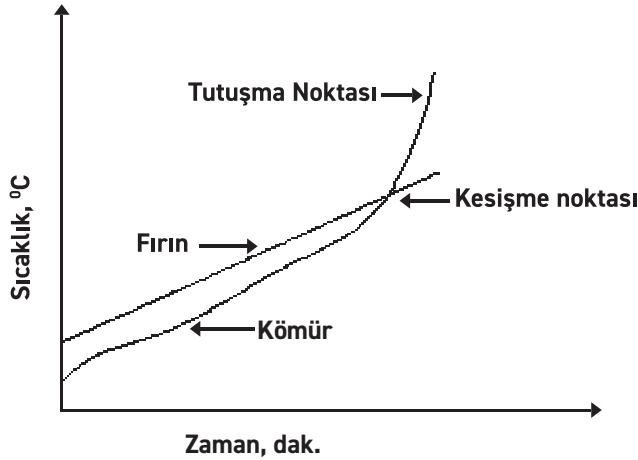
Kömürlerin karakteristik sıcaklıklarının (tutuşma sıcaklığı gibi) belirlenmesi için yapılan ilk çalışmalardan biri, Parr ve Kresman (1911) tarafından, Illinois Üniversitesi’nde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, klasik cam laboratuvar malzemeleri kullanılarak basit bir cihaz oluşturulmuştur. Kömür örneği bir termos içerisine daldırılmış ve termostan saf oksijen veya karbondioksitten arındırılmış hava geçirilmiştir. Kömürde ve ortamda meydana gelen sıcaklık değişimleri termometrelerle ölçülmüş ve yanma ürünü gazlar analiz edilerek, karbondioksitin ilk çıktığı sıcaklık saptanmıştır. Parr ve Kresmann bu olayın meydana geldiği sıcaklığın, kömürün karbon içeriğinin oksitlenmeye başladığı sıcaklık olduğunu varsaymışlardır. Araştırmacıların ilginç bulduğu diğer sıcaklıklar; kömürde ve ortamda yer alan termometrelerde gözlenen sıcaklıkların çakıştığı nokta ile kömürde açık alevin izlendiği sıcaklık olmuştur. Bu sıcaklıklar, bugün kullanılmakta olan kesişme ve tutuşma noktası sıcaklıklarına karşılık gelmekte ve pek çok araştırmacı tarafından kömürlerin kendiliğinden yanma eğiliminin gösterilmesinde kullanılmaktadır. Bu araştırmalarda saptanan kesişme noktası sıcaklıkları 140-160 °C arasındadır (Wade 1988).

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi kesişme noktası sıcaklığı; doğrusal olarak ısıtılan bir banyoya yerleştirilmiş bulunan küçük bir reaktör içindeki kömür örneğinin, hava veya oksijen akışına maruz bırakılması sonucunda kömürde meydana gelen ekzotermik reaksiyonun kendiliğinden devam edebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık (yani örnek sıcaklığının, banyo sıcaklığına ulaştığı nokta) olarak tanımlanmaktadır (Nandy vd. 1972).

Wheeler (1924), elektrikle ısıtılan bir kum banyosu içindeki kömür örneğine sabit oranda bir hava akımı uygulayarak deneylerini yürütmüş; zamana karşı, kum banyosu ve kömür sıcaklıklarını izleyerek elde ettiği iki eğrinin çakıştığı noktayı kömürün kesişme noktası sıcaklığı olarak tanımlamıştır. Wheeler, 40 farklı kömür örneğini test ederek çok kolay bir şekilde ısınma belirtisi gösteren kömürlerin, çok yüksek oksijen içeren kömürler olduğunu göstermiştir. Wheeler’in İngiltere’de yaptığı araştırmalar Illinois Üniversitesi’ndeki araştırmacıları etkilemiş ve onların Parr ve Kresmann’ın yaptığı şekliyle zamana dayalı yöntemleri terk etmeleri sonucunu yaratmıştır. Böylece, Parr ve Coons (1926) kesişme noktası sıcaklığı deneylerini hava ortamında ve sıcaklık kontrolü sağlanabilen bir fırın içinde uygulamışlardır. Onlara göre bu nokta, kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının belirlenmesi açısından büyük öneme sahiptir ve kritik oksidasyon sıcaklığı olarak kabul edilmiştir (Eroğlu 1992).

Nandy et al. 1972 yılında yaptıkları kesişme noktası deneylerinde, U tüpü şeklinde bir reaksiyon kabı kullanarak 40 farklı kömür örneği üzerinde çalışmışlardır. Bu kap bir gliserin banyosuna daldırılmış ve gliserin banyoda homojen bir ısıtma sağlanması için, banyo hava kabarcıkları yardımıyla karıştırılmıştır. Tüp içine 72 mesh altına öğütülmüş 20 gr'lık kömür örneği konulmuştur. Bir termometre tüp içindeki kömürün merkezinde tutulurken, diğer termometre gliserin banyosunun sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Bir pompa vasıtasıyla sisteme sürekli olarak, dakikada 80 cc hava beslenmiştir. Havanın nemi, birbiri ardı sıra bağlanmış iki nem tutucu ile kontrol altına alınmıştır. Deneylerde ısınma hızı 0.5 °C/dakika seçilmiş, banyo ve kömür sıcaklıkları termometreler yardımıyla ölçülerek kesişme noktası sıcaklıkları saptanmıştır. Nandy ve arkadaşları yaptıkları deneyler sonucunda, kömürün nem, uçucu madde ve oksijen içeriğindeki artışla, kesişme noktası sıcaklığının azaldığı sonucuna varmışlardır. Bu sonuç, kömürün kesişme noktası sıcaklığının, kömür rankının bir fonksiyonu olduğu bulgusunu desteklemektedir. Bir kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının; kesişme noktası sıcaklığındaki azalma ve zaman-sıcaklık eğrisinin eğimindeki artışla arttığı düşünülmüştür (Nandy vd., 1972).

Bagchi (1972) tarafından yürütülen bir diğer araştırmada kesişme noktası ve tutuşma sıcaklığı belirlemeleri yapılmış ve bu iki nokta arasındaki ısınma oranı belirlenmiştir. Bagchi, tutuşma sıcaklığını, kömürden birdenbire alev çıkan sıcaklık olarak tanımlamıştır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2 Kesişme ve tutuşma noktası.

Geçmişte tutuşma sıcaklığının kesin tanımı için birtakım tartışmalar olmuştur. Yakıt teknolojisi uzmanları, bu terimi, “hava veya oksijenin varlığında, kömürün aniden alevlenebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık” olarak tanımlamışlardır. Madenciler ise, “ekzotermik reaksiyonun, dışarıdan herhangi bir etki olmaksızın kendiliğinden devam edebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık” olduğu konusunda görüş belirtmişlerdir. Kömürün kendiliğinden yanması ve oksidasyon konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen bilgilere göre, son yapılan tanım daha anlamlı olarak görünmektedir. Bununla beraber unutulmamalıdır ki, bu sıcaklık bile ekzotermik reaksiyonun tam anlamıyla başlayabilmesi için gereken gerçek sıcaklıktan çok daha yüksektir (Nandy vd. 1972).

Tutuşma sıcaklığı, Coward (1957) tarafından “yanabilir bir maddenin, hava veya oksijen gibi uygun bir ortam içinde, hemen alevlenebilmesi için gerekli olan en az sıcaklık” olarak tanımlanmaktadır (Eroğlu 1992).

Kömürlerin karakteristik sıcaklıklarının (tutuşma sıcaklığı gibi) belirlenmesi için yapılan ilk çalışmalardan biri, Parr ve Kresman (1911) tarafından, Illinois Üniversitesi'nde gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, klasik cam laboratuvar malzemeleri kullanılarak basit bir cihaz oluşturulmuştur. Kömür örneği bir termos içerisine daldırılmış ve termostan saf oksijen veya karbondioksitten arındırılmış hava geçirilmiştir. Kömürde ve ortamda meydana gelen sıcaklık değişimleri termometrelerle ölçülmüş ve yanma ürünü gazlar analiz edilerek, karbondioksitin ilk çıktığı sıcaklık saptanmıştır. Parr ve Kresmann bu olayın meydana geldiği sıcaklığın, kömürün karbon içeriğinin oksitlenmeye başladığı sıcaklık olduğunu varsaymışlardır. Araştırmacıların ilginç bulduğu diğer sıcaklıklar; kömürde ve ortamda yer alan termometrelerde gözlenen sıcaklıkların çakıştığı nokta ile kömürde açık alevin izlendiği sıcaklık olmuştur. Bu sıcaklıklar, bugün kullanılmakta olan kesişme ve tutuşma noktası sıcaklıklarına karşılık gelmekte ve pek çok araştırmacı tarafından kömürlerin kendiliğinden yanma eğiliminin gösterilmesinde kullanılmaktadır. Bu araştırmalarda saptanan kesişme noktası sıcaklıkları 140-160 oC arasındadır (Wade 1988).

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi kesişme noktası sıcaklığı; doğrusal olarak ısıtılan bir banyoya yerleştirilmiş bulunan küçük bir reaktör içindeki kömür örneğinin, hava veya oksijen akışına maruz bırakılması sonucunda kömürde meydana gelen ekzotermik reaksiyonun kendiliğinden devam edebilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık (yani örnek sıcaklığının, banyo sıcaklığına ulaştığı nokta) olarak tanımlanmaktadır (Nandy vd. 1972).

Wheeler (1924), elektrikle ısıtılan bir kum banyosu içindeki kömür örneğine sabit oranda bir hava akımı uygulayarak deneylerini yürütmüş; zamana karşı, kum banyosu ve kömür sıcaklıklarını izleyerek elde ettiği iki eğrinin çakıştığı noktayı kömürün kesişme noktası sıcaklığı olarak tanımlamıştır. Wheeler, 40 farklı kömür örneğini test ederek çok kolay bir şekilde ısınma belirtisi gösteren kömürlerin, çok yüksek oksijen içeren kömürler olduğunu göstermiştir. Wheeler'in İngiltere'de yaptığı araştırmalar Illinois Üniversitesi'ndeki araştırmacıları etkilemiş ve onların Parr ve Kresmann'ın yaptığı şekliyle zamana dayalı yöntemleri terk etmeleri sonucunu yaratmıştır. Böylece, Parr ve Coons (1926) kesişme noktası sıcaklığı deneylerini hava ortamında ve sıcaklık kontrolü sağlanabilen bir fırın içinde uygulamışlardır. Onlara göre bu nokta, kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının belirlenmesi açısından büyük öneme sahiptir ve kritik oksidasyon sıcaklığı olarak kabul edilmiştir (Eroğlu 1992).

Nandy et al. 1972 yılında yaptıkları kesişme noktası deneylerinde, U tüpü şeklinde bir reaksiyon kabı kullanarak 40 farklı kömür örneği üzerinde çalışmışlardır. Bu kap bir gliserin banyosuna daldırılmış ve gliserin banyoda homojen bir ısıtma sağlanması için, banyo hava kabarcıkları yardımıyla karıştırılmıştır. Tüp içine 72 mesh altına öğütülmüş 20 gr'lık kömür örneği konulmuştur. Bir termometre tüp içindeki kömürün merkezinde tutulurken, diğer termometre gliserin banyosunun sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Bir pompa vasıtasıyla sisteme sürekli olarak, dakikada 80 cc hava beslenmiştir. Havanın nemi, birbiri ardı sıra bağlanmış iki nem tutucu ile kontrol altına alınmıştır. Deneylerde ısınma hızı 0.5 ΔC/dakika seçilmiş, banyo ve kömür sıcaklıkları termometreler yardımıyla ölçülerek kesişme noktası sıcaklıkları saptanmıştır. Nandy ve arkadaşları yaptıkları deneyler sonucunda, kömürün nem, uçucu madde ve oksijen içeriğindeki artışla, kesişme noktası sıcaklığının azaldığı sonucuna varmışlardır. Bu sonuç, kömürün kesişme noktası sıcaklığının, kömür rankının bir fonksiyonu olduğu bulgusunu desteklemektedir. Bir kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının; kesişme noktası sıcaklığındaki azalma ve zaman-sıcaklık eğrisinin eğimindeki artışla arttığı düşünülmüştür (Nandy vd. 1972).

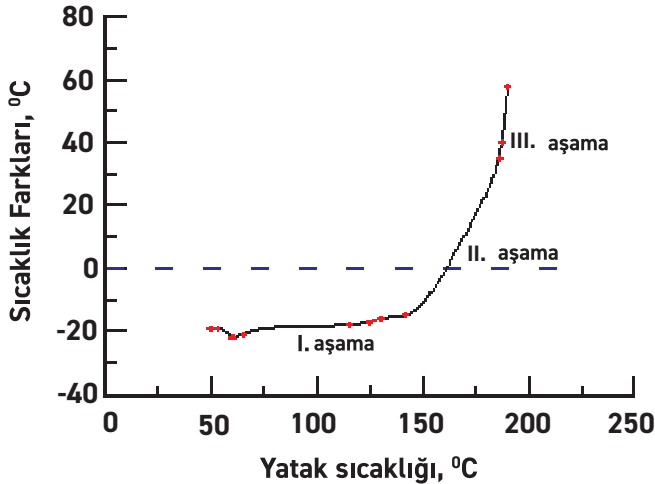
Bagchi (1972) tarafından yürütülen bir diğer araştırmada kesişme noktası ve tutuşma sıcaklığı belirlemeleri yapılmış ve bu iki nokta arasındaki ısınma oranı belirlenmiştir. Bagchi, tutuşma sıcaklığını, kömürden birdenbire alev çıkan sıcaklık olarak tanımlamıştır.

Ayrıca, kömürlerin kesişme noktası sıcaklıkları aşağı yukarı aynı olsa bile, tutuşma noktasına daha kısa zamanda ulaşan kömür, daha uzun zamanda ulaşan kömürden daha tehlikeli olarak kabul edilmiştir. Kullanılan deney cihazı Banerjee'nin kullandığına benzer olup, farklılık banyonun sıvı parafin olması ve mekanik olarak karıştırılmasından ibarettir (Bagchi 1972).

Yukarıdaki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi tutuşma sıcaklığının ölçümü; görece basit, hızlı ve fazla masraf gerektirmeyen bir teknik olmakla birlikte bazı sorunlar içermektedir. Yayınlanan veriler, özellikle yüksek nemli kömürler için belirgin olarak sapmalar göstermektedir. Bu durum yalnızca herhangi bir karakteristik sıcaklığa göre basit bir indekslemenin evrensel anlamda pek kullanışlı olmadığını göstermektedir. Isı üretim oranının belirlenmesi, gözlenen bu sapmalar konusunda bir yaklaşım getirir gibi görünmekle beraber, laboratuvar koşullarında yapılan deneylerin pratik madencilik koşullarına uygulanabilirliği de bir diğer sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Ocaktaki ısı üretimi, yerinde (in-situ) oksidasyon sonucu meydana gelmekte olup, ortamdaki kömüre bütünüyle iletilemez. Isının bütünüyle yayılmasını sağlayacak ölçüde yeterli havanın ortamdaki geçmemesi nedeniyle "sıcak nokta" (hot spot) oluşumu meydana gelir. Laboratuvar deney koşulları ise, ısı iletimli bir ortam tarafından çevrili, oldukça küçük miktarda bir kömür örneği üzerinde gerçekleştirildiğinden, pratik madencilik koşullarına ilişkin yalnızca bir yaklaşım vermektedir (Kaymakçı 1998).

### 6.2.7. DTA (Differential Thermal Analysis) Yöntemi

Tutuşma sıcaklığı ve kesişme noktası sıcaklığı belirlemeleri üzerine yakın zamanda yapılan çalışmalar Hintli araştırmacılarca gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemleri seçim nedenleri basit oluşlarıdır. 1967'de Banerjee ve Chakravorty, kömürleri kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırmak için DTA tekniğini kullanmışlardır. Bu teknik, kömürün tutuşma ve kesişme noktası sıcaklıklarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Yöntem, küçük miktarda bir kömür örneğinin sabit bir ısınma oranında, nötr bir referans malzeme ile birlikte ısıtılarak, kömür ve referans malzeme arasındaki sıcaklık farkının ( $\Delta T$ ), sıcaklığın (T) fonksiyonu olarak sürekli kaydedilmesi esasına dayanmaktadır. Burada, kömürde çeşitli sıcaklıklarda meydana gelen değişimler grafik olarak gösterilmektedir. Termogram olarak isimlendirilen tipik bir DTA eğrisi Şekil 6.3'te yer almaktadır.



