

# LİNYİTLERİN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIK DERECELERİNİN TESPİTİ: BÖLÜM 1 - RİSK SINIFLAMASI DERLEMESİ

## The Determination of Liability Index for Spontaneous Combustion of Lignite: Part 1- Risk Classification Review

Celal Karpuz<sup>1)</sup>  
Tevfik Güyagüler<sup>( )</sup>  
Suat Bağcı<sup>\*\*\*\*</sup>  
Taylan Bozdağ<sup>'\*\*\*\*'</sup>  
Hakan Başarır<sup>'\*\*\*\*'</sup>  
Sinan Keskin<sup>( )</sup>

### ÖZET

Bu yazıda, öncelikle kömürlerin kendiliğinden yanma mekanizması ve kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerini etkileyen faktörler anlatılmıştır. Daha sonra, kendiliğinden yanma tespit yöntemleri verilmiş, özellikle ocak şartlarını iyi temsil eden bir yöntem olan adiyabatik yöntem tanıtılmıştır. Yeraltı kömür ocaklarının risk sınıflaması kendiliğinden yanma tespit yöntemlerine göre derlenerek beş risk sınıflama sistemi verilmiştir. Son olarak da, ülkemizdeki yeraltı kömür ocaklarının kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecelerinin tespiti ile ilgili yapılan çalışmaların bir özeti sunulmuştur.

Anahtar Sözcükler: Kendiliğinden Yanma, Risk Sınıflaması, Yeraltı Kömür Ocağı

### ABSTRACT

In this paper, first of all, the mechanism of the spontaneous combustion and the factors affecting liability of coal to spontaneous combustion are explained. Then, spontaneous combustion determination methods are explained, emphasize is given on the adiabatic oxidation method, which better represents mine environments. The risk classification of underground coal mines are reviewed according to spontaneous combustion determination methods and five different classification systems are presented. Finally, a summary of the researches conducted on the spontaneous combustion liability index determination of underground coalmines in Turkey is compiled.

Keywords: Spontaneous Combustion, Risk Classification, Underground Coalmine.

Prof.Dr., ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara  
Prof.Dr., ODTÜ Petrol ve Doğalgaz Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara  
<sup>0</sup> Dr.Uzman, ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara  
<sup>'''</sup>Araş.Gör., ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531, Ankara

## 1. GİRİŞ

Son yıllarda ülkemizdeki doğal gaz kullanımının ve belediyelerin ithal kömür uygulamasının artmasına rağmen, konut ısıtmasında ve küçük işletmelerin buhar ve ısı ihtiyaçlarının karşılanmasında büyük oranda Türkiye'deki yeraltı kömür ocaklarından elde edilen taş kömürü ve kaliteli linyit kullanılmaktadır. Yeraltı kömür ocaklarının en önemli problemlerinden biri ise kendiliğinden yanmanın gerek tasarım gerekse üretim aşamasında önceden tahmininin yapılması ve gerekli önlemlerin alınması ile oluşabilecek zararların en aza indirilmesidir.

Bu amaçla, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı yeraltı kömür ocaklarında alınması gerekli tedbirler hakkında bir yönetmelik yayınlarak (....., 1996) bu araştırmanın yapılmasına neden olmuştur.

Bu makalenin birinci bölümünde, öncelikle kendiliğinden yanmanın mekanizması, etkileyen faktörler, kendiliğinden yanmayı tayin yöntemleri, yöntemlere bağlı risk sınıflaması ile ilgili literatür derlemesi verilmiştir. İkinci bölümde ise TKİ yeraltı kömür ocaklarında yürütülen deneylerin sonuçları ve onların yönetmelik kapsamında değerlendirilmesi yapılarak risk sınıflaması sonuçları verilmiştir.

## 2. KENDİLİĞİNDEN YANMA

Kömürün yavaş oksitlenme ile kendiliğinden ısınması ve ısı birikimi ile açık alevli yanmaya kadar gidebilmesi madencilikte kendiliğinden yanma olarak adlandırılmaktadır. Kendiliğinden yanma, esas olarak düşük ranklı kömürlerin (linyitlerin) madencilik özelliği olmakla birlikte (Feng, 1985; Smith ve Lazzara, 1982) şıg, derin, grizulu, grizusuz, linyit, antrasit gibi her türlü madencilik şartlarında beklenir ve meydana gelebilir. Kendiliğinden yanma, önemli ekipmanlara zarar veren, üretimi engelleyen ve ocağın devamlılığını, büyümesini etkileyen bir olaydır. Kömür oksijen ile temas ettiğinde (oda sıcaklığı ve normal atmosferik şartlarda), oksijen absorbe etmekte ve açığa çıkan ısı havalandırma ile atılmaz ise kömür sıcaklığında sürekli bir artış kaydedilmektedir. Artan sıcaklık oksitlenmeyi hızlandırmakta ve bu mekanizma önlenemez ise alevli yanmaya dönüşmektedir (Karpuz ve ark., 1985,1986).

