

LİNYİTLERİN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIK DERECELERİNİN TESPİTİ: BÖLÜM 2 - TKİ YERALTI OCAKLARI SONUÇLARI

The Determination of Liability Index for Spontaneous Combustion of Lignites: Part 2- TKİ Underground Coal Mines Results

Celal Karpuz^{*1}
Tevfik Güyağüler^{*1}
Suat Bağcı[']
Taylan Bozdağ^(***)
Hakan Başarı^{****1}
Sinan Keskin^{****1}

ÖZET

Bu yazıda, Türkiye Kömür İşletmeleri'nin (TKİ) 5 yeraltı işletmesindeki 20 değişik linyit damarında yapılan kendiliğinden yanma özelliklerinin araştırılması çalışmaları anlatılmaktadır. Bu araştırma için, adiyabatik oksidasyon ve tutuşma sıcaklığı deneylerinde kullanılan deney düzenekleri ve yöntem ayrıntısı ile verildikten sonra, her iki yönteme göre ocak şartlarından bağımsız olarak risk indeksleri tespit edilmiştir. Deneyler sırasında çıkan gazların sürekli analizleri de yapılmış ve kendiliğinden yanmanın açık alevli yanmaya dönüşebilme sınırı ile ilgili öneri getirilmiştir. Sonuç olarak, TKİ yeraltı ocakları linyitlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerinin sonuçları sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kendiliğinden Yanma, Risk Sınıflaması, Yeraltı Kömür Ocağı, Adiyabatik Oksidasyon, Tutuşma Sıcaklığı

ABSTRACT

In this paper, the research studies on spontaneous combustion properties of 20 lignite seams at 5 underground lignite mines of Turkish Coal Enterprises (TKİ) is explained. In this study, adiabatic oxidation and ignition temperature test setups and procedure used in experiments are introduced in detail. Risk indexes are determined independent from mine environment using the two methods. The gases produced during experiment are continuously analyzed and suggestions on the transformation limit of spontaneous combustion to open fire are proposed. Finally, the results of liability of lignite to spontaneous combustion are presented for TKİ underground mines.

Keywords: Spontaneous Combustion, Risk Classification, Underground Coalmine, Adiabatic Oxidation, Ignition Temperature

[> Prof. Dr., ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

*2 Prof. Dr., ODTÜ Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

(***)^{Dr} Uzman, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

****1 Araş.Gör., ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

1. GİRİŞ

Kendiliğinden yanma olayı yeraltı ve açık kömür ocaklarının en önemli sorunlarından bir tanesidir. Sonuçları açısından bakıldığında işletmelerde en çok maddi kayba ve zarara neden olduğu görülür. Gerek proje aşamasında gerekse ön işletme aşamalarında kendiliğinden yanmaya yatkınlığa yönelik tespitler yapıldığı takdirde işletme süresince tedbirler alınabilir ve ocak emniyetli olarak çalıştırılabilir. Bu konuda da, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı yeraltı kömür ocaklarının emniyetli olarak faaliyet gösterebilmesi amacı ile bir yönetmelik yayımlamıştır (....., 1996). Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) bu yönetmelik çerçevesinde ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü ile bir proje çalışmasına girerek kendi yeraltı linyit ocaklarının kendiliğinden yanma ve gaz degaj özelliklerinin araştırılmasını istemiştir (Karpuz vd., 1998). Bu yazı bu projeden elde edilen sonuçların bir bölümünü kapsamaktadır.

Yazının birinci bölümünde kendiliğinden yanma, mekanizması ve etkileyen faktörler ayrıntılı olarak literatürden derlenmiş ve verilmiştir. Bu literatür çalışması sonucunda, kendiliğinden yanmayı tespit yöntemleri belirlenmiş ve bu yöntemlere dayanan risk sınıflamaları verilmiştir. Bu bölümde ise yeraltı kömür ocakları risk sınıflamasında kullanılacak olan verilerin elde edilebilmesi için gerekli olan deney düzeneği ve yöntemi açıklanmıştır. Bu deney sonuçlarına dayanarak ocakların risk sınıflaması yapılmıştır.

2. YERALTI OCAK ÇALIŞMALARI

Türkiye Kömür İşletmelerinin beş ayrı Yeraltı İşletmesinde, toplam 20 değişik linyit damarında, kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerini belirlemek üzere çalışmalar yürütülmüştür (Çizelge 1). Bu İşletmeler sırasıyla Alpagut-Dodurga Linyitleri İşletmesi (ADL), Doğu Linyitleri İşletmesi (DLİ), Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ), Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) ve Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi (OAL). Bu İşletmelerden OAL, 2000 yılında TKİ bünyesinden çıkmıştır.

Laboratuvar analizleri için gerekli örnekleri temin etmek amacıyla işletmelere teknik bazda geziler yapılmıştır. Bu gezilerde, blok numuneler, el numuneleri ve sızdırmaz tüpler

Çizelge 1. Çalışmanın Yapıldığı İşletmeler

İşletme	Ocak	Damar
ADL		*
DLİ	Aşkale	Kükürtlü-2 Kükürtlü-4 Kükürtlü-6
	İspir	İnce Kalın
	Oltu	Harman Karakütük Merkez Susuz
ELİ	Darkale	*
	Eynez	*
GLİ	Ömerler	Taban Orta Tavan
	Tunçbilek	Taban Orta Tavan
OAL	Beypazarı	Taban Tavan

* Tek damar.

inde numuneler alınmıştır. Numunelerin doğal özelliklerini korumak amacıyla, blok numuneler sandıklar içerisine çimentolanarak, el numuneleri ise streç filme sarılarak laboratuvara nakledilmiştir. Sızdırmaz tüplerdeki numunelerden biri kömürdeki gaz miktarını diğeri gaz bileşimini belirlemek için kullanılmıştır. Streç filme sarılı kömür örnekleri ise yanma deneylerinde kullanılmıştır. Sızdırmaz tüplerde ve streç filme sarılarak getirilen numuneler, sandıklanmış blok numuneler gelinceye kadar ilk değerleri tesbit etmek için kullanılmıştır. Daha sonra sandıklar içinde gelen blok numunelerden karotlar alınmış ve bu karotlar kullanılarak gaz analizi deneyleri tekrar yapılmıştır.