Şekil 6.3 Tipik bir termogram.



Banerjee ve Chakravorty'nin (1967) çeşitli Hindistan kömürleri için oluşturdukları termogramlarda, belirgin olarak üç aşama saptanmıştır. Başlangıç aşamasında (I. aşama), kömür endotermik olarak davranır, yani ( $\Delta t$ ) negatiftir. Bu olay kömürden nemin buharlaşmasına bağlanmaktadır. Bu aşamadan sonra, sıcaklık farkı tersine döner ve pozitif olur (II. aşama). Sonuçta termogramın ani olarak artış gösterdiği bir aşamaya gelinir (III. aşama). Banerjee ve Chakravorty'e göre bu ani artışın eğimi kendiliğinden yanmaya yatkınlığın bir göstergesidir. Eğrinin eğimi dikleştiğçe ve buna bağlı olarak, ekzotermik aşamanın çok belirgin bir şekilde saptanabildiği üçüncü aşamanın başlangıç sıcaklığı azaldıkça, kendiliğinden yanma riski artar. Banerjee ve Chakravorty'e göre DTA, deney koşullarına karşı oldukça hassastır. Bu nedenle karşılaştırmalı deneylerin yapılabilmesi için kesin olarak aynı koşulların sağlanması, hatta mümkünse aynı cihazın kullanılması gereklidir. Bu sınırlamalara rağmen DTA sonuçları, kesişme noktası deney sonuçlarını doğrulamaktadır. Bunun istisnası, çok yüksek nemli kömürlerde nemin yol açtığı buharlaşma nedeniyle kesişme noktası sıcaklığında meydana gelen yapay yükselmelerin olduğu durumdur. Yüksek nemli bir kömür, kesişme noktası yöntemiyle analiz edildiğinde yukarıda belirtilen durumdan dolayı düşük riskli, yani güvenli bulunmasına rağmen, DTA yönteminde gerçek durum ortaya çıkacaktır (Wade 1988).

### 6.2.8. Olpinski Yöntemi

Bu yöntemde küçük bir kömür peleti 235 °C sıcaklıkta oksidasyona maruz bırakılmaktadır. Peletin 235 °C'deki ekzotermisitesi kendiliğinden yanmaya yatkınlığın bir ölçüsünü (Sza) verir. 0.3-0.4 gr kömür (-200 mesh) suyla nemlendirilip bir küpte sıkıştırılarak pelet hazırlanmaktadır. Bu pelet kaynama noktası 235 °C olan kinolin buharı banyosu içine yerleştirilmekte ve saniyede 4-5 ml hızla peletten hava geçirilmektedir. Sıcaklık; pelet ortasındaki bir yuvaya sokulan ve elektronik bir kaydediciye bağlı olan termoçift ile okunmaktadır. Deney, 235 °C' ye kadar zaman-sıcaklık grafiği kaydedilerek sürmektedir. Bu sıcaklıkta eğriye çizilen teğet, yani 235 °C' deki ısınma hızı, Sza değerini vermektedir. Kömürün kül içeriği ile ilgili düzeltme yapıldıktan sonra aşağıdaki eşitlik yardımıyla Szb hesaplanmaktadır (Eşitlik 2).

$$Szb = Sza - [100 / (100 - \% kül)] \quad (\text{Eşitlik 2})$$

Szb 80'in altında ise düşük yatkınlık, 120'nin üzerinde ise yüksek yatkınlık söz konusudur (Banerjee, 1985; Singh, 1986).

Yukarıda değinilen bütün bu yöntemler arasında, kömürdeki değişkenlerin hepsini ve gerçek madencilik koşullarını dikkate alabilen bir laboratuvar yöntemi yoktur. Kömür özelliklerinin hepsi tam tamına ve doğru olarak dikkate alınsa bile, deneyleri genellikle değişken yeraltı madencilik koşulları ile ilişkilendirmek oldukça zor olacaktır. Şimdiye kadar tanımlanan hiçbir yöntem, mükemmel değildir, birbirlerine karşı pek fazla üstünlükleri de bulunmamaktadır.

### 6.3. DENEYSEL YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığını saptamak için en uygun laboratuvar yönteminin seçimi daima tartışma konusu olmuştur. Bu konuda dünya çapındaki araştırmacıların görüşleri aşağıdaki satırlarda tırnak içinde verilmiştir (Wade 1988).

Hodges ve Acherjee (1966), "Kendiliğinden yanmanın araştırılması konusunda, daha önce yapılan laboratuvar çalışmalarının hedef olduğu en yaygın eleştiri konusu; deneysel koşulların uygulamadaki gerçek koşullardan çok uzak ve yapay koşullar olmasıdır. Bu nedenle şu andaki çalışmalar izotermal kalorimetreyi haklı çıkarmaktadır."

Banerjee ve Chakravorty (1967), "Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığının saptanması için DTA'lerden elde edilen termogramların dikkatli bir şekilde incelenmesi oldukça faydalı olacaktır."

Güney ve Hodges (1969), "Adyabatik yöntem, kömürün kendiliğinden yanması esnasında meydana gelen reaksiyonların incelenmesinde uygun bir teknik olmaktadır."

Banerjee vd. (1972), "Her ne kadar, yöntemlerin büyük çoğunluğu kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığını saptamada, değişik açılardan güvenilir olsa bile, yöntemlerin hiçbiri başlı başına kendiliğinden yanmada etkili olan parametrelerin hepsini (örneğin; oksijen tüketimine yatkınlığı, ısının birikme özelliklerini, kırılgenliği vb.) dikkate alamamaktadır. Bu nedenle, kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının derecesi bir tek deneyden veya bir grup deneyin kullanılmasıyla bile doğru bir şekilde saptanamaz."

Nandy vd. (1972), "Kesişme noktası sıcaklığı yöntemi, çeşitli Hindistan kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırılmasında geçerli bir indeks olarak kullanılabilir."

Bagchi (1972), "Şimdiye kadar laboratuvarlarda kömürün kesişme noktası ve devamında tutuşma noktası sıcaklığının saptanması ile göreceli olarak kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığını saptamak olanaklı olmuştur."

Kim (1977), "Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının saptanmasında kullanılan çeşitli yöntemler olmasına rağmen, hiçbiri diğerinden açık bir üstünlüğe ve genel bir kullanıma sahip değildir."

Cudmore ve Sanders (1984), "Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının önceden saptanabilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Kömürlerin adyabatik koşullar altında kendiliğinden yanmasının incelenmesi belki de en iyi yöntem olmasına rağmen deney süresinin uzun olması nedeniyle sıkça başvurulan bir yöntem değildir."

Feng (1985), "Oksijen tüketimi tekniklerinden elde edilen karbonmonoksit oksijen azalması oranı ( $CO \Delta O_2$ ) kendiliğinden yanmaya yatkınlığın en iyi göstergelerinden birisidir. Bu da statik izotermal yöntemle işaret etmektedir."

Yukarıda kısaca değinilen açıklamalardan da anlaşılmaktadır ki, kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının saptanması konusunda değişik görüşler vardır. Bu, bir veya diğer tekniği destekleyen açıklamalar nedeniyle, yöntemler arasında herhangi bir seçim yapmak oldukça zordur. Buna rağmen, kendiliğinden yanma konusunda yayınlanan çok sayıda makale göstermiştir ki, yöntemlerde kullanılan özel düzenekler ne olursa olsun, tekniklerin hepsinden elde edilen sonuçlar anlamlıdır. Çizelge 6.2'de kendiliğinden yanmanın saptanmasında kullanılan bazı deney yöntemlerinin üstünlük ve sakıncalarını göstermektedir.

Çizelge 6.2. Kendiliğinden yanmanın saptanmasında kullanılan bazı deney yöntemlerinin karşılaştırılması (Eroğlu 1992).

Yöntem	Üstünlükleri	Sakıncaları
Doğrudan Gözlemler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerçek koşullara uygulanır,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Değişkenler kontrol edilemez,</li> <li>Deneyler çok uzun sürelidir,</li> <li>Örnekler büyük hacimli olduğundan deneyden önce okside olabilirler,</li> </ul>
Tutuşma Sıcaklığı Yöntemi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hızlı deneyler,</li> <li>Basit ve ucuz düzenekler,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Kesişme noktasının yapaylığı,</li> <li>Tutuşma zorlukla tanınır,</li> <li>Yalıtım karakteristikleri gerçek duruma benzemez,</li> </ul>
Kimyasal Yöntemler	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basit ve hızlı deneyler,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Doğruluğu şüpheli,</li> </ul>
Adyabatik Oksidasyon Yöntemi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pratikteki yalıtım karakteristikleri gerçekleştirilebilir,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Uzun deneyler,</li> <li>Pahalı düzenekler, kalibrasyon ve yapım zorluğu söz konusudur,</li> </ul>
İzotermal Kalorimetre	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reaksiyon hızının sıcaklıkla değiştiğini kabul etmemesi,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gerçek izotermal şartları sağlamak zordur,</li> </ul>
Oksijen Tüketimi Yöntemi	<ul style="list-style-type: none"> <li>Basit, ucuz düzenekler,</li> <li>Çok yönlü ve eş zamanlı deneyler,</li> <li>Hızlı deneyler,</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Oksijen tüketimi ısı oluşumunun göstergesidir,</li> </ul>

Bu çizelgeden de görülmektedir ki, uygulamadaki yalıtım karakteristiklerinin sağlanması açısından adyabatik oksidasyon yöntemi, çeşitli kömürlerin kendiliğinden yanmaya yakınlıklarının ölçülmesi için en uygun teknik olarak ortaya çıkmaktadır. Buna rağmen bu teknik, deneylerin uzun zaman alması düzeneklerin tasarımı ve çalışma sistemi gibi konularda bazı zorluklar sunmaktadır.

Kömürün kendiliğinden yanmaya yakınlığının belirlenmesi için kullanılacak laboratuvar yöntemi; oksidasyona bağlı ısı oluşumunun, neme bağlı ısı oluşumunun ve oksitlenme-nemlilik proseslerine bağlı ısı oluşumlarının saptanmasına elverişli olmalıdır. Ne yazık ki böyle bir laboratuvar yöntemi henüz geliştirilememiştir. Literatürde yanabilirliğin saptanmasında kullanılan çeşitli laboratuvar yöntemleri ve risk indeksleri olmasına rağmen, bunlardan hiçbirisi kömürün kendiliğinden yanması nedeniyle oluşabilecek riski önceden bildirmesi açısından genel bir kullanıma sahip değildir. Birbirlerine göre genel bir üstünlükleri de yoktur. Halen, kömürlerin kendiliğinden yanma potansiyelini bütünüyle değerlendiren basit, kolay ve objektif bir yöntem bulunmamaktadır. Bununla beraber, araştırmacılarca pratik yöntemlerin daha çok seçildiği görülmektedir.

## 6.4. RİSK İNDEKSLERİ

Kendiliğinden yanma sorunu ile sistematik olarak mücadele edebilmek için genellikle kabul görmüş en yaygın yaklaşım, kömür damarlarını beklenen riske göre sınıflandırmak ve sonrasında yüksek riskli damarlarda gerekli önlemleri almaktır. Çeşitli madencilik parametrelerini de kapsayan kendiliğinden yanma riskinin saptanması ve kömür damarlarının saptanan bu riske göre sınıflandırılması için çeşitli ülkelerde gelişme içinde olan çalışmalar vardır. Bu çalışmalar, başlıca üç gruba ayrılabilir (Didari 1988);

- Geçmiş deneyimlere dayanan pratik yöntemler
- Kömürün doğal yatkinliğini değerlendiren laboratuvar yöntemleri
- Kritik çevresel faktörleri ve laboratuvar deneylerinin sonuçlarını birlikte değerlendiren yöntemler

### 6.4.1. Geçmiş Deneyimlere Dayanan Pratik Yöntemler

Kendiliğinden yanma risk indeksine göre kömür damarlarını sınıflandırmanın en pratik yöntemi “kuluçka süresi” (incubation period) kavramıdır. Bu süre kendiliğinden yanmaya yatkinlığın bir göstergesi olarak kullanılabilir. Kuluçka süresi genellikle, bir panoda kömürün kazılmaya başlamasıyla ilk ısınma belirtilerinin ortaya çıkması arasında geçen zaman olarak tanımlanır. Düşük ranklı kömürler için bu süre genellikle 3-6 ay arasında değişirken, yüksek ranklı kömürlerde 9-18 ay arasında değiştiği gözlenmiştir. Kuluçka süresi yöntemine göre, kendiliğinden yanma riski Çizelge 6.3’de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 6.3. Kuluçka süresi risk indeksi (Singh 1986).

Kuluçka Süresi (ay)	Risk İndeksi	Sınıflama
0 - 3	>40	Çok yüksek risk
3 - 9	20 - 40	Yüksek risk
9 - 18	10 - 20	Orta risk
>18	1 -10	Düşük risk

Örneğin yakın zamana kadar Zonguldak Kömür Havzası’nda kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkinliklarına göre sınıflandırılması tamamen geçmiş tecrübeler üzerine bina edilmiştir. Bu, birçok durumlarda güvenilmez ve hatalı sonuçlar ortaya koymuştur. Bu nedenle, Zonguldak havzası da dâhil kömür damarlarının kendiliğinden yanmaya yatkinliklarını değerlendirmek ve daha gerçekçi, sistematik bir biçimde sınıflandırmak için daha güvenilir bir teknığe gereksinim vardır (ZEDEM 1994).

Havzanın uzun yıllar çalışılan damarlarında, komşu damarlarda veya aynı damarın diğer panolarında çalışılırken edinilen deneyimlere göre, havzaya özgü bir sınıflandırma geliştirilmiştir. Bu teknik, Zonguldak havzası kömür ocaklarında uzun yıllar kullanılmıştır. Bir kömür damarında meydana gelen yangınların sayısı üzerine bina edilen bu teknikte, havzadaki her bir işletme için kömür damarları; düşük, orta, yüksek riskli olarak saptanmış ve yüksek riskli panolarda kömür kızışmalarına karşı önceden önlemler alınmıştır (Didari 1988). Buna göre damarlar;

I.Derece: Daha önce kendiliğinden yanmanın meydana geldiği ve çok fazla yanma tehlikesi olduğu bilinen damarlar,  
 II.Derece: Yanma olaylarının sık görülmediği, ancak yanma tehlikesi olasılığı bulunan damarlar. Bu gruba, I. dereceye giren damarlardan bazıları dâhil edilebilir,  
 III.Derece: Hiç yangın çıkmayan ve hiçbir özel önleme gerek görülmeyen damarlar,

olarak sınıflandırılmıştır. Çizelge 6.4'de Zonguldak havzası kömür damarları için, bu yönde yapılan bir sınıflandırma gösterilmektedir (Dündar vd. 1977).

Çizelge 6.4. Zonguldak Havzası kömür damarlarının kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırılması (Dündar vd. 1977).

Bölge ve Bölüm	I. Derece	II. Derece	III. Derece
<b>Armutçuk Bölgesi</b> Kandilli Bölümü Kireçlik Bölümü Alacaağzı Bölümü	Büyük Üçköylü –	Üçköylü Büyük Küçük	Diğer Damarlar Diğer Damarlar Diğer Damarlar
<b>Kozlu Bölgesi</b> İ.Harman Bölümü İhsaniye Bölümü	Acılık, Çay Acılık, Çay	Hacıpetro Hacıpetro, Sulu	Diğer Damarlar Diğer Damarlar
<b>Üzülmez Bölgesi</b> Asma Bölümü Dilaver Bölümü Çaydamar Bölümü	– – Çay (eski)	– Acılık, Çay Acılık, Çay	Diğer Damarlar Diğer Damarlar Diğer Damarlar
<b>Karadon Bölgesi</b> Kilimli Bölümü Karadon Bölümü Gelik Bölümü	Acılık, Çay Acılık, Çay Acılık, Çay	Domuzcu, Sulu Büyük, Sulu Çınarlı	Diğer Damarlar Diğer Damarlar Diğer Damarlar
<b>Amasra Bölgesi</b>	Kurudere, Kalın, Taşlı	Domuzcu, Sulu I. Damar, İnce	

#### 6.4.2. Kömürlerin Doğal Yatkınlığını Değerlendiren Yöntemler

Tutuşma sıcaklığı ve DTA deneylerinden elde edilen zaman sıcaklık eğrileri ve termogramların incelenmesi sonucunda geliştirilen bu yöntemler şunlardır:

#### 6.4.2.1. FCC İndeksi

Feng vd. (1973) tarafından geliştirilen bu indeks, tutuşma sıcaklığı ve 110-220 °C arasındaki ısınma hızını temel almaktadır. Bu indeks değeri kendiliğinden yanmaya yatkınlık ile artmaktadır (Eşitlik 3).

$$FCC = \frac{110-220 \text{ }^{\circ}\text{C arasındaki ortalama sıcaklık artışı}}{\text{Kesişme noktası sıcaklığı}} \times 1000 \quad (\text{Eşitlik 3})$$

İndekste, kömürden uçucu madde çıkışının ve nemin buharlaşmasının etkisini önlemek için 110-220 0° arasındaki ısınma oranı kullanılmıştır. Çizelge 6.5'de farklı kömürlerin yatkınlıklarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılan indeks değerlerini göstermektedir (Feng vd. 1973).

Çizelge 6.5 .Kesişme noktası sıcaklığı sonuçlarına göre risk sınıflandırması (Feng vd. 1973).

Risk İndeksi	Risk Sınıfı
0-5	Düşük
5-10	Orta
>10	Yüksek

Gouws ve Wade (1989), FCC indeksinde rasgele olarak seçilen bu sıcaklıkların olumsuz etkilerinden kurtulabilmek için, 110-220 °C arasındaki sıcaklık artışı yerine, termogramın II. aşamasının eğiminin yer aldığı bir indeks önererek, FCC indeksini değiştirmişlerdir. İndeksin ifadesi (Eşitlik 4);

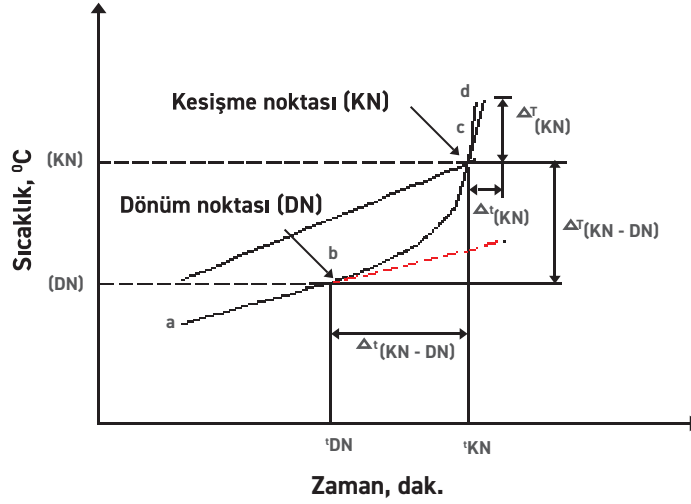
$$FCC_{\text{mod}} = \frac{\text{Termogramın II. aşamasının eğimi}}{\text{Kesişme noktası sıcaklığı}} \times 1000 \quad (\text{Eşitlik 4})$$

şeklindedir. Burada,

$FCC_{\text{mod}}$  :Değiştirilmiş FCC indeksi olarak kullanılmaktadır.

#### 6.4.2.2. MR İndeksi

Gouws ve Wade (1989) gibi Mahadevan ve Ramlu (1985)'da, FCC indeksindeki sıcaklık sınırlarının keyfi seçiminden doğan bazı sakıncaları gidermek için bir başka indeks önermişlerdir. Bu teknikte, kesişme noktası deneylerinden elde edilen zaman-sıcaklık eğrileri dilimlere ayrılarak analiz edilmiş (Şekil 6.4) ve indeks saptanmıştır (Eroğlu 1992).



Şekil 6.4 Kömürün ısınma eğrisinin analizi (Mahadevan ve Ramlu 1985).

Eğrilerin analizinde aşağıdaki yol izlenmiştir:

- 1) a-b; burası ilk dikkate değer ısınma hattıdır. b noktası “dönüm noktası” (inflection point) olarak isimlendirilir.
- 2) b-c; DTA termogramındaki II A aşamasına eşdeğer olan aralıktır ve dönüm noktası ile kesişme noktası arasında temsil etmektedir.
- 3) c-d; kesişme noktasından aktif yanma noktasına kadar olan dilimdir ve bir termogramın II B aşamasına karşılık gelmektedir.

MR indeksi aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir (Eşitlik 5).

$$MR = \frac{\left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{KN} * t'_{DN}}{\left( \frac{\Delta T}{\Delta t} \right)_{KN-DN} * t'_{KN}} \times 10 \quad (\text{Eşitlik 5})$$

Burada,

- MR :Mahadevan ve Ramlu tarafından geliştirilen indeks  
 $\Delta T_{KN}$  :Aktif yanma noktası sıcaklığı ile kesişme noktası sıcaklığı arasındaki fark, °C  
 $t'_{KN}$  :Aktif yanma noktası sıcaklığına karşılık gelen zamanla kesişme noktası sıcaklığına karşılık gelen zaman arasındaki fark, dakika  
 $t'_{DN}$  :Dönüm noktası sıcaklığına karşılık gelen zaman, dakika  
 $t'_{KN}$  :Kesişme noktası sıcaklığına karşılık gelen zaman, dakika  
 $\Delta T_{KN-DN}$  :Kesişme noktası sıcaklığı ile dönüm noktası sıcaklığı arasındaki fark, °C  
 $\Delta t_{KN-DN}$  :Kesişme noktası sıcaklığına karşılık gelen zamanla dönüm noktası sıcaklığına karşılık gelen zaman arasındaki fark, dakika

Eşitlik 5'de verilen MR indeksinin değeri yükseldikçe, yatkinlık azalmaktadır. İndeks değeri ile yatkinlık arasındaki paralellığı sağlamak için araştırmacıların önerdiği üzere Eşitlik 5 ile hesaplanan değerlerin tersi 100 sayısı ile çarpılarak, yatkinlık değerlendirilmektedir. Buna göre yapılacak yorumlarda Çizelge 6.6.'daki değerler kullanılmaktadır (Mahadevan ve Ramlu, 1985, Eroğlu 1992).

Çizelge 6.6. MR indeksi (Mahadevan ve Ramlu, 1985).

İndeks	Kendiliğinden Yanmaya Yatkinlık
0-10	Düşük
10-20	Orta
>20	Yüksek

#### 6.4.2.3. WITS-EHAC İndeksi

1989'da Güney Afrika'da Gouws ve Wade tarafından, kesişme noktası sıcaklığı ve DTA deneylerinden faydalanılarak, yeni bir indeks geliştirilmiştir. Wits-EHAC adı verilen bu indekste, kesişme noktası sıcaklığının tersi ve termogramın II. aşamasının eğimi kullanılmıştır. Bu iki karakteristik değer kullanılarak bir üçgen oluşturulmuş ve bu üçgenin alanı indeks değeri olarak kabul edilmiştir (Şekil 6.5). İndeks artarken kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkinlıkları da artmaktadır (Gouws ve Wade 1989). İndeksin ifadesi aşağıda gösterildiği gibidir (Eşitlik 6).

$$Wits- EHAC = \frac{0,5x II. Aşama eğimi}{Kesişme noktası sıcaklığı} x 1000 \quad (\text{Eşitlik 6})$$

Burada,

Wits-EHAC: Gouws ve Wade tarafından geliştirilen bünyesel yatkinlık indeksi olmaktadır.



Şekil 6.5. Kömürün kendiliğinden yanma karakteristikleri tarafından oluşturulan üçgen (Gouws ve Wade 1989, Eroğlu 1992).



## 6.5. KRİTİK ÇEVRESEL FAKTÖRLERİ VE LABORATUVAR DENEYLERİNİN SONUÇLARINI BİRLİKTE DEĞERLENDİREN YÖNTEMLER

Bu çalışmalar, kömür örnekleri üzerindeki laboratuvar çalışmalarından elde edilen sonuçlara ek olarak, kritik jeolojik ve madencilik faktörlerine değerler atanarak yapılan çalışmalardır.

Bunların en çok bilinenleri şunlardır:

- Polonya Yöntemi (Olpinski İndeksi)
- Feng ve arkadaşları tarafından geliştirilmiş risk indeksi (FCC İndeksi)
- Nottingham Üniversitesi araştırma ekibi tarafından değiştirilerek kullanılmış olan Bystron ve Urbanski yöntemi
- Banerjee tarafından önerilmiş kuramsal yöntem
- Adyabatik yöntem
- Alman yöntemi

### 6.5.1. Polonya Yöntemi (Olpinski İndeksi)

Olpinski ve onun öncüsü olduğu ekolün ürünü olan Polonya Yöntemi, meydana gelen yangın olaylarının istatistiksel olarak analiz edilmesiyle formüle edilmiştir. “Yangın Riski İndeksi”; kuru külsüz bazdaki kömür örneğinin, laboratuvarında belirlenen kendiliğinden yanma derecesine bağlı bir sayı ile kömürün kendiliğinden yanmasında etkili kritik faktörlere atanan sayısal değerlerin toplamından oluşmaktadır. Çizelge 6.7’de bu kritik faktörler gösterilmektedir (Banerjee, 1985; Singh, 1986). İndeksin genel ifadesi aşağıdaki gibidir (Eşitlik 7).

$$P_s = S_{zb} + (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7) \quad (\text{Eşitlik 7})$$

Burada;

$P_s$	:	Yangın riski
$S_{zb}$	:	Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığı (laboratuvarlarda kuru-külsüz bazda saptanır)
$S_1$	:	Göçükte kalan kömür
$S_2$	:	Çalışma yöntemi
$S_3$	:	Havalandırma yöntemi
$S_4$	:	Göçüğe hava kaçağı
$S_5$	:	Kömür damarlarının nemi
$S_6$	:	İşletmenin derinliği
$S_7$	:	Havalandırmanın yoğunluğu

olmaktadır.

Çizelge 6.7. Kendiliğinden yanmayı etkileyen kritik faktörler (Singh, 1986).

Ocak Çevresi		
Kömür Özellikleri	Jeolojik Özellikler	Madencilik Özellikleri
1.Düşük rank 2.Yüksek nem 3.Yüksek pirit içeriği 4.Yüksek kırılmalık	1.Kömür damarındaki süreksizlikler 2.Kırılğan tabakalar 3.Kalın damarların ikinci derecede kömür bantları içermesi 4.Yüzeğe yakın damarlar 5.Birbirine yakın pek çok damar	1.Göçüklerde terk edilen yüksek kayıplar 2.Tabaka hareketlerine bağlı aşırı çatlaklar 3.Yüzeğe yakın damarlarda göçertmeli çalışma sonucu yüzeyle irtibatın sağlanması 4.Kalın damarların göçertmeli çalışılması-Damarların kısmi çalışması 5.Havalandırmada dengesizlikler, yüksek basınç farkları
Doğal faktörler (Kontrol edilemez)		Dış Faktörler (Kontrol edilebilir)

S<sub>1</sub>'den S<sub>7</sub>'ye kadar sıralanan faktörlere -15/+15 arasında değişen sayısal değerler verilmektedir. Ps'nin 120'den büyük olması durumunda koşullar güvensiz olarak kabul edilir ve böyle durumlarda gerekli tasarım ve organizasyon düzenlemelerine gidilir. Çizelge 6.8'de gösterildiği gibi kömürlerin kendiliğinden yanma riski, Szb değerine göre sınıflandırılmıştır (Banerjee 1985; Denby ve Ren 1992).

Çizelge 6.8. Olpinski risk indeksi (Banerjee 1985).

Risk Sınıfı	Kendiliğinden Yanmaya Yatkinlık	Szb (°C/dak.)
I	Risksiz	<80
II	Düşük riskli	80 - 100
III	Orta riskli	100 - 120
IV	Yüksek riskli	>120

### 6.5.2. FCC Yöntemi

Aynı amaçlı bir yaklaşım Feng vd. (1973) tarafından önerilmiş; kömür kaybı, çatlaklar ve havalandırma basınç kayıplarını temel alan bir çevre indeksi ile içsel faktörlere dayanan bir yatkinlık indeksi kullanılmıştır. Kendiliğinden yanmayı etkileyen bu çevresel faktörlerin normal değerlerinden herhangi bir sapma olması durumunda, çevre indeksi değerinde bir artış meydana gelmekte ve yangın riski indeksi bu duruma uyararak tahmin edilmektedir. Çizelge 6.9'da yatkinlık ve çevre indeksinin sayısal değerleri verilmiştir (Singh vd. 1984). Daha sonra, yatkinlık ve çevre indekslerinin çarpılmasıyla risk indeksi bulunur (Eşitlik 8).

$$\text{Risk indeksi} = (\text{Yatkinlık indeksi}) * (\text{Çevre indeksi}) \quad (\text{Eşitlik 8})$$

Çizelge 6.9. Yatkinlık ve çevre indeksi (Singh vd. 1984).

		Kendiliğinden Yanmaya Yatkinlık			İndeks
Yatkinlık İndeksi	Düşük				0 - 5
	Orta				5 - 10
				Yüksek	>10
Çevre İndeksi	Grup	Kömür Kayıpları	Tabaka Kırılmaları	Havalandırma Basınç Farkı	İndeks
	A	Normal	Doğal	Normal	1
	B	Yüksek	Doğal	Normal	2
		Normal	Yüksek	Normal	
	C	Normal	Doğal	Yüksek	3
Yüksek		Yüksek	Doğal		
D	Yüksek	Yüksek	Yüksek	4	

Risk indeksinin değerlendirilmesinde Çizelge 6.10.'dan faydalanılır.

Çizelge 6.10. Risk İndeksi (Singh vd. 1984).

Risk İndeksi	Kendiliğinden Yanmaya Yatkinlık
0-10	Düşük
10-20	Orta
20-40	Yüksek

### 6.5.3. Bystron ve Urbanski Yöntemi

Bystron ve Urbanski (1975) stoklardaki kömürlerin kendiliğinden yanma risklerinin belirlenmesine kuramsal bir yaklaşım getirmişlerdir. Bu yaklaşım, çeşitli faktörlerin risk değerleri üzerine bina edilmiştir. Çizelge 6.11'den de görüldüğü gibi, yöntemde içsel ve çevresel faktörlerin her ikisi de dikkate alınmaktadır (Singh 1986).

Çizelge 6.11. Bystron ve Urbanski tarafından önerilen risk değerleri.

Faktörler		Risk değeri
İçsel	1. Kömür rankı	+1 / +8
	2. Kül içeriği	0 / -2
Çevresel	1. Çevre	0 / +2
	2. Stok yöntemi	+8 / -25
	3. Stoktaki kömür kütlesi	0 / +10
	4. Stok yüksekliği	-5 / +8
	5. Stok içine hava girişini kolaylaştıran etkenler	0 / +6
	6. Stoklama zamanı	+10 / -1
	7. İzleme	+5 / -10

Bystron ve Urbanski (1975) tarafından önerilen bu yöntem Nottingham Üniversitesi araştırmacılarınca değiştirilerek yeraltı kömür madenciliğine uygun duruma getirilmiştir. Yöntemde hem kömür özellikleri, hem üretim karakteristikleri ve hem de çevre koşulları göz önünde tutulmakta, aktüel koşullara göre bir puanlama yapılmaktadır. Çizelge 6.12'deki faktör gruplarından, koşullara uygun risk değerleri seçilerek toplam risk değeri hesaplanmaktadır. Toplam risk değeri hesaplandıktan sonra Çizelge 6.13'e göre bir değerlendirme yapılmaktadır (Singh 1986; Saraç, 1992).

Çizelge 6.12. Kömür ocaklarında değiştirilmiş Bystron ve Urbanski tekniğine göre kendiliğinden yanmanın değerlendirilmesi (Singh vd. 1984, Demirbilek 1986).