3. ARAŞTIRMADA KULLANILAN DENEY DÜZENEGİ

Kömürün kendiliğinden yanma mekanizmasını belirleyen parametreleri bulabilmek için deney modellerinin tasarımı yapılmış ve düzenekler hazırlanarak deneylerde kullanılmıştır.

Kömürün kendiliğinden yanma mekanizmasını inceleyebilmek için reaksiyon hücresi tasarımı yapılmış, bu hücre ile birlikte fırın, sıcaklık programlayıcı, hava ve azot akış ölçer, dijital sıcaklık okuyucu, basınç göstergeleri, sürekli gaz analiz ve gaz kromatograf cihazları kullanılmıştır. Reaksiyon hücresi ve yardımcı ekipmanların şematik diyagramı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Deney düzeneği dört önemli kısımdan oluşmaktadır:

1. Hava ve azot enjeksiyon sistemi
2. Reaksiyon hücresi
3. Gaz üretim ve analiz sistemi
4. Veri toplama ünitesi

Hava ve azot enjeksiyon sistemi, reaksiyon hücresine deneyler sırasında hava ve azot gazlarını ayrı ayrı enjekte etmek için tasarlanmıştır. Kuru hava ve azot tanklarından yüksek basınçlarda çıkan gaz regülatörler ve hava filtrelerinden geçtikten sonra, enjeksiyon basıncına düşürülmektedir. Hücreye enjekte edilen hava ve azotun enjeksiyon hızları akış ölçer kullanılarak ölçülmekte ve deney süresince sabit hızda tutulmaktadır. Adiabatik oksidasyon ve tutuşabilirlik testi deneylerinde kullanılan reaksiyon hücresi 130,2 mm uzunluğunda, 34,2 mm dış çapında ve 1,1 mm et kalınlığında paslanmaz çelik çekme borudan yapılmıştır. Hücrenin merkez sıcaklığını ölçmek ve sıcaklık programlayıcı kontrol etmek için iki adet termokupl kullanılmıştır.

Gaz üretim ve gaz analiz sisteminde, deneyler sırasında üretilen gazlar soğutucudan geçirildikten sonra, devamlı gaz analiz cihazına ve gaz kromatograf cihazına gönderilmektedir. Kömürün kendiliğinden yanma mekanizmasını belirleyen deneylerde, üretilen gaz içerisindeki CO_2 , CO ve O_2 miktarları devamlı gaz analiz cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Gaz kromatograf cihazı ile O_2 , CO_2 , CO , N_2 ve CH_4 gazlarının analizi de yapılmıştır. Üretilen gaz, wet test meter'dan geçirilerek toplam üretilen gaz miktarı da ölçülüp kaydedilmiştir.

Veri toplama sistemi ile deneyler sırasında hücrenin merkezinde numune sıcaklığı ve fırın

içerisinde fırın sıcaklığı ölçülerek kaydedilmiştir. Ayrıca, hava enjeksiyon hızı ve basınçlar ölçülerek kaydedilmiştir.

Reaksiyon hücresi deney düzeneğinde aşağıdaki ekipmanlar kullanılmıştır.

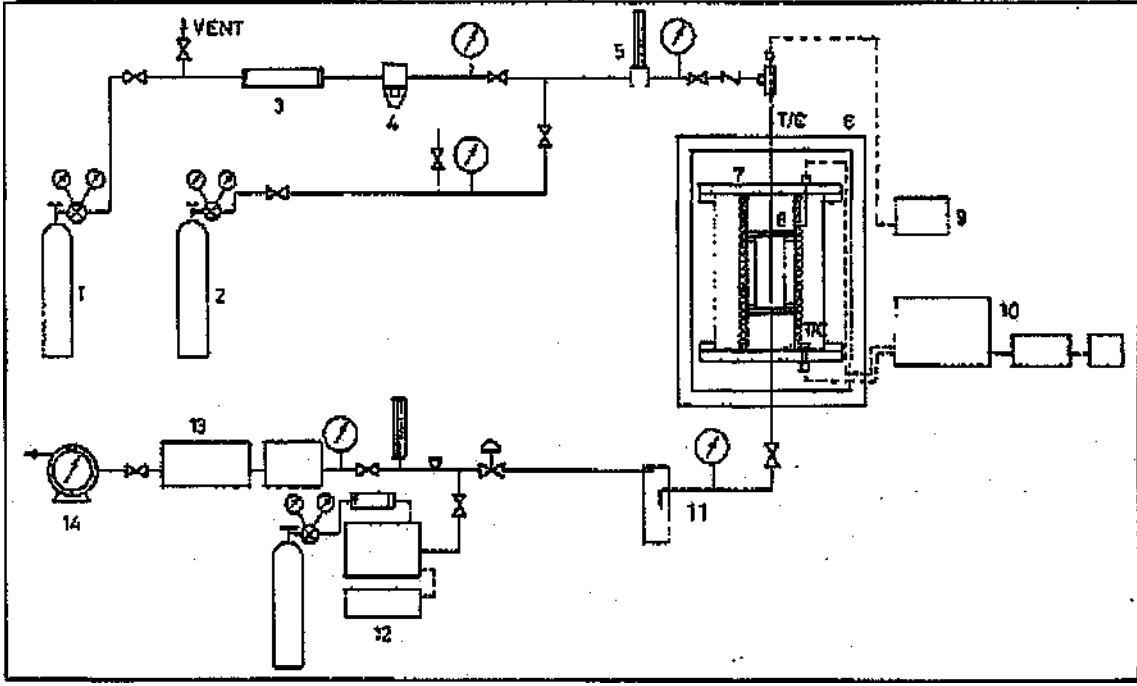
1. Yüksek basınçlı hava tankı
2. Yüksek basınçlı azot tankı
3. Hava filtresi
4. Gaz filtresi
5. Akış ölçer
6. İzolasyon kutusu
7. Fırın
8. Reaksiyon hücresi
9. Dijital sıcaklık okuyucu
10. Sıcaklık programlayıcı
11. Soğurucu
12. Gaz kromatograf
13. Devamlı gaz analiz cihazı
14. Wet-test meter

4. DENEYLERDE İZLENEN YÖNTEM

Kömürün kendiliğinden yanma mekanizmasını inceleyebilmek için tutuşabilirlik testi ve adiabatik oksidasyon yöntemleri kullanılmıştır. Tüm kömür numunelerinin benzer şartlar altında denenmesini mümkün kılmak için deney yöntemleri ve şartları standard hale getirilmiştir.

Tutuşabilirlik testi deneylerinde, reaksiyon hücresi belirli tane boyutunda hazırlanmış olan 20 gr kömür numunesi ile doldurulmuş ve fırın içerisine yerleştirilerek termokupların ve ısıtıcının bağlantıları yapıldıktan sonra izolasyon kutusu içerisine yerleştirilmiş, hava ve azot akış hatları ile üretilen gaz hattının bağlantıları yapılmıştır.

Tutuşabilirlik testi deneylerinde reaksiyon hücresine artan sıcaklık programıyla ısıtma sağlanmış, aynı anda hücreye 200 ml/dak hızla devamlı azot gazı enjekte edilmiştir. Hücrenin merkez sıcaklığı (numune sıcaklığı) $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığında azot gazı enjeksiyonu kesilerek aynı hızla hava enjeksiyonuna başlanmıştır. Deneyler sırasında, hava enjeksiyon hızı sabit tutulmuştur. Hücrenin merkezinde numune sıcaklığı, fırın içerisnde fırın sıcaklığı termokuplarla



Şekil 1. Reaksiyon hücresi ve yardımcı ekipmanlar.

ölçülmüştür. Devamlı gaz analiz cihazı kullanılarak üretilen gaz içerisindeki O_2 , CO_2 , CO analizi yapılmıştır.

Adiyabatik oksidasyon yöntemi deneylerinde, reaksiyon hücresi, 100 gr kömür numunesi ile doldurulmuştur. Hücre fırın içerisine yerleştirilip, gerekli bağlantılar yapıldıktan sonra, hücreye sabit hızla (200 ml/dak) azot gazı enjekte edilmeye başlanmıştır. Adiyabatik oksidasyon yönteminin başlangıç sıcaklığı olan $40\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar hücre ısıtılmış ve bu başlangıç sıcaklığından sonra aynı hızla hava enjeksiyonuna başlanmıştır. Deneylerin süresi 8 saat tutulmuş ve hücre merkez sıcaklığı ölçülüp kaydedilmiştir.

En yüksek risk durumunu ortaya çıkarmak için vakumda kurutulmuş numuneler üzerinde adiyabatik oksidasyon deneyleri yapılmıştır. Adiyabatik oksidasyon deneyi bütün birimler için öncelikle nemli hava ortamında yapılmış, bazı birimler için de deney kuru hava ortamında tekrarlanmıştır.

5. KENDİLİĞİNDEN YANMA DENEY SONUÇLARI

5.1. Tutuşma Sıcaklığı Deney Sonuçları

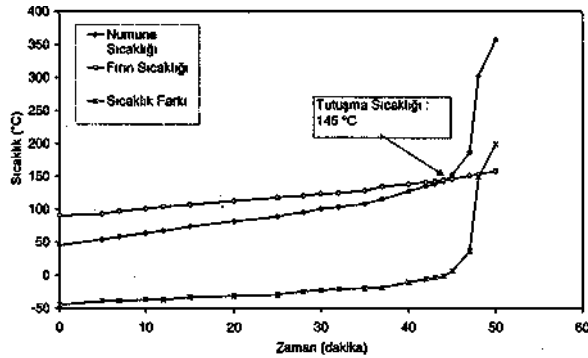
Deneylerin başlangıç aşamasında, hava hızı ve parça boyutunun sonuçlar üzerinde olan etkisini incelemek amacıyla farklı hız ve boyut değerlerinde deneyler tekrar edilmiş ve sonuçta 200 mi hava hızı ve $-100/+200$ parça boyutunda deneylerin sürdürülmesinin pratik olarak risk tayini için uygun olacağına karar verilmiştir. Bu şartlarda proje döneminde toplam 28 adet tutuşma sıcaklığı deneyi gerçekleştirilmiş ve sonuçlarından yararlanılmıştır.

Deney sonuçlarına göre risk tanımlamasına geçmeden önce belirtilmesi gereken çok önemli husus ise, kömürlerde, özellikle de düşük ranklı linyitlerde kendiliğinden yanma riskinin her zaman var olduğudur. İlgili tüm literatürde bu durum açıkça belirtilmektedir. Dolayısıyla yapılması gereken işlem, her bir ocağın özelliğine bağlı risk gurubunu ve buna bağlı

olarak hangi kritik aşamadan sonra yanma hızının arttığını, tedbirli olunması ve önlem alınmasının gerektiğidir.

Yanma sırasında çıkan gaz değişimleri ile birlikte ELİ Soma Eynez'e ait • tipik deney sonuçları Şekil 2 ve 3'de, diğer damarlara ait sonuçlar ise proje raporunda (Karpuz vd., 1998) verilmiştir. Deney sonuçlarına göre damarların yanma risk değerleri ve tanımları Çizelge 1'de sunulmuştur. Deney sonuçlarına göre, ocak çevre şartlarından bağımsız olarak; DLİ Kükürtlü-6, İspir ve OAL damarlarının orta, ADL, DLİ Aşkale-Kükürtlü-2 ve Kükürtlü-4, DLİ Oltu ve Karakütük, ELİ ve GLİ damarlarının da yüksek risk taşıdıkları görülmektedir.

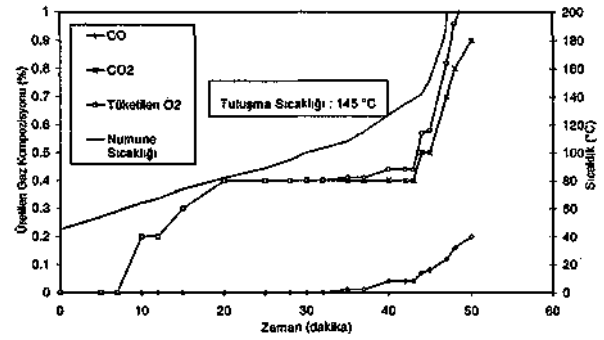
Yanma koşullarının çevre şartları ile birlikte değerlendirilmesi de mümkündür. Örneğin tüm ocaklarda havalandırma basınç farklarının aynı olduğu varsayılsa bile, OAL ocaklarında hem mekanize hem de tavan-taban çalışıldığı için daha fazla parçalanma oluşacağı açıktır. Dolayısıyla daha fazla yüzey açığa çıkacağından kendiliğinden yanma riskinin ortanın üzerinde olacağı söylenebilir, (bu ocağa ait genel değerlendirme adiyabatik oksidasyon deneylerinden sonra da yapılacaktır).