Faktör Cinsi	Faktör Sınıflaması	Sayısal değer
İ F Ç A S T E Ö L L E R	<b>Kömür Özellikleri:</b>	
	Grup 1: Düşük duyarlılık (antrasit ve yarı antrasit) Isınma hızı < 0,4 °C/h	+1
	Grup 2: Orta duyarlılık (kok kömürü) Isınma hızı 0,4 - 0,8 °C/h	+2
	Grup 3: Yüksek duyarlılık (taşkömürü, bitümlü kömür) Isınma hızı 0,8 - 1,5 °C/h	+4
	Grup 4: Çok yüksek duyarlılık (linyit, düşük bitümlü kömür) Isınma hızı > 1,5 °C/h	+8
Ç E V R E S E L  F A K T Ö R L E R	<u>Çevredeki damarların durumu:</u>	
	• İnce	0
	• Tavanda terkedilen ince kömür	+2
	• Tavanda terkedilen kalın kömür	+5
	<u>Kül içeriği (%):</u>	
	• ≤20	0
	• 21 - 30	-1
	• >30	-2
	<u>Göçüğün durumu:</u>	
	• İyi kapanan tavan	0
	• Askıda kalan tavan (göçmeyen tavan)	+4
	<u>Madencilik yöntemi:</u>	
	• Klasik dolgulu uzun ayak	+8
	• Tabanyolu dolgulu uzun ayak	+4
• Dönümlü uzun ayak	+1	
• Dönümlü uzun ayak, çift taban yolu	+8	
<u>Damarın alınması:</u>		
• Damarın hepsinin alınması	0	
• Tavanda 0,2 - 0,5 m kalınlıkta kömür bırakılması	+5	
• Tavanda 0,5 m'den fazla kömür bırakılması	+8	
<u>Damar kalınlığı:</u>		
• ≤1,5 m	-1	
• 1,5 - 3 m	+2	
• >3 m	+3	
• Kalın damarda dilimli üretim	+8	
<u>Havalandırma yöntemi:</u>		
• Klasik	0	
• Üst taban yolunda metan kontrolü için vantilatör ve hava borusu	+4	
<u>Günlük ilerleme:</u>		
• <1,0 m	+5	
• 1,5 - 2,5 m	+2	
• >2,5 m	0	
<u>İzleme yöntemi:</u>		
• Yok	+5	
• Klasik	-2	
• Sürekli izleme	-7	

Çizelge 6.13. Çevresel faktörler ve adyabatik deney sonuçlarını temel alan kendiliğinden yanma risk sınıflandırması (Singh vd. 1984).

Adyabatik Deney Sonuçları		Adyabatik Deneyle Elde Edilen Risk Oranı	Toplam Risk İç + Dış Faktörler	Kuluçka Süresi (ay)	
Risk Sınıfı	Toplam Sıcaklık Artışı (°C)				Başlangıçtaki Isınma Oranı (°C/h)
Düşük	<2.5	<0.4	1	1 - 10	>18
Orta	2.5 -4.5	0.4 - 0.8	2	11 - 20	9 - 18
Yüksek	4.5 - 7.0	0.8 - 1.5	4	21 - 40	3 - 9
Çok Yüksek	>7.0	>1.5	8	>40	0 - 3

#### 6.5.4. Banerjee tarafından Önerilmiş Kuramsal Dizayn

Banerjee, bir madencilik olayını kendiliğinden yanma açısından tanımlamak üzere 22 takım parametre belirlemiştir (Çizelge 6.14). Her bir parametrenin etkisini “düşük” ve “yüksek” olarak belirlemiş ve bu 22 takımdan girecek değerlerle oluşacak bir indeks önermiştir. Ancak, daha sonra kendisi de “düşük” ve “yüksek” şeklindeki belirtmeyi yetersiz görerek, gerçek koşulların incelenmesi ve istatistiksel olarak değerlendirilmesi ile nümerik değerlerin konulmasının daha doğru olacağını vurgulamıştır (Banerjee 1985). Bu yaklaşım, henüz yaşama geçirilmemiştir.

Çizelge 6.14. Baneerje'nin parametre takımları (Banerjee 1985).

No	Madencilik Parametresi		Kendiliğinden Yanmaya Yatkinlik	
1	Kömürün sınıfı	a. Kendiliğinden yanmaya yüksek yatkinlik b. Kendiliğinden yanmaya düşük yatkinlik	Yüksek -	- Düşük
2	Kömürün gevrekliği	a. Yüksek kırılgenlik b. Düşük kırılgenlik	Yüksek -	- Düşük
3	Çalışma Yöntemi	a. Oda-topuk ve topuklu yöntem b. Uzun ayak yöntemi	Yüksek -	- Düşük
4	Tavan kontrolü	a. Göçertmeli yöntem b. Tamamen dolgulu yöntem	Yüksek -	- Düşük
5	Damar kalınlığı	a. 5 metreden kalın b. 4 metreden ince	Yüksek -	- Düşük
6	Kazının şekli	a. Kısmi kazı yapılması b. Tamamen kazı	Yüksek -	- Düşük
7	Kazının doğası	a. Dilimli üretim b. Dilimlere ayırmadan üretim	Yüksek -	- Düşük
8	Jeolojik süreksizlikler	a. Bulunması b. Bulunmaması	Yüksek -	- Düşük
9	Damardaki bantlar	a. Bulunması b. Bulunmaması	Yüksek -	- Düşük
10	Dayklar	a. Bulunması b. Bulunmaması	Yüksek -	- Düşük
11	Örtü tabakası	a. 300 metreden fazla b. 300 metreden az	Yüksek -	- Düşük
12	Parçalanma	a. Çatlaklı yapı b. Sağlam yapı	Yüksek -	- Düşük
13	Barajların çevresindeki arazi durumu	a. Çatlaklı ve kırıklı b. Katılaşımış (sızdırmaz)	Yüksek -	- Düşük
14	Kömürün gevrekliği, tavan alçalması ve makine ile kazı gibi nedenlerle ince toz birikimine karşı önlem	a. Var b. Yok	Yüksek -	- Düşük
15	Havalandırma yöntemi	a. Üfleyici b. Emici	Yüksek -	- Düşük
16	Havalandırma basıncı	a. Yüksek basınç farkı b. Düşük basınç farkı	Yüksek -	- Düşük
17	Nemlilik	a. Islak b. Kuru	Yüksek -	- Düşük
18	Yüksek sıcaklık kaynakları	a. Var b. Yok	Yüksek -	- Düşük
19	Gaz emisyon oranı	a. Düşük b. Yüksek	Yüksek -	- Düşük
20	Panoların boyu	a. Uzun b. Kısa	Yüksek -	- Düşük
21	İlerleme hızı	a. Yavaş b. Hızlı	Yüksek -	- Düşük
22	Tektonizma nedeniyle arın ilerlemesinin durması	a. Söz konusu b. Söz konusu değil	Yüksek -	- Düşük

### 6.5.5. Alman Yöntemi

Almanya'da panoların risk değerlendirmesinde kullanılan parametrelere atanacak değerler ve değerlendirme tekniği Çizelge 6.15'de verilmektedir. Görüldüğü üzere, bu yöntem Bystron-Urbanski ve Olpinski tekniklerinin bir karması gibidir (ZEDEM 1993).

Çizelge 6.15 ile ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir:

- a) (A) sütunu kendiliğinden yanma olayındaki ağırlıklarına göre faktörlere atanan değerlerin çarpılacağı katsayıları göstermektedir.
- b) (B) sütunu pano ve damar koşulları değerlendirilerek faktörlere atanacak değerleri göstermektedir.
- c) 1, 2 ve 3 rakamları söz konusu panoda uygulanabilecek yöntem seçenekleri olup ilerletimli/göçertmeli, dönümlü/göçertmeli, ilerletimli/dolgulu, dönümlü/dolgulu, çapraz/dolgulu, topuklu/göçertmeli vb sıralanabilir. Örneğin; göçertmeli çalışacak bir panoda 1. seçenek ilerletimli, 2. seçenek dönümlü olarak yazılabilir.
- d) 1, 2 ve 3 sütunlarına ayrı ayrı A ve B değerlerinin çarpımları yazılacaktır. Böylece, uygulanabilir seçeneklerin toplam risk sayısını ( $\Sigma AxB$ ) ne oranda etkilediği açık olarak görülebilecektir.
- e) Tüm koşulların en ağır olması halinde Risk Sayısı = 550 olacaktır. En olumlu koşullarda ise "sıfır"dır. Buna göre risk sayısının değerlendirilmesi yapılacaktır.
- f) Taşkömüründe çalışılması nedeni ile 1 katsayılı faktöre atanacak değerler 5'den başlatılmıştır. En yüksek katsayılarla (8,9,10) sahip faktörlere dönümlü çalışmada atanacak değerler "sıfır"dır.

Çizelge 6.15. Alman risk değerlendirme yöntemi (ZEDEM 1993).

Katsayı (A)	Değerlendirilecek Faktörler		Faktörlere Atanacak Değerler  (B)	Üretim Yönteminde Seçenekler (A x B)		
				1	2	3
	Damarın rankı Yanma özgeçmiş Laboratuvar bulguları	İç Faktörler Grubu	5-10			
	Eğim	0 - 36° 36 - 54° 54 - 90°	1 - 3 4 - 6 7 - 10			
	Kalınlık	<1.4 m 1.4 - 2.0 m 2.0 - 3.0 m >3.0 m	1 - 2 3 - 4 5 - 7 8 - 10			
	Pirit	-yok -yer yer -her yerde -çok fazla	0 1 - 3 4 - 6 7 - 10			
	Damar içi arızalar (ataklar)	-yok -az (1-2 adet) -orta (2-3 adet) -çok (3'den fazla)	0 1 - 3 4 - 6 7 - 10			
	Tavanda kalan kömür Ayak içinde topuk	-yok -az (kalınlığın %5-10'u kadar) -orta (%10-20) -çok (%20'den fazla)	0 1 - 3 4 - 6 7 - 10			
	Arın ilerleme hızı	≥1,0 m/gün 0,5 - 1,0 m/gün <0,5 m/gün	0 1 - 5 6 - 10			
	Hava kaçaklarına karşı önlemler	-gerekmiyor -hidrolik dolgu, köpük (alt taban yolu kenarı) -diğer (taşlı domuz damı vb.) -önlem alınmamış	0 1 - 2 3 - 5 6 - 10			
	Ayak başlama topuğunda önlemler	-gerekmiyor -hidrolik dolgu, köpük vb. -diğer (keson vb.) -önlem alınmamış	0 1 - 2 3 - 5 6 - 10			
	Hava kaçakları	yok -önemsiz -önemli	0 1 - 5 6 - 10			
			RİSK SAYISI Σ(AxB)			



### 6.5.6. Yöntemlerin Karşılaştırılması

Yukarıda açıklanan bütün sınıflandırma sistemleri ya geçmiş deneyimlere, ya laboratuvar yöntemlerine, ya da iç ve dış faktörlerin birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır. Çizelge 6.16'da, kullanılan bu yöntemlerin bazılarının ilkeleri ve sınırlamaları gösterilmektedir (Singh 1986).

Çizelge 6.16. Kendiliğinden yanma risk indekslerinin karşılaştırılması (Singh 1986).

Yöntem	Yöntemin İlkeleri	Yöntemin Sınırlamaları (°C/dak.)
Kuluçka Süresi	Panoda kömürün kazılmaya başlanmasıyla ilk ısınma belirtilerinin ortaya çıkması arasında kalan zamanı temel almaktadır.	Planlama ve tasarım aşamaları süresince kesin olarak hiçbir şey yapılamaz. Kızışmaların şiddeti ve sayısı ancak gelecekteki çalışmalarda bir ölçüt olarak kullanılabilir.
Olpinski Yöntemi	Riskin derecesini tahmin etmek için belirli faktörlere değerlerin atanması sonucunda $P_s > 120$ ise riskli, $P_s < 120$ ise emniyetli olarak değerlendirme yapılır.	Lokal tecrübelerle dayanır, geniş uygulamalarda kişisel kararlar sorumluluk almak kolay değildir.
FCC Yöntemi	Risk indeksi; çevre indeksi ve yatkınlığın çarpılmasıyla elde edilir.	Yatkınlık indeksi dolaylı olarak saptanır. Çevre indeksi birkaç faktörün saptanması temeline dayanmaktadır.
Bystron ve Urbanski Yöntemi	Çeşitli faktörlere dayanılarak riskin atanması temeline dayanır.	Yetersizdir, fakat pratik problemlerin çözümü için uygun gözükmektedir.
Banerjee'nin önerisi	İç faktörler kadar, çeşitli madencilik parametrelerini de içermektedir.	Karmaşıktır.

# BÖLÜM 7

## KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIĞININ BELİRLENMESİNDE ZBEÜ MADEN MÜHENDİSLİĞİ OLARAK KULLANILAN LABORATUVAR YÖNTEMİ

Hazırlayanlar  
Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan KAYMAKÇI  
Doç. Dr. Mehmet BİLEN

### 7.1. GİRİŞ

Kömürlerin kendiliğinden yanma olasılığı çoğunlukla kesişme noktası sıcaklık tayinleri ile karakterize edilmektedir. Çeşitli araştırmacılar (Chen ve Chong 1998, Şensöğüt ve Çınar 2000, Wang ve diğerleri 2009, Xu ve diğerleri 2012, Qi ve diğerleri 2013), farklı türdeki kömürlerin kendiliğinden yanmasına yol açan ısıtma ve oksidasyon özelliklerini araştırmak için çeşitli deneysel sistemlerde Kesişme Noktası Sıcaklığı (K.N.) yöntemini önerdiler (Xu et al. 2017). Bu amaçla bir reaktör içine yerleştirilen kömürün oksidasyonunu değerlendirmek için 40 ila 250 °C arasında değişen sıcaklıklar için çeşitli hava akışı ve oksidasyon koşulları altında sıcaklık programlı bir fırın kullanmışlardır (Bilen vd. 2019).

### 7.2. DENEY SETİ

Maden Sanayii İşverenleri Sendikası tarafından, işletmelerden alınarak Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarına gönderilen kömür örneklerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının tespiti çalışmaları laboratuvarlarda kurulu bulunan ve kesişme noktası sıcaklığı tekniğini esas alan deney setinde yürütülmüştür. Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığının saptanabilmesi için özel olarak tasarlanmış olan setin ana elemanları şunlardır.

- Kontrollü şartlar altında ısıtılan bir ortam (Fırın)
- İçine kömür konulan deney tüpü (Reaktör)
- Deney setine oksijen, azot veya hava verilmesini sağlayan mini bir kompresör
- Örnek ve ortamın sıcaklıklarının ölçülmesinde kullanılan sıcaklık ölçüm ve kayıt birimleri (termoçiftler ve kaydediciler)
- Sisteme verilen gaz veya gazlar için bir kurutma ve temizleme ünitesi

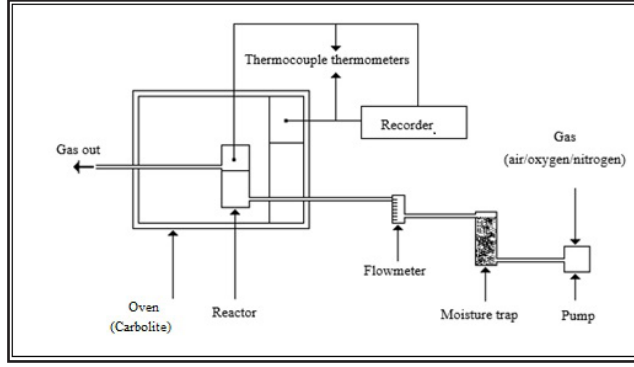
Kendiliğinden yanma deneyleri “kesişim noktası sıcaklığı yöntemi” esaslarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemde, sıcaklığı doğrusal hızla arttırılan bir fırın içerisine yerleştirilmiş olan bir reaktör içindeki kömür örneğinden hava geçirilmekte ve böylece kömürün oksidasyonu sağlanmaktadır. Deney sırasında hem fırın hem de örnek sıcaklıkları, bir termoçift yardımıyla, düzenli aralıklarla kaydedilmektedir. Deneylerde kullanılan birbirine paralel iki ayrı kendiliğinden yanma deney seti Şekil 7.1 ve Şekil 7.2’de gösterilmiştir. Bu iki sistemin de şematik gösterimi Şekil 7.3’de verilmiştir.



Şekil 7.1. Kendiliğinden yanma deney seti.

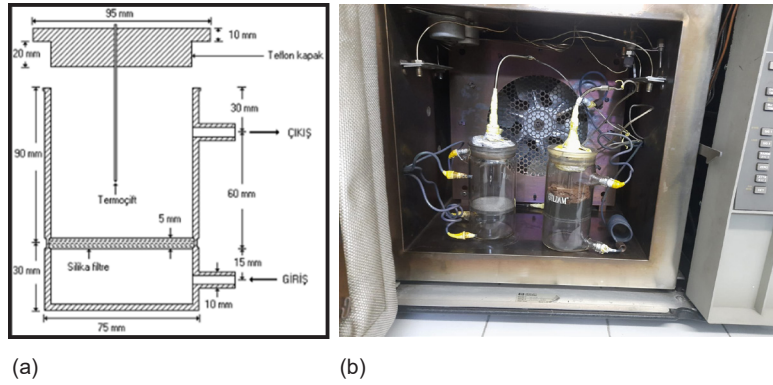


Şekil 7.2. Kendiliğinden yanmaya yatkınlığı ve çıkan gazların belirlenmesinde kullanılan deney seti.