Şekil 2. ELİ Soma Eynez kömürüne ait tutuşma sıcaklığı deney sonuçları.

GLİ ocakları taban-orta-tavan olarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Ancak bu anlamda önemli bir farklılık görülmemiştir.

Çoğunlukla yüksek ve yer yer orta risk saptanmıştır. Dolayısıyla, her üç kömürün de, aynı taban yolundan nakliyatı yapılacağından,



Şekil 3. ELİ Soma Eynez kömürüne ait yanma deneyi esnasında üretilen gaz kompozisyonu sonuçları.

hepsinin yüksek risk taşıyormuş gibi değerlendirilmesi, emniyetli tarafta kalmak açısından, doğru bir yaklaşım olur. Benzer şekilde, DLİ Kükürtlü-6 damarı da (orta risk) Kükürtlü-2 ve Kükürtlü-4 damarlarıyla aynı taban yolunu kullanacağından, yüksek grupta değerlendirilebilir.

Sonuç olarak; tutuşma sıcaklığı deney sonuçlarına göre, DLİ İspir ocağını orta risk (linyitler için olması gereken en düşük risk sınıfı), OAL ocağını orta-yüksek ve diğer tüm ocakları yüksek riskli ocaklar olarak sınıflandırabiliriz.

5.2. Adiyabatik Oksidasyon Deney Sonuçları

Tutuşma sıcaklığı deneylerinde, düşük sıcaklıklardaki oksidasyonu kaçırmamak için düşük sıcaklıklarda (30°C ve 35°C) deneylere başlanmış, ancak bu sıcaklıklarda tutuşma olmamıştır (Çizelge 2).

Tutuşma sıcaklığına benzer şekilde, 38 adet adiyabatik oksidasyon deneyi gerçekleştirilmiştir. Deneylerin çoğu kuru kömür-nemli hava (her bir damar için) ve bir kısmı da kuru kömür-kuru hava şartlarında yapılmıştır.

Çizelge 2. Tutuşma Sıcaklığı Deney Sonuçları.

Bölge/Ocak	Damar Adı Fraksiyon Hava Akışı	Yanma Risk Değeri Hesaplanması		Risk Sınıflaması	Ortalama Risk Sınıflaması
		FCC	MR		
ADL	-100/+200 300 ml/dak	FCC	10,64	Yüksek	Yüksek
		FCC*	21,94	Yüksek	
		WITH	5,72	Yüksek	
		MR	15,41	Orta	
DLİ Aşkale	Kükürtlü-2 -100/+200 200 ml/dak	FCC	12,49	Yüksek	Yüksek
		FCC*	13,35	Yüksek	
		WITH	1,48	Orta	
		MR	25,17	Yüksek	
	Kükürtlü-4 -100/+200 200 ml/dak	FCC	11,85	Yüksek	Yüksek
		FCC*	13,67	Yüksek	
		WITH	2,10	Orta	
		MR	37,50	Yüksek	
DLİ Aşkale	Kükürtlü-6 -100/+200 200 ml/dak	FCC	9,54	Orta	Orta
		FCC*	9,19	Orta	
		WITH	2,65	Orta	
		MR	14,12	Orta	
DLİ İspir	ince -100/+200 200 ml/dak	FCC	9,60	Orta	Orta
		FCC*	11,97	Yüksek	
		WITH	1,12	Orta	
		MR	10,92	Orta	
	Kaim -100/+200 200 ml/dak	FCC	8,09	Orta	Orta
		FCC*	7,62	Orta	
		WITH	1,20	Orta	
		MR	10,92	Orta	
DLİ Oltu	Harman -100/+200 200 ml/dak	FCC	11,56	Yüksek	Yüksek
		FCC*	16,00	Yüksek	
		WITH	2,47	Orta	
		MR	31,36	Yüksek	
	Karakütük -100/+200 200 ml/dak	FCC	11,16	Yüksek	Yüksek
		FCC*	21,42	Yüksek	
		WITH	3,35	Orta	
		MR	10,05	Orta	
	Merkez -100/+200 200 ml/dak	FCC	13,19	Yüksek	Yüksek
		FCC*	27,08	Yüksek	
		WITH	3,55	Orta	
		MR	27,20	Yüksek	
	Susuz -100/+200 200 ml/dak	FCC	13,23	Yüksek	Yüksek
		FCC*	14,74	Yüksek	
		WITH	4,58	Orta	
		MR	13,90	Orta	

Çizelge 2. Tutuşma Sıcaklığı Deneş Sonuçları (Devam).

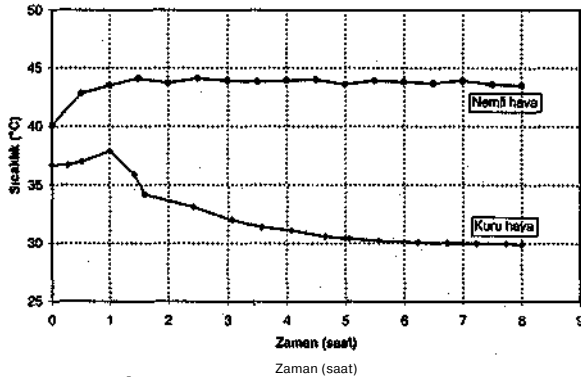
Bölge /Ocak	Damar Adı Fraksiyon Hava Akışı	Yanma Risk Değeri Hesaplanması		Risk Sınıflaması	Ortalama Risk Sınıflaması
		FCC	MR		
ELİ	Darkale -100/+200 200 ml/dak	FCC	12,49	Yüksek	Yüksek
		FCC*	17,30	Yüksek	
		WITH	3,62	Orta	
		MR	23,40	Yüksek	
	Eyneş -100/+200 200 ml/dak	FCC	15,75	Yüksek	Yüksek
		FCC*	32,97	Yüksek	
		WITH	4,64	Orta	
		MR	34,56	Yüksek	
GLİ Ömerler	Taban -100/+200 300 ml/dak	FCC	12,85	Yüksek	Orta -Yüksek
		FCC*	14,99	Yüksek	
		WITH	3,55	Orta	
		MR	18,75	Orta	
		FCC	11,45	Yüksek	
		FCC*	17,20	Yüksek	
	Orta -100/+200 300 ml/dak	FCC	10,49	Yüksek	Orta -Yüksek
		FCC*	12,27	Yüksek	
		WITH	2,72	Orta	
		MR	15,04	Orta	
	Tavan -100/+200 300 ml/dak	FCC	11,64	Yüksek	Yüksek
		FCC*	16,96	Yüksek	
WITH		6,79	Yüksek		
GLİ Tunçbilek	Taban -100/+200 300 ml/dak	FCC	10,82	Yüksek	Yüksek
		FCC*	17,39	Yüksek	
		WITH	5,93	Yüksek	
		MR	32,94	Yüksek	
	Orta -100/+200 200 ml/dak	FCC	10,51	Yüksek	Yüksek
		FCC*	16,88	Yüksek	
		WITH	2,31	Orta	
		MR	31,40	Yüksek	
	Tavan -100/+200 200 ml/dak	FCC	10,88	Yüksek	Yüksek
		FCC*	16,28	Yüksek	
		WITH	4,60	Orta	
		MR	40,30	Yüksek	
OAL Beypazan	Tavan -100/+200 300 ml/dak	FCC	9,38	Orta	Orta
		FCC*	9,44	Orta	
		WITH	2,04	Düşük	
		MR	10,15	Orta	
	Tavan -100/+200 Bulk	FCC	9,84	Orta	Orta
		FCC*	16,29	Yüksek	
		WITH	2,66	Orta	
	Taban -65/+100 150 ml/dak	FCC	11,02	Orta	Orta
		FCC*	14,40	Yüksek	
		WITH	3,10	Orta	
		MR	9,77	Düşük	

Çizelge 2. Tutuşma Sıcaklığı Deney Sonuçları (Devam).

Bölge /Ocak	Damar Adı Fraksiyon Hava Akışı	Yanma Risk Değeri Hesaplanması		Risk Sınıflaması	Ortalama Risk Sınıflaması
	Taban -65/+100 300 ml/dak	FCC	7,96	Orta	
		FCC*	13,77	Yüksek	
		WITH	4,20	Orta	
	Taban -100/+200 300 ml/dak	FCC	7,85	Orta	
		FCC*	7,25	Orta	
		WITH	4,19	Orta	
	Taban -200 300 ml/dak	FCC	7,70	Orta	
		FCC*	9,50	Orta	
		WITH	3,88	Orta	

- FCC : Feng vd., (1973) göre (tüm değerler kullanılırsa)
 FCC* : Feng vd., (1973) göre (110 °C'nin üstü kullanılırsa)
 WITH : Waugh ve Gugh'a göre (Eroğlu ve Gouws, 1993 yayınında)
 MR : Mahedevan ve Ramlu (1985)'ya göre

Yine Soma Eyzey'e ait tipik bir adiyabatik oksidasyon deney sonucu Şekil 4'te, diğerleri proje raporunda (Karpuz vd., 1998), damarların yanma risk değerleri ve tanımları ise Çizelge 3'de sunulmuştur.



Şekil 4. ELİ Soma Eyzey kömürüne ait adiyabatik oksidasyon deneyi sonuçları (-100/+200 mesh, 200 ml/dak hava hızı)

Linyit örnekleri üzerinde yapılan adiyabatik oksidasyon deneylerinde en belirgin özellik; örneklerin maksimum sıcaklık artışına ilk bir saatte ulaştıkları ve sonra oksitlenme eğilimlerini kaybettikleridir. Bunun, ocak şartları açısından pratik sonucu ise; önlem alınmaz, oksidasyon sonucu açığa çıkan ısının birikimine fırsat verilirse, ocak içinde kendiliğinden yanma riskinin büyük olacağıdır.

Sonuç olarak; adiyabatik oksidasyon deney sonuçlarına dayanarak, DLİ İspir dışındaki tüm ocaklar yüksek riskli ocaklar olarak değerlendirilebilir.

5.3. Değerlendirme ve Ocakta Yangın Risk Kriterinin Tesbiti

Laboratuvarda yapılan tutuşma sıcaklığı ve adiyabatik oksidasyon deneyleri sonucunda, TKİ Genel Müdürlüğüne bağlı yeraltı ocaklarının kendiliğinden yanma risk sınıflaması aşağıdaki gibi tesbit edilmiştir.

- OALocakları : Yüksek riskli
 ADL ocağı : Yüksek riskli
 GLİ ocakları : Yüksek riskli
 ELİocakları : Yüksek riskli
 DLİ ocakları (Aşkale, Oltu) : Yüksek riskli
 DLİ İspir : Orta riskli

İspir dışındaki tüm ocaklarda kendiliğinden yanma riski yüksek olduğuna göre, bundan sonra yapılması gerekli işlem, hangi aşamadan sonra açık alevli yanmaya geçişin başladığının tesbitidir. Bir başka deyişle, hangi kritik seviyeden sonra ocak idaresi yangının başladığını tespit edecek ve dolayısıyla da önlemlerini almaya başlayacaktır. Bu amaçla, yanma esnasında çıkan gazların miktarları ve

Çizelge 3. Adiyabatik Oksidasyon Denev Sonuçları (-100/+200 mesh fraksiyon, 200 ml/dak hava hızı)