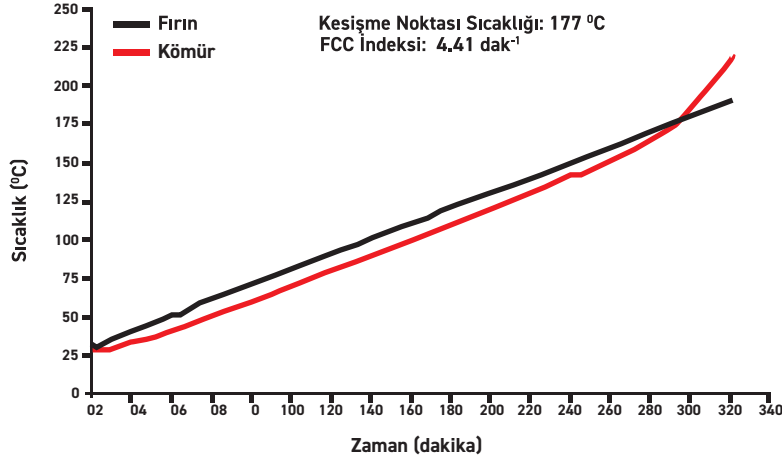
Şekil 7.3 Kendiliğinden yanma deney setinin şematik gösterimi (Bilen vd. 2019).

Deneylerde kömür örneğinin yerleştirildiği, ısıya dayanıklı ve özgün olarak tasarlanmış bir cam kap (reaktör) kullanılmıştır (Şekil 7.4). Reaktörün içine üzerine kömür örneğinin konulduğu bir silika filtre yerleştirilmiştir. Alttan giren hava, silika filtre ve kömür içinden geçerek çıkış borusundan dışarı atılmaktadır. Reaktörün ağzı, hava giriş-çıkışını engellemek için teflon kapakla kapatılmıştır. Teflon kapak üzerinde, reaktör içindeki kömür sıcaklığını ölçmek için kullanılan termociftlerin girebileceği kadar delikler bulunmaktadır.



Şekil 7.4. Deneylerde kullanılan reaktör. a) Şematik gösterim, b) Reaktöre ait bir görsel.

Deneyler sonucunda elde edilen tipik bir zaman-sıcaklık eğrisi Şekil 7.5'de gösterilmektedir.



Şekil 7.5. Tipik bir zaman-sıcaklık eğrisi (Rehabilitasyon Projesi 2020).

Deneylerin sonucunda, örneklerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığının belirlenmesi amacıyla, kesişme noktası, görece tutuşma sıcaklığı ve ortalama sıcaklık artışı değerleri saptanmakta ve FCC (Feng, Chakravorty, Cochrane) indeksi hesaplanmaktadır. Bu indekse göre örneğin kendiliğinden yanmaya yatkınlığı Çizelge 7.1'e göre değerlendirilmektedir.

Çizelge 7.1. FCC indeksine göre kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlık değerleri.

FCC Değeri (dak <sup>-1</sup> )	Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlık
0 - 5	Düşük
5 -10	Orta
> 10	Yüksek

Feng vd. (1973) tarafından geliştirilen bu indeks, tutuşma sıcaklığı ve 110-220 °C arasındaki ısınma hızını temel almaktadır. Bu indeks değeri kendiliğinden yanmaya yatkınlık ile artmaktadır (Eşitlik 9).

$$\text{İndeks FCC} = \frac{110-220 \text{ } ^\circ\text{C arasındaki ortalama sıcaklık artışı}}{\text{Kesişme noktası sıcaklığı}} \times 1000 \quad (\text{Eşitlik 9})$$

Kesişme noktası sıcaklığı ve 110-220 °C arasındaki ortalama sıcaklık artışı değerleri belirlendikten sonra, Çizelge 7.1.'de verilen FCC değerlerine göre yanmaya yatkınlık değerlendirilmektedir.

Yukarıda anlatılan yöntem uygun olarak Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kendiliğinden Yanma ve Gaz İçeriği Ölçüm Laboratuvarı'nda gerçekleştirilen kendiliğinden yanma deneylerine ait koşullar aşağıda verilmiştir.

Örnek Miktar	: 35 ± 0,1 g
Hava Debisi	: 100 ± 0,5 ml/dak
Fırın Sıcaklık Artışı	: 0,5 °C/dak
Veri Alma Sıklığı	: Sürekli (on-line kamera ile) (Pt100 sensörü ve sıcaklık dönüştürücü ile modbus üzerinden).

Kendiliğinden yanma deneyleri her bir kömür numunesi için hazırlanan 2 örnek üzerinde laboratuvarında kurulu bulunan her iki deney setinde paralel olarak gerçekleştirilmiştir.

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi (ZBEUN) laboratuvarlarında gerçekleştirilen deneyler sonucunda; en düşük kesişme noktası sıcaklığı 134 °C ile “Gümüşhane Başkan 3” kodlu örnek ile “Erzurum Şenkaya Tavan” kodlu örneklerde belirlenirken, en yüksek Kesişme Noktası Sıcaklığı 201 °C olarak KARADON 1 kodlu örneğin analizlerinde gözlemlenmiştir. Kömür örneklerinin kendiliğinden yanma deneyleri sırasında bir diğer parametre olan OSA(Ortalama Sıcaklık Artışı) değerleri 0.608 °C/dak ile 2.391 °C/dak arasında değişmektedir. Belirlenen bu sonuçlarla hesaplanan FCC indeks değerlerinin 3,06 dak-1 ile 13,90 dak-1 aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Her bir örneğe ait kesişme noktası sıcaklığı, OSA parametresi ve FCC indeks değeri proje nihai raporunda çizelge (Proje Nihai Rapor Çizelge 4. 1) halinde sunulmuştur. Analizi yapılan 101 kömür örneğinden, 18 kömür örneğinin kendiliğinden yanma yatkınlığı “DÜŞÜK” olarak tespit edilirken, 79 örneğin kendiliğinden yanma yatkınlığı “ORTA” olarak tayin edilmiş olup, kalan 4 örneğin ise kendiliğinden yanma yatkınlığı “YÜKSEK” olarak tespit edilmiştir.

Yapılan her bir analiz paralel olarak gerçekleştirilmiş ve elde edilen FCC indeks değerleri ve karşılık gelen risk sınıfları her bir örnek için teyit edilmiştir. Rapora konu olan kömürlerin üretilmesi sırasında kendiliğinden yanma yatkınlıkları konusunda dikkatli olunması ve belli aralıklarla kendiliğinden yanma analizlerinin tekrarlanması “ORTA” ve “YÜKSEK” yatkınlıklarda belirlenen kömür örnekleri için özellikle önerilmektedir.

Ayrıca çalışma kapsamında çeşitli kömür ocaklarından alınan ve ZBEUN Kendiliğinden Yanma Laboratuvarına gönderilen kömür örneklerinin kısa analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar çizelge haline getirilerek proje nihai raporunda verilmiştir. Çizelgedeki değerler incelendiğinde örneklerin nem içeriklerinin % 0.9 ile %41.7 arasında, kül içeriklerinin %3.94 ile %59.42 arasında, uçucu madde içeriklerinin %17.59 ile %52.36 arasında, kükürt içeriklerinin ise %0.2 ile %9.07 arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda kömür örneklerinin alt ısıl değerlerinin 1063 kcal/kg ile 7818 kcal/kg arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

## BÖLÜM 8

# POLONYA KÖMÜR MADENLERİ, SEKTÖR KURULUŞLARI VE MADEN ARAMA KURTARMA BİRİMİ İLE İLGİLİ TEKNİK GEZİ RAPORU

Hazırlayanlar  
Dr. Öğr. Üyesi Erdoğan KAYMAKÇI  
Doç. Dr. Serdar YILMAZ  
Doç. Dr. Özgür YILMAZ

### 8.1. GİRİŞ

Bu Teknik Rapor, Maden ve Sanayii İşverenleri Sendikası (MASİS) tarafından Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti'nin finansmanı ve Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'nün (MAPEG) desteği ile yürütülmekte olan "Yeraltı Kömür Madenlerinde Kendiliğinden Yanabilirlik Etüdü ile İSG Uygulamalarının İzlenebilirliğinin Artırılması" projesi kapsamında 5-9 Kasım 2022 tarihleri arasında Polonya'da faaliyet gösteren Polish Mining Chamber of Industry and Commerce adlı kuruluşun işbirliği ile Polonya-Çek Cumhuriyeti sınırında yer alan Katowice bölgesindeki bir yeraltı kömür madenini inceleme, kömür üreticisi firmalar ile bir araya gelme ve Maden Arama ve Kurtarma Organizasyonu ile görüşmeyi içermektedir.

Söz konusu teknik ziyareti gerçekleştiren ekip; MASİS'ten bir, TKİ'den bir MAPEG'ten iki, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nden üç, TİSK' den bir ve Polonya'daki danışmanlık firması yetkililerinden iki kişi olmak üzere 10 kişiden oluşmuştur.

İlk olarak T.C. Varşova Büyükelçiliği ziyaret edilmiştir. Bu ziyarette kömür madenciliğinin ülke için önemli olduğu ve Polonya'nın enerji ihtiyacının büyük bölümünün (%80) kömür tarafından karşılandığı vurgulanmıştır. Kömür madenciliğinin ülkenin doğu ve güneybatısında yapıldığına ilişkin bilgiler alınmış, ülkede madencilik ile birlikte otomobil sektörünün de çok geliştiğinin altı çizilmiştir. Hayvancılığa çok uygun bir ülke olması ve maliyetlerinin rekabetçi seviyelerde bulunması nedeniyle ticaretin diğer ülkeler yerine Polonya'ya kaydığı, 2049'a kadar AB kararları çerçevesinde kömür sahalarının kapatılmasının planlandığı ancak Rusya-Ukrayna savaşı nedeniyle kömür madenciliğinin tekrar gündeme geldiği hususlarında bilgiler alınmıştır.

Ardından Katowice'deki Brzeszcze Madencilik Tesisine ulaşılmış ve Maden Kurtarma İstasyonu ziyaret edilmiştir (Görsel 8.1).



Görsel 8.1. Brzeszcze Madencilik Tesisini maden kurtarma istasyonu görüntüsü.

Kurtarma İstasyonunda yeraltında herhangi bir kaza durumunda kazazedelerin kurtarılmasında kullanılan cihazlar, çeşitli gaz ölçüm aletleri, termal kameralar, kapalı devre solunum cihazları ve benzerleri mevcuttur. Ayrıca “Acil Durum Odası” ismi verilen bir mekânda ise göçük ve benzeri yerlerde kalan insanların kurtarılmasında kullanılan hidrolik pompa, hava yastığı ve benzeri cihazların tanıtımı yapılmıştır (Görsel 8.2, Görsel 8.3. ve Görsel 8.4.).



Görsel 8.2.  
Termal kamera.



Görsel 8.3.  
Kapalı devre solunum cihazı.



Görsel 8.4.  
Kurtarma aparatı.

Herhangi bir acil duruma müdahale etmek amacıyla 10 kişinin sürekli olarak alarında kaldığı merkezde görev alacak olan kişilerin (tahlisiyeciler) zor koşullara uyumlarının sağlanması amacıyla fiziki eğitimden geçirildikleri “training room” (Eğitim-Uygulama Odası) adı verilen bir mekân da mevcuttur (Görsel 8.5).



Görsel 8.5. Eğitim-Uygulama odası  
(Training room).

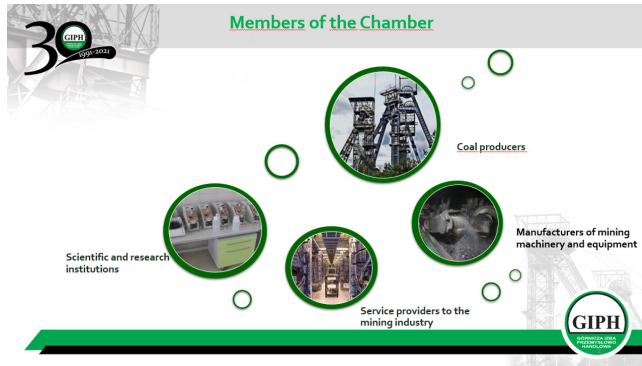
Daha sonra Enerji Grubu Tauron'a ait Janina Madencilik İşletmesi ziyaret edilerek ocak turnesi yapılmıştır (Görsel 8.6). İşletmede; 300 metre uzunlukta tam mekanize uzun ayak sistemiyle 4 vardiya üzerinden çalışılmakta olup, 4 metre kalınlığındaki damarda günde 13 bin ton üretim yapılmaktadır. Çok su gelirinün yaşandığı (20 m<sup>3</sup>/dakika) madende 2200 kişi istihdam edilmekte, 840 metre derinliğe hitap eden 5 kuyu bulunmakta ve zaman zaman küçük kazalar yaşanmaktadır.



Görsel 8.6.  
Kuyudan ocağa giriş.

Son olarak Katowice'deki Polonya Madencilik Sanayi ve Ticaret Odası (Polish Mining Chamber of Industry and Commerce) (GIPH) binasında yetkililerle toplantı yapılarak Polonya Madencilik Sektörü hakkında bilgi alınmıştır. Toplantıya Polonya Madencilik Sanayi ve Ticaret Odası Başkanı olmak üzere firma temsilcileri ve Merkez Maden Enstitüsü (Central Mining Institute)'nden katılım olmuştur.

Odanın üyeleri; Kömür Üreticileri, Bilimsel Araştırma Enstitüsü (GIG'in alt birimi), Madencilik Endüstrisine Hizmet Sağlayıcılar ve Madencilik Makine ve Ekipmanları Üreticilerinden oluşmaktadır (Görsel 8.7.).



Görsel 8.7. Polonya Madencilik Sanayi ve Ticaret Odası Üyeleri (GIPH).



2022 yılı itibariyle Polish Mining Group'a ait 7 İşletme, Jastrebie Coal Company'e ait 5 İşletme, Tauron Mining'e ait 3 İşletme ve diğerlerine 1'er İşletme olmak üzere 20 İşletme bulunmaktadır. Ayrıca tasfiye sürecinde olan madenler de söz konusudur.

GIG (Merkez Maden Enstitüsü) 1925'de kurulmuştur. Devlet Bakanı'na bağlı olarak 11'i profesör 427 kişi çalışmaktadır. Patlayıcı ortamlarda Avrupa Birliği direktiflerine bağlı olarak faaliyet gösteren Enstitü Bilim Kurulu; mühendislik ve teknoloji, çevre, madencilik ve enerji disiplini alanlarında doktora derecesi vermek ve profesör unvanına başvurmak için tam akademik yetkilere sahiptir. Enstitünün misyonu "bilim odaklı gelişme", vizyonu ise "yeni çözümler üretmede lider" olmaktadır. Ayrıca uydu telemetri sistemi ile atmosfere yayılan metan kaynakları izlenmektedir. Çalışmanın amacı, uydu verilerine dayanarak kaynakların metan emisyonlarını izlemek için bir yöntem geliştirmektir. Çalışmanın sonuçları, çöplük veya depolama alanları dâhil olmak üzere antropojenik kaynaktan veya endüstriyel altyapıdan atmosfere metan emisyonlarının tespit edilmesini mümkün kılmaktadır.

## **8.2. Teknik Çalışma Ziyareti Ardından Polonya Taş Kömürü Madenlerindeki Yeraltı İşletmelerinin ve Yangın Risklerinin Değerlendirmesi**

Polonya Merkezi Madencilik Enstitüsü'nden Jan Wachowicz (2008) makalesinde "II. Dünya Savaşı'ndan sonraki ilk 20 yıllık dönemde Polonya taşkömürü madenlerindeki yangınların sayısı yılda birkaç bin vaka değerine ulaşmış ve yangınların yaklaşık %80'ini kendiliğinden çıkan yangınlar oluşturmuştur. Yeni yangın tehlikesi tahmin yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalar ve yangın önleme için yeni yöntem ve araçların uygulanması ve yanıcı organik malzemelerden üretilen ürünlerin yeraltı maden işletmelerinde kullanılmasına ilişkin yasağın getirilmesi yeraltı yangınlarının artma tehlikesini önemli ölçüde azaltmıştır. Merkezi Madencilik Enstitüsü'nce (GIG) geliştirilen yeni yeraltı yangın tahmin yöntemi yangın önleme araçlarının doğru seçilmesini sağlamıştır. Kendiliğinden yangınlara yol açan ana faktör olan yangına dayanıklı konveyör bantların yaygın kullanımına giriş ve bunların yangına dayanıklılıklarını değerlendirme yöntemleri pratik olarak yangın tehlikesini ortadan kaldırmıştır. Bu faaliyetler yeraltı yangınlarının sayısının tatmin edici düzeye indirilmesine etkin bir şekilde katkıda bulunmuştur" şeklinde dile getirmiştir.