Bölge Ocak	Damar Adı	İlk Sıcaklık Artışı (°C/saat)	Toplam Sıcaklık Artışı (°C)	Sonuç Oksidasyon Eğilimi
Risk Sınıflaması				
ADL		2,7 Çok Yüksek	3,7 Orta	Yüksek ¹¹
DLİ Aşkale	Kükürtlü-2	2,7 Çok yüksek	3,0 Orta	Yüksek ¹
		1,7 Yüksek	2,6 Orta	Orta-Yüksek
	Kükürtlü-4	3,2 Çok yüksek	3,2 Orta	Yüksek
		2,1 Çok yüksek	3,0 Orta	
	Kükürtlü-6	2,0 Çok yüksek	2,0 Düşük	Yüksek ¹¹
		3,5 Çok yüksek	6,2 Yüksek	
DLİ İspir	ince	1,7 Yüksek	1,8 Düşük	Orta
	Kalın	1,2 Orta	2,8 Orta	Orta
DLİ Oltu	Harman	3,4 Çok yüksek	3,7 Orta	Yüksek ¹¹
	Karakütük	2,6 Çok yüksek	3,1 Orta	Yüksek ¹¹
	Merkez	1,9 Yüksek	2,6 Orta	Orta ¹
	Susuz	2,4 Çok yüksek	2,7 Orta	Yüksek ¹¹
ELİ	Eynez	3,5 Çok yüksek	4,1 Orta	Yüksek ¹¹
	Darkale	3,4 Çok yüksek	3,8 Orta	
GLİ Ömerler	Taban	1,5 Yüksek	1,7 Düşük	Orta ^{1*}
		3,8 Çok yüksek	3,8 Orta	Yüksek
	Tavan	1,3 Yüksek	1,3 Düşük	Orta
		1,6 Yüksek	2,7 Orta	Orta-Yüksek
GLİ Tunçbilek	Taban	3,1 Çok yüksek	3,5 Orta	Yüksek ¹
		2,1 Çok yüksek	2,1 Düşük	
	Orta	2,6 Çok yüksek	3,1 Orta	Yüksek
		0,8 Orta	1,9 Düşük	
Tavan	0,8 Orta	1,9 Düşük	Orta ¹	
	3,1 Çok yüksek	3,6 Orta		
OAL Beypazan	Taban	3,0 Çok yüksek	3,4 Orta	Yüksek
	Tavan	3,1 Çok yüksek	3,6 Orta	

Oksidasyon sürüyor

artış eğilimlerinden faydalanılarak kömürlerin ayrı ayrı yanma eğilimleri tespit edilmiştir.

Burada belirtilmesi gereken bir husus da, deneyleri yapılan kömürlerin yanma risk değerlerinin proximate analiz sonuçlarıyla ilgili olduğudur. O nedenle, deney yapılan kömürlerin proximate analiz değerleri Çizelge 4'de sunulmuştur.

6. YANMA URUNU GAZLARIN İNCELENMESİ İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Ocaklar bazında linyitlerin tutuşma sıcaklıklarının belirlenmesi için yapılan deneylerde açığa çıkan CO ve CO₂ gazlarının artış trendlerinin incelenmesi ile kömürlerin kendiliğinden yanmasına ilişkin değerlendirmeler daha iyi

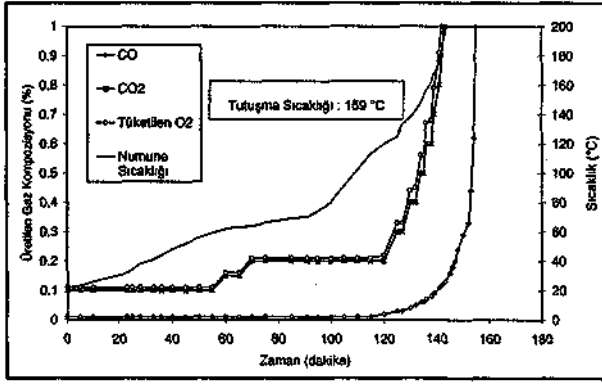
yapılabilir. Kendi-kendine ısınmanın ve yanmanın esas göstergesi CO gazının konsantrasyonudur. CO gazının artış hızı (A CO/At) ise ısınmanın veya yanmanın hangi seviyede olduğunun belirlenmesi bakımından önemlidir.

Tutuşma sıcaklığı deneylerinden elde edilen zaman-sıcaklık ilişkileri incelenmiş, birim zamandaki sıcaklık (AT/At) ve CO gazı artışları (ACO/At) göz önüne alınmış ve yanma sürecinin üç bölgeye (60-95°C, 95°C-Tutuşma sıcaklığı ve Tutuşma sıcaklığı-395°C) ayrılarak değerlendirilmesinin uygun olacağı görülmüştür. Bu anlamda, OAL Beypazarı Taban kömüründe yapılan tutuşma sıcaklığı deneyine ait değerlendirme örnek olarak aşağıda verilmektedir.

Çizelge 4. Yanma Deneyi Yapılan Örneklerin Proximate Analiz Sonuçları.

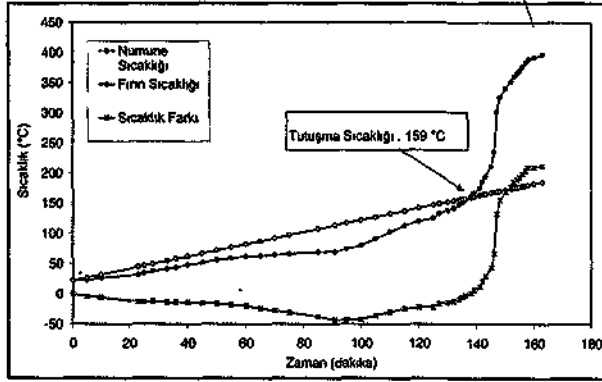
İşletme Ocak Damar	Yüzey nemi (+40°C)	Bünye nemi (105°C)	Kül miktarı (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Net kalorifik değer(*) (cal/g)
ADL	18,98	6,45	6,79	40,00	46,76	5946
DLİ/Aşkale						
Kükürtlü-2	0,95	0,86	28,99	33,73	36,42	5775
Kükürtlü-4	2,78	0,45	34,28	24,21	41,06	4447
Kükürtlü-6	1,22	0,20	37,01	25,29	37,50	5113
DLİ/İspir						
ince	27,80	9,87	15,76	53,83	20,54	4378
Kaim	25,88	8,57	32,82	44,94	13,67	3485
DLİ/Oltu						
Harman '	2,23	1,47	17,96	38,26	42,31	5555
Karakütük	3,13	3,11	11,32	43,74	41,83	6864
Merkez	2,78	2,12	6,58	43,68	47,62	6894
Susuz	4,09	2,26	15,84	38,63	43,37	6238
ELİ/Darkale	7,23	6,55	24,70	34,82	33,93	4888
Eynez	4,73	5,76	8,02	45,04	41,18	6099
GLİ/Ömerler						
Tavan	9,11	7,98	6,98	36,91	48,13	6488
Tunçbilek						
Tavan	8,24	7,17	11,61	34,87	46,35	6247
OAL/Tavan	24,22	3,96	17,78	56,24	22,02	5664
Taban	22,05	4,93	15,34	53,93	25,80	4360

...uru bazda yapılan ana iz sonuçları



Şekil 5. OAL Beypazarı Taban kömürüne ait yanma deneyi esnasında üretilen gaz kompozisyon sonuçları

Tutuşma sıcaklığı deneyi esnasında ortaya çıkan CO gazının artış oranları aynı sıcaklık bölgeleri için incelendiğinde 60-95 °C arasında artışın çok fazla olmadığı (1 ppm/dak'dan az), buna karşın artış hızının 95-159°C arasında 21 ppm/dak'ya, 159-395°C arasında ise 770 ppm/dak'ya yükseldiği tespit edilmiştir.



Şekil 6. OAL Beypazarı Taban kömürüne ait tutuşma sıcaklığı deney sonuçları.

Tutuşma sıcaklığı deneylerinde açığa çıkan diğer önemli bir gaz ise CO₂'dir. Verilen örnek kömür için CO₂ gazı 60°C'ye kadar fazla bir artış göstermezken 60-110°C arasında tedrici bir artış göstermekte ve bu sıcaklıktan itibaren tutuşma sıcaklığı olan 159°C kadar olan bölgede artış daha da belirgin olmaktadır.

Yüksek yatkinlık riski taşıyan ocakların açık alevli yangına dönüşebilme eğilimleri, CO ve onun birim zamanda artış hızı kritik değerleri cinsinden ocak bazında değerlendirilmiştir. Tüm linyitler için yanma olayı içinde CO gaz artış hızı üç ayrı bölümde incelenmiş ve birbirine yakın değerler elde edilmiştir. Yapılan tesbitlere göre, numune sıcaklığı 95°C'ye ulaşana kadar CO artış hızı ortalama 5 ppm/dak (OAL 3 ppm/dak, ELİ Darkale 5 ppm/dak), 95°C'den tutuşma sıcaklığına kadar ortalama 35 ppm/dak (OAL 22 ppm/dak, ELİ Darkale 39 ppm/dak), tutuşma sıcaklığından sonra ise CO artış hızı büyük değerlere ulaşmaktadır.

Kendiliğinden yanma ile meydana gelen gerçek ocak yangınlarında da bu durumu gözlemek mümkündür. OAL'de meydana gelen bir yangında monitör ile ölçülen CO değerlerinin analizinde benzer artış hızları gözlenmiştir (Güyağüler, T. ve Karaman, EL, 1993).

Isınma sürecinde CO artış hızlarının değerlendirilmesi bize ısınmanın durumunu belirtmesi açısından önemlidir. Laboratuvar koşullarında yapılan değerlendirme rapor içinde yer almaktadır. Ancak gerçek değerlendirme ısınma sürecinde CO artış hızlarının devamlı hesaplanması ve önceki CO artış hızlarıyla mukayesesi sonucu yapılmalıdır. Artış hızlarının doğrusallıktan çıkıp üssel konuma gelmesi, CO konsantrasyonuna bağlı olmaksızın ısınmanın kısa sürede yangına dönüşeceğinin bir göstergesi olarak algılanmalıdır. Bu kritik koşullara ulaşılması halinde ocak idaresi, kızışmanın arttığını, açık alevli yangının başlayabileceğini kabul etmeli ve gerekli önlemlerini almalıdır.

Ocak yangınlarında CO ve CO₂ gazları ile bunların artış hızları yangının durumu hakkında bilgi verdiği daha önce belirtilmişti. Bu gazların düşük konsantrelerde ölçülebilmesi yangının ilk aşamalarının belirlenmesine olanak verirler. Bu gazlar yangın olmadığı zamanlarda tabakalardan ocak havasına doğal olarak karışmaktadırlar. Bu nedenle her ocakta normal koşullarda belirli miktarlarda CO

ölçmek mümkündür. Örneğin A ocağında normal koşullarda 5 ppm CO görülüyorsa bu hiçbir zaman yangın başlangıcı olarak yorumlanmamalıdır. Kömürlerin normal koşullarda O₂ absorbe ettikten sonra CO ve CO₂ gazı oluşturdukları bilinmektedir. Sıcaklığın artması ile kömürün ısı ve ocak havasına karışan CO ve CO₂ miktarları artmaktadır. Bu durumu gerek laboratuvarında yapılan deneyler sırasında gerekse gerçek ocakta gözlemek mümkündür. Ocakta CO'nun artış trendi göstermesi kendi kendine ısınmanın işareti, bu trend içinde CO artış hızının fazlaşması ise ısınmanın yanma olayına hızla yaklaştığının bir göstergesidir. Linyitler tutuşma sıcaklığı aşıldıktan sonra çok hızlı bir sıcaklık artışı göstermekte ve kısa sürede açık alevli yangına dönüşebilmektedir.

Kural olarak 1 kg kömürün yanması ile yaklaşık 0,03 m³ CO gazı ocak havasına karışmaktadır. Yangın sırasında ne kadar kömür yandığı yada yangının büyüklüğü hakkında nasıl fikir edinileceği aşağıdaki örnekte açıklanmıştır. Yangın sahasına 300 mVdak hava gönderildiğinde dönüş havasındaki CO konsantrasyonu 1000 ppm oluyor ise, ocak havasına dakikada 0,3 m³ CO gazı karışıyor demektir. Her bir kilogram kömürün yanması sonucu 0,03 m³ CO gazı oluştuğuna göre dakikada 0,3 m³ CO oluşması için yanması gereken kömür miktarı 10 kg olmaktadır. Bu her dakikada 10 kg kömürün yandığını göstermektedir ki bu değeri büyük yangın olarak yorumlamak mümkündür. Yangın alanına giden yada gönderilen hava miktarının bilinmesi halinde bu tür hesaplamalar yangın alanında ne olup bittiğini anlamak açısından yardımcı olmaktadır.