Söz konusu makaleye uygun olarak gerçekleştirmiş olduğumuz ziyarette Polonya'daki yer altı kömür madenleri işletmelerinde GIG tarafından geliştirilen yer altı yangın tahmin yönteminden elde edilen verilerle seçilen ekipmanların yangın riskini önlemede etkili olduğu sonucuna heyet olarak varılmıştır. Ayrıca tam mekanize üretim teknolojisi, optimum hızda üretim faaliyetlerinin yürütülmesi ve ayaklarda köpük uygulaması gibi önleyici tedbirlere yer verilmesi, yeraltı kömür yangınlarının sayısının tatmin edici düzeye indirilmesine etkin bir şekilde katkıda bulunmuştur. Özellikle yangına dayanıklı konveyör bantların kullanımı yangın riski açısından son derece etkilidir. Alınan tüm tedbirlere, göreceli olarak yangın kaynaklı kazaların Polonya'da az yaşanıyor olmasına ve can kaybının yüksek olmamasına karşın heyetimizin temas kurduğu yetkililerden alınan bilgiler doğrultusunda, sektörde kendiliğinden yanma riskine ilişkin farkındalığın yüksek olduğu görülmüştür.

Merkezi Madencilik Enstitüsü tarafından hizmete sokulan simülörde, yer altı kömür madeni ocaklarındaki yangın vakalarında olası müdahale teknikleri ve önleme tedbirlerine yönelik eğitimler aralıksız şekilde sürdürülmektedir. Kömürde kendiliğinden yanma olgusunun otonom bir karaktere sahip olduğu ve tüm tedbirlere karşın meydana gelmesinin yüzde yüz şekilde önlenmesinin mümkün olmadığı gerçeğinden hareketle Polonya madencilik sektöründe yangın riskine karşı duyarlılık yüksektir.. Ülkemizde de bu olguya aynı perspektifle yaklaşılmalı kendiliğinden yanmaya ilişkin farkındalık her düzeyde maden profesyoneline verilecek sürekli eğitimlerle yüksek tutulmalıdır.

## BÖLÜM 9 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

### 9.1. GİRİŞ

Kömürün kendi kendine yanması hem iş sağlığı ve güvenliği hem de ekonomik açıdan kömür madenciliğinin yüzyıllardır devam eden en büyük sorunlarından birisidir. Bu nedenle yeraltı kömür madenciliğinde kendiliğinden yanma olaylarının yol açtığı sorunların çözümüne sistemli bir biçimde yaklaşmak için ilk adım, damar ve panoların sınıflandırılmasıdır. Bu amaçla yapılacak bir çalışmada sağlanması gereken bilgiler üç grupta ele alınabilir:

- I. Kömür örneklerinin kimyasal, petrografik ve oksidasyon analizleriyle edinilecek bilgiler,
- II. Kömür ve komşu tabakaları ile örtü tabakalarının jeolojik, mekanik ve ısı iletkenlik özelliklerinin saptanmasıyla edinilecek bilgiler,
- III. Panoların işletme ve havalandırma koşullarının değerlendirilmesiyle edinilecek bilgiler.

I ve II. grup için geniş laboratuvar çalışmaları gerekli olup III. grupta yer alan bilgiler çoğunlukla saha ile ilgili deneyimlerden elde edilebilmektedir. Bu bilgilerin sağlanmasını izleyen aşamada kendiliğinden yanmayı etkileyen parametreler, sistematik ve ağırlıklı bir şekilde sayısallaştırılarak güvenli ve güvensiz koşullara karşı düşen indeks değerleri belirlenmelidir. Kendiliğinden yanmaya karşı alınacak önlemler, öncelikle, indeks değeri güvensiz koşullara karşı düşen damar ya da panolarda yoğunlaştırılmalıdır.

Türkiye Cumhuriyeti ve Avrupa Birliği tarafından finanse edilen “Yeraltı Kömür Madenlerinde Kendiliğinden Yanabilirlik Etüdü İle İSG Uygulamalarının İzlenebilirliğinin Artırılması Projesi” kapsamında hazırlanan bu kitapta olguya ilişkin inceleme ve değerlendirmelere yer verilerek kömürlerin kendiliğinden yanmasını etkileyen faktörler, saptanması için kullanılan laboratuvar yöntemleri ve risk indeksleri ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

### Deney Sonuçları

Kömür örneklerinin kendiliğinden yanma karakteristiklerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen deneylerde kesişme noktası sıcaklığı ve OSA (Ortalama Sıcaklık Artışı) parametresi belirlenmiş ve bu değerlere bağlı olarak da FCC indeks değerleri her bir örnek için hesaplanmıştır.

Yapılan kendiliğinden yanma deneylerinde en düşük Kesişme Noktası Sıcaklığı 134 °C ile “GB3” kodlu örnek ile “EŞT” kodlu örneklerde belirlenirken, en yüksek Kesişme Noktası Sıcaklığı 201 °C olarak K1 kodlu örneğin analizlerinde gözlemlenmiştir. Kömür örneklerinin kendiliğinden yanma deneyleri sırasında bir diğer parametre olan OSA (Ortalama Sıcaklık Artışı) değerleri 0.608 °C/dak ile 2.391 °C/dak arasında değişmektedir. Belirlenen bu sonuçlarla hesaplanan FCC indeks değerlerinin 3,06 dak<sup>-1</sup> ile 13,90 dak<sup>-1</sup> aralığında değiştiği gözlemlenmiştir.

Her bir örneğe ait kesişme noktası sıcaklığı, OSA parametresi ve FCC indeks değerleri projenin sonuç raporunda Çizelge halinde sunulmuştur. Analizi yapılan 101 kömür örneğinden, 18 kömür örneğinin kendiliğinden yanma yatkinlığı “DÜŞÜK” olarak tespit edilirken, 79 örneğin kendiliğinden yanma yatkinlığı “ORTA” olarak tayin edilmiş olup, kalan 4 örneğin ise kendiliğinden yanma yatkinlığı “YÜKSEK” olarak tespit edilmiştir.

Yapılan her bir analiz paralel olarak sürdürülmüş elde edilen FCC indeks değerleri ve karşılık gelen risk sınıfları her bir örnek için doğrulanmıştır. Rapora konu olan kömürlerin üretilmesi sırasında kendiliğinden yanmaya yatkinlıkları konusuna önem verilmesi ve belli aralıklarla kendiliğinden yanma analizlerinin tekrarlanması “ORTA” ve “YÜKSEK” yatkinlıklarda belirlenen kömür örnekleri için özellikle önerilmektedir.

Yine bu rapor kapsamında çeşitli kömür ocaklarından alınan kömür örneklerinin kısa analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge halinde verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde örneklerin nem içeriklerinin % 0.9 ile % 41.7 arasında, kül içeriklerinin %3.94 ile %59.42 arasında, uçucu madde içeriklerinin % 17.59 ile % 52.36 arasında, kükürt içeriklerinin ise %0.2 ile %9.07 arasında değiştiği belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda kömür örneklerinin alt ısıl değerlerinin 1063 kcal/kg ile 7818 kcal/kg arasında değiştiği gözlemlenmiştir.

## **9.2. Yeraltı Kömür Madenciliğinde Kendiliğinden Yanmaya Karşı Alınabilecek Önlemler**

Madenlerde kendiliğinden yanma riskini tahmin etmek ve ocak yangınlarına karşı önlem alabilmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Öncelikle kendiliğinden yanma riskine karşı daha planlama aşamasında bütün kömür damarlarının kendiliğinden yanmaya yakınlıkları fiziksel, kimyasal ve petrografik analizler ve yanma deneyleriyle birlikte yüksek, orta ve düşük riskli olarak belirlenmeli ve yüksek riskli damarlarda özel önlemler alınmalıdır.

Bu önlemler;

- Kendiliğinden yanmaya yakın damarlarda dönümlü uzun ayak sisteminin kullanılması,
- Yüksek oranda ayak ilerleme hızının sağlanması,
- İlerletimli sistemlerde ayak başlama hattının yanında taban yollarının sızdırmazlığının sağlanması ve enjeksiyon borularının ayak başlama hattına döşenmesi,
- İlerletimli uzun ayak sistemi ile çalışan yüksek riskli damarlarda en azından alt taban yolunda hava kaçaklarını azaltmak amacıyla rample yapılması, 50 m ara ile göçük içine numune borularının yerleştirilmesi ve haftada bir bu borulardan numune alınması,
- Ayak üretimi durduğu zaman, en yüksek yanma riski ayağın bittiği yerde meydana geldiğinden, mümkün olan en kısa zamanda ayağın boşaltılması ve barajlanması, göçükte terkedilen/kalan kömür miktarının en az seviyede tutulması, ayak üretimi durduğu zaman panodan geçen hava miktarının azaltılarak kuluçka periyodunun uzatılması,
- Kendiliğinden yanmayı erken tespit edebilmek için düzenli hava numunelerinin alınması ve sürekli izleme yapılması, ortamdaki oksijen miktarını azaltıp yangını engellediğinden göçük içine veya yangın yerine azot enjeksiyonu yapılması/düşünülmesi,
- Mümkün olduğunca kesit daralmalarına neden olan hava kapılarının ve regülâtörlerin gerekmedikçe kullanılmamalarına özen gösterilmesi, yangının hava ile temasının kesilmesi,
- Yangın riskini ortadan kaldırmak için mutlaka havalandırma basınç farklarının minimuma indirilmesi,

şeklinde dile getirilebilir (Demirbilek 1984; Erkan 1964).

Kömür madenciliği kadar eski olan kendiliğinden yanma olayı ve ocak yangınları, yeraltı kömür işletmeciliğinde en önemli sorunlardan birisidir. Kendiliğinden yanma ilk aşamada önlenemez veya kontrol edilemezse çeşitli can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir. Bunun sonucunda da yanmanın her aşamasında sağlığa zararlı ve zehirleyici pek çok gaz çıkmaktadır. Kızışma sonucu çıkan gazlar ve oluşan ısı, özellikle de açık alevli yangın, daha önceden patlama sınırlarında bulunmayan ocak atmosferine patlayıcı özellik kazandırabilmektedir. En büyük tehlikeyi oluşturan bu durum toplu ölümlere neden olabilmektedir. Yangının önlenememesi sonucu panonun terk edilmesi durumunda, panodaki ekipman ve malzemelerin tahrip olması önemli maddi kayıplara neden olabilmektedir. Bütün bu kayıpların önlenmesi için grizulu ve kendiliğinden yanma özelliği gösteren taşkömürü, linyit ve benzeri maden işletmelerindeki yeraltı çalışmalarında bu projede dile getirildiği gibi yangının tespitinden, önlenmesine ve alınacak tedbirlere kadar ayrı bir başlık açılarak ülke madencilik mevzuatında kapsamlı bir şekilde yer almalıdır. Daha detaylı mevzuat önerisi ilgili başlık altında değerlendirmeye açılmıştır.

Proje kapsamında hazırlanarak gerçekleştirilen analiz sonuçlarının işlendikten sonra coğrafi bir harita üzerinde risk durumunu gösterir şekilde paylaşıldığı Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımının, yapılacak yeni analizlerin sonuçlarıyla sürekli güncellenmesi ve bu konudaki farkındalığın canlı tutulması, kurulması muhtemel bir erken uyarı sistemi için de veri alt yapısı oluşturacaktır. Mevzuatta gerçekleştirilecek bir düzenleme ile Coğrafi Bilgi Sisteminde yer alan ya da daha sonra eklenecek olan yeni yer altı kömür madeni işletmelerinin gerek kısa analiz gerekse kendiliğinden yanma yatkınlık deneyi sonuçlarından elde edilen FCC endeksi doğrultusunda sınıflandırılması yerinde olacaktır. Yüksek ve orta düzeyde risk taşıdığı tespit edilen işletmelerden örneğin 6 aylık periyotlarla nem, kül, uçucu madde, sabit karbon, kükürt, üst ve alt ısı değerleri ile kesişim noktası sıcaklığı ve ortalama sıcaklık artışlarının izlenmesi sonucunda risk durumunda değişiklik görülen ya da risk taşıdığı belirlenen işletmelerde erken uyarı sistemi kurulmasının ivedilikle sağlanması bir koşul olarak mümkün olabilecektir. Düşük FCC indeksine sahip işletmelerde ise değişen üretim koşulları ve üretime geçilen yeni damarların farklı karakteristik özellikleri de dikkate alınmak şartıyla izleme periyotları daha uzun sürelerle belirlenebilir. Yeni alınacak işletme ruhsatlarında ise belirtilen parametreler çerçevesinde gerçekleştirilecek numune analizleri sonucunda elde edilen veriler ışığında erken uyarı sisteminin kurulumu işletmeye geçiş için bir ön koşul olarak mevzuatımıza girebilir. Alternatif olarak kömürün kendiliğinden yanabilirlik riskinin tespiti bölgesel veriler çerçevesinde de bir zorunluluk şeklinde yasal zemine kavuşturulabilir. Mevzuatta önerilen bu düzenlemeler sonucunda Coğrafi Bilgi Sistemi verilerinin güncelliği sürdürülebilir hale gelmiş olacaktır. Erken uyarı sistemi için özellikle mercek altında tutulması gerekli olan sahalara ait bilginin ve tüm yer altı kömür işletmelerinin kendiliğinden yanabilirliğe ilişkin taşıdığı risklere ait veri alt yapısının kurulmuş olması, bu mekanizmanın gelecekte daha kısa sürede ve daha etkin şekilde işlerlik kazanması ve işletmecilerin de bu verilerden istifade etmesi açısından son derece önemli ve değerli olacaktır.

### **9.3. Proje Bilgi Paylaşım Toplantısı Çıktıları**

Proje kapsamında 24.01.2023 tarihinde Ankara’da “Bilgi Paylaşım Toplantısı” gerçekleştirilmiştir. Toplantı proje paydaşlarının, ilgili kurumların temsilcilerinin ve madencilik sektörünün profesyonelleri ile temsilcilerinin katılımlarıyla gerçekleştirilmiş, açılış konuşmalarının ardından proje kapsamında yapılan etkinlikler hakkında bilgiler verildikten sonra Polonya Merkezi Madencilik Enstitüsü’nden davet edilen Enstitü yetkilisi Sayın Dr. Marcin KARBOWNIK ve proje ekibinden Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Madencilik Fakültesi Öğretim Üyesi Sayın Dr. Erdoğın Kaymakçı’nın sunumlarıyla devam etmiştir.

Dr. KARBOWNIK toplantıda “Polonya Taş Kömürü Madenciliği ve Polonya Madencilik Koşullarında Meydana Gelen Doğal Tehlikeler” başlıklı bir sunum yapmıştır. Sunumunda öncelikle Polonya Merkezi Madencilik Enstitüsü (GIG) hakkında bilgiler yer almıştır. 1925 yılında kurularak Devlet Varlıkları Bakanlığına bağlı bir şekilde faaliyetlerini sürdüren bu merkezde 2022 yılı itibarıyla 12 profesör, 17 doçent ve 104 araştırmacı dâhil olmak üzere 458 kişi görev yapmaktadır. Merkezde yer alan Bilim Konseyi, teknoloji, çevre, madencilik ve enerji mühendisliği disiplinleri alanlarında doktora derecesi vermek ve profesör unvanına başvurmak için tam akademik yetkilere sahiptir. Kurumda 12 bilim ve araştırma bölümü ile Polonya Akreditasyon Merkezi tarafından akredite edilmiş 17 araştırma laboratuvarı bulunmaktadır.

Polonya Merkezi Madencilik Enstitüsü; maden ve jeoloji mühendisliği, çevre mühendisliği, sektörde iş güvenliği, temiz kömür teknolojileri, malzeme mühendisliği, belgelendirme ve onaylama ve eğitim alanlarında faaliyet göstermektedir.