Deney sonuçlarından da görüldüğü gibi ortak özellik olarak kömürün ısınmasının ilk aşamalarında önce CO₂ sonrada CO gazı konsantrasyonları artmaya başlamaktadır. CO₂ artışı 60-65 °C sıcaklıkta başlamakta ve suyun kaynama noktası olan 100°C'ye kadar tedrici bir şekilde artmaktadır. 100-150°C arasında zamana göre ısı artış hızı ile CO ve CO₂ artış hızları da, önceki sıcaklık dilimine göre biraz daha artmaktadır. 145-150°C'nin üzerinde ise sıcaklık artış hızı dahada artmakta ve kısa zaman aralığında tutuşma sıcaklığına gelerek açık alevle dönüşmektedir. 145-150°C'den sonra ısınmanın açık alevle (175-210°C) dönüşmesini engellemenin mümkün olmadığını söylemek yerinde olacaktır.

Sonuçlardan görüleceği gibi 100-150°C sıcaklık aralığında CO artış hızı da artmaktadır.

Kendi kendine ısınma nedeniyle kömür ısısının artması ile birlikte CO₂ artışı da olmaktadır. Bu nedenle yangından şüphelenildiği durumlarda CO ile birlikte CO₂ gazının da ölçülmesinde yarar vardır. Metan patlaması tehlikesi olmayan tüm ocaklarda CO'in 100 ppm'e kadar artması tehlikeli olmayacaktır. Çünkü; konsantrasyon 100 ppm olduğunda işçi hiç yada çok az zarar görmekte, 100-200 ppm arasında hafif baş ağrısı, 200 ppm'de bir vardiya kaldığında baş ağrısı şiddetlenmekte, 400-600 ppm arasında ise 1 saat süre ile fazlaca zarar görmeden kalabilmekte, 1200 ppm'de 1 saat süre ile kalma tehlikeli olmakta, 4000 ppm'de ise 1 saat'ten daha kısa bir sürede ölüm olayı görülmektedir. Dolayısıyla, CO gazının insan üzerindeki etkileri incelendiğinde, bir vardiya süresince CO konsantrasyonunun 100 ppm olması halinde ocak içinde bulunanlara zararlı olmayacağı görülmektedir.

7. SONUÇ

Makalenin giriş bölümünde de belirtildiği gibi, TKİ Genel Müdürlüğü yeraltı kömür ocaklarının Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığının 25 Temmuz 1996 tarih ve 22707 sayılı Grizulu ve Yangına Elverişli Ocaklarda Alınması Gerekli Tedbirler Hakkındaki Yönetmelik kapsamında değerlendirilmesi yapılmıştır. Değerlendirmesi yapılan birimler sırasıyla şunlardır: ADL, DLİ-Aşkale Kükürtlü-2, Kükürtlü-4 ve Kükürtlü-6, DLİ-İspir İnce ve Kalın, DLİ-Oltu Harman, Karakütük, Merkez ve Susuz, ELİ Darkale ve Eynez, GLİ-Ömerler Taban, Orta ve Tavan, GLİ-Tunçbilek Taban, Orta ve Tavan, OAL-Beyazarı Taban ve Tavan. Gereçekleri yazı içinde ayrıntılı olarak verilen değerlendirmeleri şu ana başlıklar altında toplamak mümkündür.

Kendiliğinden yanmaya yatkınlık risk sınıflamasında, DLİ-İspir dışındaki tüm ocakların yüksek risk taşıdıkları ve önlem alınmadığı taktirde açık alevli yangına dönüşebilme ihtimallerin olduğu tesbit

edilmiştir. İspir ocağı orta risklidir. Diğer bir deyişle incelenen ocaklar arasında riski en az olandır.

Isınma sürecinde CO artış hızlarının değerlendirilmesi bize ısınmanın durumunu belirtmesi açısından önemlidir. Tüm linyit örnekleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda CO artış hızı 35 ppm/dak kritik değer olarak tesbit edilmiştir. Bu kritik değere ulaşılması halinde ocak idaresi, kızışmanın arttığını, açık alevli yangının başlayabileceğini kabul etmeli ve gerekli önlemlerini almalıdır.

Ocaklarda, CO artış hızını belirlemek amacıyla zamana karşı CO ölçümleri düzenli olarak yapılmalıdır. Bu şekilde, hem yangın öncesi koşullar kontrol edilerek yangın için gerekli önlemler alınmış, hem de laboratuvar sonuçlarının geçerliliği kontrol edilmiş olacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu çalışmaya maddi destek veren TKİ kurumuna ve İşletmelerdeki yardımlarından dolayı mühendislere ve teknik personele teşekkür eder.

KAYNAKLAR

....., 1996; "Grizulu ve Yangına Elverişli Ocaklarda Alınması Gerekli Tedbirler", 25 Temmuz 1996 tarih ve 22707 sayılı Yönetmelik, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.

Eroğlu, H., ve Gouws, M.J., 1993; "Kömürün Kendiliğinden Yanmasına Ait Kuramlar", Madencilik, Cilt 32, Sayı. 2, s. 13-18.

Feng, K.K., Chakravorty, R.N. ve Cochrane, T.S., 1973; "Spontaneous Combustion - A Coal Mining Hazard", CIM Bulletin, Cilt. 66, s.75-84.

Güyağüler, T. ve Karaman, H., 1993; "Evaluation of Mine Fires Due to Spontaneous Combustion in the Mechanized Faces of Middle Anatolian Lignite Mine, Case Studies", Innovative Mine Design for the 21st Century Proceedings of the Int. Cong. On Mine Design, Kingston, Ontario, Canada.

Karpuz, C, Güyağüler, T., Bağcı, S., Bozdağ, T., Hindistan, M.A., Başarır, H., Keskin, S., Türksoy, U., 1998; "TKİ Yeraltı Ocaklarının Kendiliğinden Yanma ve Gaz Değaj Özelliklerinin Araştırılması", ODTÜ, Ankara.