Bu Enstitü’ye ait “Barbara” adında gerçek ölçekte madencilik araştırmaları için bir laboratuvar bulunmaktadır (Görsel 9.1. ve Görsel 9.2.).



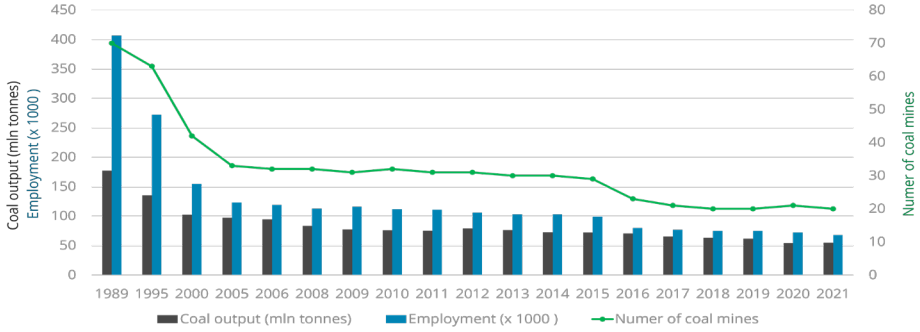
Görsel 9.1.  
Deney galerisinde kömür tozu patlaması.



Görsel 9.2.  
Patlama sığınağı.

2021 yılı sonu itibariyle Polonya Taşkömür Madenciliği'nde 20 adet yeraltı maden ocağından dönümlü-göçertmeli uzunayak madenciliği yöntemiyle 55,1 milyon ton üretim gerçekleştirilmiştir. Ortalama üretim derinliği 700-800 metre civarındadır ve en derin kuyu 1320 metreye kadardır. Yaklaşık olarak 68 100 çalışan vardır (Karbownik 2023).

Şekil 9.1 Polonya kömür endüstrisinin yeniden yapılanması (Karbownik 2023).



Yeniden yapılanmaya giden Polonya madenciliğinde 1989 yılında 177 milyon ton olan kömür üretimi 2021 yılında 55,1 milyon tona, 407 bin olan çalışan sayısı 68 bine ve 70 olan işletme sayısı ise 20'ye kadar düşürülmüştür (Şekil 9.1).

Dünya Enerji Konseyi'nin tahminlerine göre, Polonya (64 milyar ton) küresel taş kömürü kaynaklarının (665 milyar ton) %8,3'ünü oluşturmaktadır.

Yeraltı kömür madenciliğinde riskler doğal ve teknik olarak 2'ye ayrılmaktadır. Doğal riskler;

- Gaz tehlikesi (metan)
- Yangın tehlikesi
- Toz tehlikesi
- Kaya ve gaz patlaması riski
- Sismik veya kaya patlaması riski
- Su riski
- İklimsel risk
- Radyasyon riski

Çizelge 9.1. Polonya’da 2012-2021 yılları arasında yaşanan doğal risklerle ilişkili tehlikeli olay ve kaza sayısı (Karbownik 2023).

Dangerous incidents	Number of incidents/ Number of injured (fatal /serious /minor)									
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Fires	7 (0/0/0)	6 (0/0/6)	5 (5/15/10)	7 (0/0/0)	8 (0/0/0)	1 (0/0/0)	13 (0/0/0)	16 (0/0/0)	9 (0/0/0)	3 (0/0/0)
Rock falls	2 (1/0/0)	1 (0/0/0)	1 (0/0/0)	2 (0/0/0)	6 (1/0/0)	3 (0/0/1)	4 (1/0/0)	2 (0/0/0)	3 (1/0/2)	5 (2/0/2)
Rockburst	1 (1/0/2)	1 (0/0/5)	1 (0/0/0)	2 (2/0/0)	1 (1/0/3)	3 (0/0/5)	2 (6/1/7)	4 (5/1/25)	1 (0/0/5)	2 (1/0/1)
Methane explosions and ignitions	0	7 (0/0/6)	4	3 (0/0/4)	5 (1/0/0)	3 (0/0/0)	2 (0/0/0)	4 (0/0/0)	1 (0/0/0)	3 (0/0/0)
Coal dust explosions	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Outbursts of gases and rocks	1 (0/0/0)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Number of dangerous incidents	11	15	11	14	20	20	21	26	14	13
Number of victims	(2/0/2)	(0/0/17)	(5/15/10)	(2/0/4)	(3/0/3)	(0/0/6)	(7/1/7)	(5/1/25)	(1/0/7)	(3/0/3)

Bunlardan ilk 4’ü daha önemlidir. Çizelge 9.1, 2012-2021 yılları arasında Polonya taşkömür madenlerindeki doğal risklerle ilişkili tehlikeli olay ve kaza sayısını göstermektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi 2012’den itibaren Polonya’da 75 yangın olayı meydana gelmiş ve 2013’de 6 hafif yaralanma, 2014’de 5’i ölümlü, 15’i ciddi ve 10’u hafif yaralanma yaşanmıştır.

Taşkömür madenlerinde doğal tehlikelerin artışı ise;

- Üretim derinliğinin sürekli olarak artması,
- Çoklu damar yapısı,
- Kalın ve dayanıklı tavan taşı bloklarının oluşumu,
- Madencilik faaliyetlerinin ağır bir şekilde yoğunlaşması,
- Komşu damarlardaki işletme kenarları ve terk edilmiş kömür damarlarında bırakılan topukların varlığı,
- Göçüğe eğilimli damarlar,
- Kendiliğinden yanma ve yüksek metan içeriği

gibi faktörler etkilemektedir.

Polonya koşullarında kömürün kendiliğinden yanabilirliğinin saptanması için uygulanan yöntem aşağıdaki adımları içermektedir (Karbownik 2023).

- Kendiliğinden yanmaya yatkınlık açısından kömürün tanımlanması,
- Kömürün aktivasyon enerjisinin hesaplanması (aktivasyon enerjisi, kimyasal bir tepkimenin gerçekleşebilmesi için aşılması gereken enerji değeri anlamına gelmektedir. Her kimyasal tepkimenin kendine özgü bir aktivasyon enerjisi vardır. Bir tepkimenin aktivasyon enerjisinin yüksek olması, o tepkimenin daha zor başlayacağı anlamına gelir),
- Kendiliğinden yanmaya yatkınlığına göre kömürün sınıflandırılması,
- Endojen (gizli) bir yangının kuluçka süresinin saptanması,
- Endojen yangın tehlikesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi,
- İşletme bölgesinin endojen yangın tehlikesi açısından değerlendirilmesi

Polonya madencilğinde kömürün kendi kendine yanma indeksi PN-G-0558 Polonya standardı belirlenmektedir. Bu standarda göre aşağıdaki parametrelerin saptanması gerekmektedir (Olpinski Yöntemi).

- Sza 273 °C'de oksitlenen kömürün sıcaklık artış hızı, °C/dak.  
 Sza' 190 °C'de oksitlenen kömürün sıcaklık artış hızı, °C/dak.  
 A Kömürün aktivasyon enerjisi

Laboratuvarında elde edilen bu değerlerden sonra Çizelge 9.2 kullanılarak kömürün yangın riski belirlenir.

Çizelge 9.2 Polonya kömür madenlerinde yangın riski (Karbownik 2023).

Kendiliğinden yanabilirlik indeksi Sz <sup>a</sup> [°C/dk]	Kömürün aktivasyon enerjisi A [kJ/mol]	Risk grubu	Kömürün kendiliğinden yanma eyleminin değerlendirilmesi
80'e kadar	67'den yüksek	I	Kendiliğinden yanma eylemi çok düşük olan kömür
	46-67 arası	II	Kendiliğinden yanma eylemi düşük olan kömür
	46'dan az	III	Kendiliğinden yanma eylemi orta olan kömür
80'den 100'e kadar	42'den yüksek	VI	Kendiliğinden yanma eylemi yüksek olan kömür
	42'nin altında veya eşit		
100'den 120'ye kadar	34'den yüksek	V	Kendiliğinden yanma eylemi çok yüksek olan kömür
	34'ün altında veya eşit		
120'den fazla	Normal değil		

Ayrıca Polonya taşkömür madenlerindeki yangın riski “W” ile gösterilen bir indeksle de istatistiksel olarak değerlendirilebilir.

$$W = \frac{L}{T} \quad (\text{Eşitlik 10})$$

Burada;

- L: Yangın sayısı  
 T: Yıllık üretilen kömür, ton

Örneğin Polonya'da 2021 yılı üretimi ile hesaplama yapıldığında,

$$W = \frac{3}{55} = 0,055 \quad \frac{\text{yangın sayısı}}{1 \text{ milyon ton üretim}} \quad (\text{Eşitlik 11})$$

çıkılmaktadır (Karbownik 2023).

Buna göre Polonya madenlerindeki yangın riski Çizelge 9.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 9.3. Eksojen ve endojen yangınların sayısı ve yangın indeksi (W) (Karbownik 2023).

Yangın tehlikesi durumu	Yıl										Toplam	
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	Ortalama	
<b>Eksojen (dış nedenle oluşan yangın)</b>												
Yangın sayısı	1	1	2	2	1	2	2	3	6	1	21	
Yangın indeksi	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,11	0,02	0,03	
<b>Endojen (kendiliğinden yanma)</b>												
Yangın sayısı	3	5	1	4	7	9	8	10	2	2	51	
Yangın indeksi	0,04	0,07	0,01	0,07	0,1	0,14	0,13	0,16	0,04	0,04	0,08	
<b>Toplam yangın</b>												
Yangın sayısı	4	6	3	7	8	11	10	13	8	3	72	
Yangın indeksi	0,05	0,08	0,04	0,1	0,11	0,17	0,16	0,21	0,15	0,06	0,11	

Çizelge 9.4'de ise Polonya kömür madenlerinde kendiliğinden yanma risk grubuna göre 2012-2021 yılları arasında meydana gelen endojen yangınlar gösterilmektedir.

Çizelge 9.4. Risk grubuna göre yangın sayısı (Karbownik 2023).

Kendiliğinden yanma risk grubu	Yıl										Toplam	%
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021		
I	-	-	-	1	1	-	-	1	-	-	3	6
II	-	2	-	1	2	3	2	4	1	2	17	33
III	2	1	-	1	1	3	3	1	1	-	13	25
IV	-	-	-	-	2	2	1	3	-	-	8	15
V	1	2	1	1	1	1	2	1	-	-	10	19
<b>Toplam</b>	3	5	1	4	7	9	8	10	2	2	51	100

Kısacası; Polonya'da kendiliğinden yanmaya müsait olan kömür damarları ve bölgeleri için;

- Kendi kendine tutuşma açısından kömürün tanımlanması,
- Kömür aktivasyon enerjisinin tayini,
- Kömürün kendi kendine yanma kabiliyetine göre sınıflandırılması
- Endojen bir yangının kuluçka süresinin belirlenmesi
- Endojen yangın tehlikesini etkileyen faktörlerin belirlenmesi
- Kullanım bölgesinin dahili yangın tehlikesi açısından değerlendirilmesi

yapılmaktadır. Böylece bu bölgeler işaretlenip bir risk haritası oluşturulmaktadır.

Ülkemizde de böyle bir haritaya ihtiyaç duyduğumuz açıkça görülmektedir. Örneklerin alındığı bölgelerden elde edilen bilgiler coğrafi koordinatlarla harita üzerine işaretlenip bu bilgiler konu ile ilgili paydaşlarla paylaşılabilir. Ayrıca bu bilgiler (veri sayısının yeterli olması durumunda) kullanılarak çeşitli risk haritaları oluşturulmasına da imkan sağlayabilecektir.

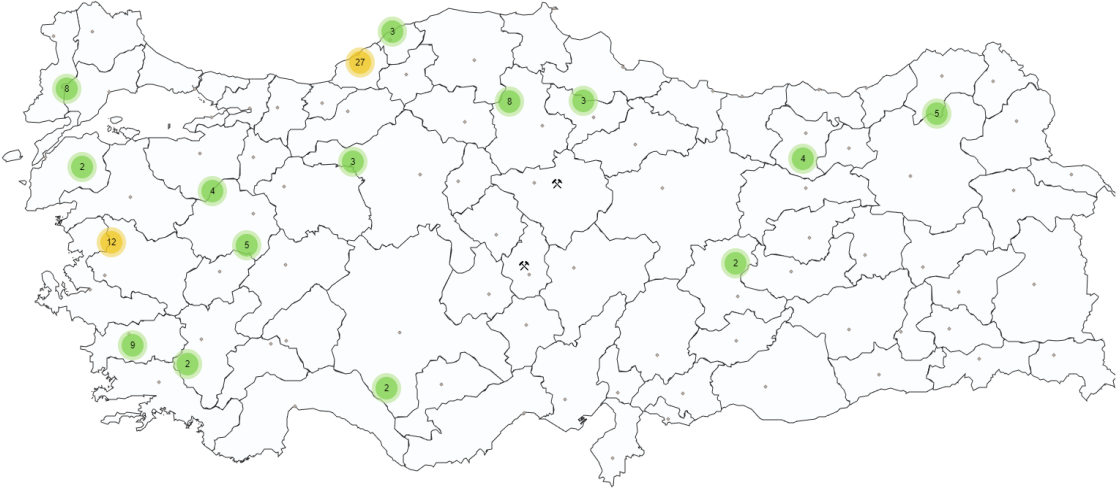


## 9.4. Coğrafi Bilgi Sistemi ve Proje Kapsamında Yapılan Bilimsel Çalışmalar ve İncelemeler Neticesinde Oluşturulan Mevzuat Önerisi

### 9.4.1. Coğrafi Bilgi Sistemi

Proje kapsamında, Türkiye’de kömür üretim faaliyeti yürüten birçok kömür ocağında alınan kömür örnekleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilen bilgilerin ilgili paydaşlarla paylaşımını sağlamak için bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) hazırlanmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı, faydalanıcısı olduğumuz proje kapsamında gerçekleştirilen kömür madenlerinde kendiliğinden yanabilirlik risk analizleri sonuçlarının Türkiye genelinde bir risk haritası şeklinde görüntülenebilmesi ve sunulan risk verilerinden gerek faaliyetteki yeraltı kömür işletmeleri gerekse yeni kömür madeni yatırımlarında istifade edilmesi amacıyla oluşturulmuştur.

Söz konusu yazılımın taslağı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Madencilik Fakültesi Öğretim Üyeleri tarafından proje kapsamında elde edilen bilgiler ışında Eylül 2022 tarihinde tamamlanmıştır. Bu yazılım proje sonrasında Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü ile İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü’ne teslim edilerek kamu ve özel sektördeki kömür madenciliği profesyonellerinin hizmetine sunulacaktır. Projenin tamamlanmasına kadar elde edilecek yeni veriler ve proje sonrasında yer altı kömür madeni işletmelerinin yaptıracağı yeni analizlerle güncellenecek olan yazılımın içerdiği bilgi kaynağı böylelikle zenginleştirilecektir. Maden Sanayii İşverenleri Sendikası bünyesindeki kömür işletmeleri ve yeni kömür madeni yatırımcıları da bu veriler doğrultusunda sürekli bilgilendirilecektir.



Şekil 9.2. Coğrafi Bilgi Sistemi yazılımı.

Kendiliğinden yanma projesi kapsamında oluşturulmak istenen kömürün kendiliğinden yanmaya yakınlığını gösterir haritanın oluşturulmasında QGIS v3.18 CBS programı kullanılmıştır. Bu haritanın oluşturulması için öncelikle örneklerin geldiği bölgelerin koordinatları WGS84 (EPSG:3857) koordinat sistemi kullanılarak QGIS programında nokta dosyası oluşturulmuştur. Sonrasında bu nokta dosyasında her bir örnek noktası için kömürün kendiliğinden yanmaya yakınlığını belirten sınıflama değerleri ve kömürün bir takım özellik bilgileri girilmiştir. Sonrasında bu nokta dosyası ve Türkiye İller Shape File dosyası ayrı katmanlar halinde birbirine eklenerek Türkiye genelinde kömürün kendiliğinden yanmaya yakınlığını gösterir harita oluşturulmuştur. Oluşturulan bu haritanın web tabanlı interaktif haritaya dönüştürülmesi için QGIS programının qgis2web eklentisi kullanılmıştır.

Kömürün kendiliğinden yanmaya yakınlığının gösterildiği web tabanlı interaktif bu harita üzerinde proje kapsamında analizi yapılan bütün kömür numunelerinin alındığı bölgeler işaretlenmiş olup örnek noktasını gösterir sembole tıklanması durumunda o noktadan alınan kömür numunesinin kendiliğinden yanmaya yakınlığı gösterir indeks değeri yanında (FCC) kömürün nemi, kül değeri, uçucu madde içeriği ve risk durumunu gösterir bilgiler açılır pencere üzerinde gösterilmektedir.

Kömürün Kendinden Yanmaya yakınlığının gösterildiği haritaya <https://masis.org.tr/abprojesicbs/index.html> adresinden erişilebilmektedir.

#### **9.4.2.Mevzuat Önerisi**

Türkiye Taş Kömürü Kurumu Genel Müdürlüğü bünyesinde hazırlanmış yönergelerden biri olan ancak mevzuatta yapılan değişikliklerden sonra mülga edilen “Kendiliğinden Yanmaya Müsait Damarlarda Ocak Yangınlarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Hakkında Yönerge” de (TTK 1987) yer verildiği üzere, uygulamada olan ilgili yönetmeliklerimizde kömürün kendiliğinden yanma olayının saptanmasına dair durumlar ve damar özelliklerine yer verilmesi önerilmektedir. TTK'nın bu eski yönergesinde; Zonguldak kömür havzasındaki kömür damarlarının sınıflandırılması, panoların hazırlanması, havalandırılması, kömür üretilmesi ve panoların kapatılması esnasında yapılacak işler ve tedbirler detaylı şekilde açıklanmıştır. Kömür damarlarının geçmişte yaşanan tecrübelerle dayanılarak sınıflandırıldığı bu yönergede, kendiliğinden yanmaya müsait damarların, yangına yakınlık derecelerine göre sınıflandırılacağı ifade edilmiştir. Pano planlamalarında da bu husus göz önünde tutulmuştur.

Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen, Maden Sanayii İşverenleri Sendikası'nın hibe faydalanıcısı olarak yer aldığı ve Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü akademisyenleri ile işbirliği halinde yürütülen bu proje kapsamında, Türkiye'de aktif olarak kömür üretimi yapılan tüm bölgelerdeki yer altı kömür madenlerinden alınan kömür numunelerinin analiz edilmesi sonucunda ortaya çıkarılan risk sonuçlarından yararlanılarak eski yönergede deneyimlere dayandırılan sınıflandırma bu kez bilimsel veriler ışığında yeniden yapılabilecek böylelikle risk seviyesine uygun tedbir ve uygulamalara ilişkin olası mevzuat çalışmalarına katkı sağlanmış olacaktır. Risk durumuna göre alınması önerilen ve bu yayında yer verilen tedbirlere ilişkin denetim ve ölçüm sıklığı düzenlenip yüksek riskli bölgelerin kendiliğinden yanma riskine karşı tedbirlerinin de daha ileri seviyelerde alınarak mevzuata yerleştirilmesi önerilmektedir.

Ülkemizdeki tüm yer altı kömür işletmeleri yeni oluşturulacak olan pano tasarımlarını gerçekleştirirken isteğe bağlı olarak işletmelerindeki kömürlerin kendiliğinden yanma yakınlığını saptamak üzere analizler yaptırmaktadırlar. Bu analizlerin zaruri olarak yapılması gerekliliğine yönetmeliklerde ayrıca yer verilmelidir. Bunun sonucunda elde edilen veriler bir program üzerinden kontrol edilmeli (Örneğin CBS) ve kendiliğinden yanmaya müsait damarların verileri dönemler halinde (risk endeksine göre) güncellenmelidir.

## KAYNAKLAR

**Akgün, F. ve Arısoy, A.**, (1990), Yiğın Halindeki Kömürün Kendi Kendine Tutuşması, Isı Bilimi ve Tekniği Der., Cilt 13, Sayı 2, Haziran, s. 17-24.

**Ayvazoğlu, E.**, (1978), EKİ Kozlu Bölgesi Çay ve Acılık kömürlerinin, oksidasyonunun erken tespiti yönünde incelenmesi, Türkiye 1. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s.539-563.

**Bagchi, S.**, (1972), Spontaneous Combustion of Indian Coals, Qrt. J. Geol. Min. Metall Soc., Vol. 45, No. 2, India, pp. 71-75

**Banerjee, S.C. and Chakravorty, R.N.**, (1967), Use of DTA in the Study of Spontaneous Combustion of Coal, Journal of Mines Metals and Fuels, January, pp. 1-5and 19.

**Banerjee, S.C.**, (1985), *“Spontaneous Combustion of Coal and Mine Fires”*, Oxford and IBH, India, 165 p.

**Bilen M., Kaymakçı E., Yılmaz S., Çakır A.** (2019) An Alternative Spontaneous Combustion Experiment Set-up by Employing an Old Version Gas Chromatograph, 7 Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi Bildiriler Kitabı, sf:92

**Chakravorty, R. and Feng, K.**, (1978) Studies on the Early Detection of Spontaneous Combustion in a Hydraulic Mine, CIM, Jan. Feb. pp.83-91.

**Chamberlain, E.A.C. ve Hall, D.A.**, (1973); “The Ambient Temperature Oxidation of Coal in Relation to The Early Detection of Spontaneous Heating Part 2”, Trans. Inst. Min. Engrs., Cilt 132, s. 387-399.

**Cudmore, J. F. ve Sanders, R.H.**, (1984), Spontaneous Combustion of Coal, Mine Fires and Interpretation of Analyses of Mine Gases-A Literature Review, Australian Coal Industry Research Laboratories Ltd., Published Report 84-10, 60 p.

**Demirbilek, S.**, (1986), The Development of a spontaneous combustion risk classification system for coal seams, Doktora Tezi, Nottingham University, İngiltere, 263 s.

**Denby, B. and Ren, T.X.**, (1992), *“A Knowledge-Based Decision Support System for Spontaneous Combustion Control”*, Mining Eng., March, pp. 253-258.

**Didari, V.**, (1986), *“Yeraltı Ocaklarında Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Risk İndeksleri”*, Madencilik, Cilt XXV, Sayı 4.

**Durucan, Ş. ve Güyagüler, T.**, (1982), “Yeraltı Kömür Madenciliğinde Çevre Sorunları ve Kontrol Yöntemleri”, Genel Maden İşçileri Sendikası Yayını, 162 s.

**Dündar, M., Ayral, K. ve Coşkun, M.**, (1977), *Zonguldak kömür havzasında kendiliğinden yanabilen damarlarda alınması gereken tedbirler ve mücadele yöntemleri*, 5. Madencilik kongresi, s.3-31.

**Eroğlu, H.N.** 1992, *Factor Affecting the Spontaneous Combustion Index*, Ph.D thesis, University of Witwatersrand, Johannesburg, 263 p.

**Feng, K.K., Chakravorty, R.N. ve Cochrane, T.S.**, 1973; *“Spontaneous Combustion - A Coal Mining Hazard”*, CM Bulletin, s. 75-82.

## KAYNAKLAR

- Güney, M.**, (1968), *Certain Factors Affecting the Oxidation and Spontaneous Combustion of Coal*, Mining Dep. Magazine, University of Nottingham, Vol. 20, pp. 71-80.
- Güney, M., Hodges, D..T. ve Hinsley, F.B.**, (1969); "An Investigation of the Spontaneous Heating of Coal and Gaseous Products", The Mining Engineering, November, s. 67-84.
- Gouws, M.J. ve Wade, L.**, (1989), "The Self-Heating Liability of Coal: Predictions Based on Composite Indices, Mining Science and Technology, Vol. 9, pp. 81-85.
- Gouws, M.J., Gibbon, G.J, Wade, L. And Philips, H. R.**, (1991), An Adiabatic Apparatus to Establish the Spontaneous Combustion Propensity of Coal, Mining Science and Technology, Vol. 13, pp. 417-422.
- Ilıca, H.H.**, (2020), "Soma Bölgesi Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığının Araştırılması", Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Yüksek Lisans Tezi, 93 s.
- İnal, S., ve Aydın, K.**, (2019), "Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Etkileyen Faktörler", Bilimsel Madencilik Dergisi, Haziran, 58(2), s. 145-165.
- Kara, K.**, (2015), *Önleme kültürü ve yer altı kömür ocaklarında yangın (kendiliğinden yanma)*, Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu Kitabı, 21-22 Aralık, Adana, s.115-124.
- Karbownik, M.**, (2023) *Polish Hard Coal Mining and Natural Hazards Occurring under Polish Mining Conditions*, GIG (Polonya Merkezi Madencilik Enstitüsü), Proje Paylaşım Toplantısı, 24 Ocak 2023, MASİS, Ankara
- Karpuz, C, Güyagler, T., Bağcı, S., Bozdağ, T., Başarrı, H., Keskin, S.** (2000) *Linyitlerin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlık Derecelerinin Tespiti: Bölüm 1-Risk Sınıflaması* Maden Müh. Odası, Madencilik Dergisi. Eylül-Aralık
- Kaymakçı, E.**, (1998), "Zonguldak Havzası Kömür Damarlarına Uygulanabilecek Bir Kendiliğinden Yanmaya Doğal Yatkınlığı Değerlendirme Tekniğinin Geliştirilmesi", Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Ens., Doktora Tezi, Ağustos, 148 s.
- Kılıç, A.**, (2014), Yeraltı Kömür Ocağı Yangınlarının Erken Algılanması Yangın ve Güvenlik Dergisi, ISSN 1305-2071, s. 8-10
- Kim, A. G.**, (1977), "Laboratory Studies on Spontaneous Heating of Coal", US Bureau of Mines, IC 8756, 13 p.
- Li, J., Li, Z., Yang, Y., Duan, Y., Xu, J., & Gao, R.** (2019). Examination of CO, CO<sub>2</sub> and active sites formation during isothermal pyrolysis of coal at low temperatures. Energy, 185, 28-38.
- Lu, X., Deng, J., Xiao, Y., Zhai, X., Wang, C., & Yi, X.** (2022). Recent progress and perspective on thermal-kinetic, heat and mass transportation of coal spontaneous combustion hazard. Fuel, 308, 121234.
- Mahadevan, V. ve Ramlu, M. A.**, (1985) "Fire Risk rating of Coal Mines due to Spontaneous Heating," Journal of Mines Metals and Fuels, August pp. 357-362

## KAYNAKLAR

- Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği**, 19 Eylül 2013, 28770 Sayılı Resmi Gazete.
- Maden ve Taş Ocakları İle Açık İşletmelerde Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Tedbirleri Hakkında Tüzük**, (13. 08. 1984) (22.10.1984 tarih ve 18553 Sayılı Resmi gazete)
- Martin, S. T., & Clough, A.** (2021). Queensland Coal Mining Board of Inquiry-PartII.
- Morris, R. ve Atkinson, T.**, (1986), “*Geological and Mining Factors Affecting Spontaneous Heating of Coal*”, Mining Science and Technology.
- Nandy, D.K, Banerjee, D.D. and Chakravorty, R.N.** (1972), *Application of Crossing-Point Temperature for Determining the Spontaneous Heating Characteristics of Coal* Journal of Mines Metals and Fuels, Vol. 20, No.2, pp. 41-48.
- Ökten, G., Didari, V. ve Şensöğüt C.** (1998), Kömürün kendiliğinden yanması ve önlenmesi için alınacak tedbirler, Kömür, Ed. O. Kural, s. 243-255
- Qiao, M., Ren, T., Roberts, J., Yang, X., Li, Z., & Wu, J.** (2022). New insight into proactive goaf inertisation for spontaneous combustion management and control. Process Safety and Environmental Protection, 161, 739-757.
- Qi X., H. Xin, D. Wang, G. Qi** (2013), *A rapid method for determining the R70 self-heating rate of coal* Thermochim. Acta, 571 pp. 21-27, 10.1016/j.tca.2013.08.008
- Qu, L.**, (2018), A study on the prediction method of coal spontaneous combustion development period based on critical temperature, Environmental Science and Pollution Research, 25:35748-35760, <http://doi.org/10.1007/s11356-018-3464-2>.
- Ramlu, A.R.** (1991), *Mine Disasters and Mine Rescue*, A.A. Balkema/Rotterdam, 396 p.
- Resmi Gazete**, (2013) *Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği*, sayı. 28770
- Saraç, S.**, (1992), Yeraltı kömür ocaklarında kendiliğinden yanma, Anadolu Üniversitesi Müh. Fak. Yayını, No:106, 121 s.
- Singh, R.N., Demirbilek, S. And Turney, M.**, (1984), *Application of Spontaneous Combustion Risk Index to Mine Planning, Safe Storage and Shipment of Coal*, Journal of Mines Metals and Fuels, July, pp. 347-355.
- Singh, R.N.**, (1986), *A Practical System of Classifying Coal Seams Liable to Spontaneous Combustion*, J. Col. Qual., Vol.5 No 3, pp. 108-112.
- Şensöğüt, C. ve Çınar, İ.**, (2000). *A Research on the Tendency of Ermenek District Coals to Spontaneous Combustion*, Mineral Resources Engineering, 4, 9, 421-427
- Ünver, B., ve Özözen, A.**, (1998) “*Kömür Stoklarında Meydana Gelen Kendiliğinden Yanma Süreci ile İlgili Modeller ve Alınması Gereken Tedbirler*” Madencilik Dergisi, Eylül.

## KAYNAKLAR

**TTK Genel Müdürlüğü,** (1987), *Kendiliğinden Yanmaya Müsait Damarlarda Ocak Yangınlarına Karşı Alınacak Emniyet Tedbirleri Hakkında Yönerge*, TTK İnsangücü –Eğitim şube Müdürlüğü, No:51, Zonguldak, s.69-80.

**Wachowicz, J.** (2008), *Analysis of Underground Fires in Polish Hard Coal Mines*, *Journal of China University of Mining and Technology*, DOI:10.1016/S1006-1266(08)60070-X,

**Xu Y.L., D.M. Wang, L.Y. Wang, X.X. Zhong, T.X.** (2012), *Chu Experimental research on inhibition performances of the sand-suspended colloid for coal spontaneous combustion* *Saf. Sci.*, 50 (4) pp. 822-827, 10.1016/j.ssci.2011.08.026

**Xu, Y., Wang, L., Tian, N., Zhang, J., Yu, M., Delichatsios, A.,** (2017), *Spontaneous Combustion Coal Parameters for the Crossing-Point Temperature (CPT) Method in a Temperature–Programmed System (TPS)*. *Fire Safety Journal*, 91, 147–154.

**Wade, L.** (1988), *“The Propensity of South African Coals to Spontaneously Combustion”*, Ph.D Thesis, Univ. of Witwatersrand, Johannesburg, pp. 263.

**Wade, L. and Gouws, M.J.** (1990), *Coals Liable to Self Heating*, *Colliery Guardian*, March, pp. 83-84.

**Wang, D., Qi, X., Zhong, X., Gu, J.,** (2009), *Test Method for the Propensity of Coal to Spontaneous Combustion*, *Procedia Earth and Planetary Science*, 1, 20-26.

**Yıldırım, Ö.S.,** (2002), *Kömürde kendiliğinden yanmaya yatkınlığın, elektriksel, renksel ve termogravimetik açıdan modellenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 123 s. Isparta.

**Yılmaz, A.İ.,** (2016) *“Ocak Yangınlarında Kendiliğinden Yanmanın İş Sağlığı Ve Güvenliği Yönünden Değerlendirilmesi”* C.B.Ü. Soma MYO Tek. Bil. Der. 2016 – Sayı 21 Cilt I

**Yücel, Ş.,** (1996) *“Trakya Havzası Kömürlerinde İz Elementlerin İncelenmesi”* YL Tezi, ZKÜ FBE, Zonguldak, 128 s.

**ZEDEM** (Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi) Kurs Notları) (1993), *Kömürün Kendiliğinden Yanma Karakteristiklerinin Belirlenmesi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü.

**Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Maden Mühendisliği Bölüm Akademik Çalışanları Proje Raporu,** (2020), *Türkiye Taş Kömürü (TTK) Kurumu Genel Müdürlüğü Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi Rehabilitasyon Projesi*, Gelik, Sulu Damarı, 1 nolu örnek, 609 s.

**6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu,** Resmi Gazete (30.06.2012, Sayısı 28339).



**“YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE KENDİLİĞİNDEN YANABİLİRLİK ETÜDÜ İLE İSG  
UYGULAMALARININ İZLENEBİLİRLİĞİNİN ARTIRILMASI” PROJESİ**

Birlik Mahallesi 411. Sokak No: 10 Pınar Kalemci Apt.  
4. Kat No: 11 Çankaya / ANKARA