Kömür damarlarının düşük sıcaklıkta oksitlenmesi ile başlayıp açık alevli yanmaya kadar dönüşebilen kendiliğinden yanma olayı değişik çevre koşulları ve kömür damarının özelliklerine bağlı olarak farklı nitelikler göstermektedir. Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecesini belirleyen faktörler, Çizelge 1'de de görüldüğü gibi, başlıca

Çizelge 1. Kendiliğinden Yanmayı Etkileyen Başlıca Faktörler (Feng vd., 1973)

Kömür Yapısı	Çevre Koşulları	
	Jeolojik Yapı	Madencilik Uygulaması
1. Düşük ranklı	1. Kömür damarlarında faylanmalar	1. Göçükte kömür kaybı
2. Yüksek nemli	2. Zayıf ve bozulmuş formasyonlar	2. Gerilme boşalması
3. Yüksek piritli	3. Düşük kalite kömür bantları içeren kalın kömür damarları	3. Sığ damarlarda tasman nedeni ile yüzey ile bağlantı
4. Kırılganlığı yüksek	4. Sığ damarlar	4. Kalın damarlarda göçerime yöntemi ile üretim, damarda kısmi üretim
	5. Birbirine yakın birden fazla damar	5. Havalandırmada anormallikler-engeller, dengesizlikler, yüksek basınç farkı, vb.
Kontrolü olanaksız		Kontrolü olanaklı

iki grupta toplanmaktadır. Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlık derecesini doğrudan belirleyen ve değiştirilmesi olanaksız olan başlıca faktörler kömürün yapısından kaynaklanmaktadır. Düşük sıcaklıkta oksitlenme özelliği ve sıcaklık artışına bağlı olarak belirli bir yanmaya yatkınlık derecesini gösteren kömürlerin kendiliğinden yanma riski, değiştirilemeyen jeolojik yapı ve değiştirilmesi mümkün olan madencilik uygulamasından oluşan çevre koşullarına (üretim yöntemi, havalandırma yöntemi, ince/kalın damar gibi) bağlı olarak artabilmekte veya azalabilmektedir.

### **3. KENDİLİĞİNDEN YANMAYI ETKİLİYEN FAKTÖRLER**

Bir ocakta kendiliğinden yanmanın oluşması için gerekli üç ana şart şunlardır:

Oda sıcaklığında (ambient) oksitlenmeyi oluşturacak hazır kömür,

Oksitlenme işlemini destekleyecek hazır oksijen,

Isının birikimine yatkın ocak şartları.

Bir ocakta yukarıda belirtilen şartların oluşması kömürün niteliği ve ocak şartlarına bağlıdır. Bu şartlar; kömürün özellikleri, jeolojik yapısı, madencilik pratiği ve ocak çevresidir (Feng vd., 1973; Kuchta vd., 1980).

#### **3.1. Kömürün Özellikleri**

Genel olarak yüksek piritli veya yüksek bünye oksijeni ve nem içeriğine sahip düşük rankh kömürler (yarı bitümlü ve linyitler) kendiliğinden yanmaya daha yatkındır. Bu kömürler, düşük derecede karbonlaşmalarından ve içsel yapılarının yüksek derecede sorpsiyon ve desorpsiyona izin verecek derecede geçirgen olmalarından dolayı düşük oranda da metan içerirler. Bu kömürlerin reaktivitesi (oksidasyonu ve CO emisyonu), kömürler kurutulduğunda ve küçük parçalara ayrıldığında en büyük değere ulaşır. Ayrıca:

Yüksek nemli kömürler kendiliğinden yanmaya daha yatkındır. Suyun kömür

tarafından desorpsiyonu işlemi yavaşlatırken, absorpsiyonu işlemi hızlandırır. Hızlandırıcı ise üretim sırasında üretilen ısıdır.

Kömür yüzeyine etkiyen nemli hava, kuru havadan 2,5 kat daha fazla ısı üretir.

Açığa çıkan kömürün yüzey alanı kendiliğinden yanmaya önemli katkıda bulunur. Isınma oranı yüzeyin küpü ile doğru orantılıdır. Böylece, kırılmalı özellikteki kömür fazla miktarda parça üreteceğinden, kendiliğinden yanma riski daha yüksektir.

Kömür içinde pirit bulunması yanma riskini artıracaktır.

Yüksek metan içeriği ve akışı (geliri), yanmayı geciktirir. Çok grizulu ocaklarda yanma riski çok düşüktür. Buna karşın, metan geliri aniden düşerse, oksidasyon beklenebilir.

Özet olarak, düşük rankh kömürler yüksek rankh kömürlere oranla kendiliğinden yanmaya daha yatkındır (Litton ve Pag, 1994). Yüksek uçucu maddeli veya düşük rankh yarı bitümlü kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığı, düşük uçucu maddeli veya yüksek rankh bitümlü kömürlerden daha fazladır. Dolayısıyla, linyitler kendiliğinden yanmaya çok yatkındır (Feng, 1985).

#### **3.2. Jeolojik Yapısı**

Fay gibi zayıflık düzlemleri, hava kaçağına neden olduğundan kendiliğinden yanmaya yardımcı olurlar. Derin ocaklar termal gradient nedeniyle ortamın sıcaklığı artacağından; kaim damarlar ve çok damarlı ocaklar ise hava ile temas alanının yüksek olacağından, kendiliğinden yanmaya daha yatkındır. Sovyet araştırmacıları kalınlığı 1,5 m'nin altında olan damarlarda riskin az, 3 m'den kalın damarlarda ise riskin fazla olduğunu belirtmektedirler (Kuchta vd., 1980).

#### **3.3. Madencilik Şartları ve Ocak Çevresi**

##### Madencilik Şartları

- a. Kömür kayıpları ve parça kömür birikimi: Mekanize ocaklarda çok miktarda parça (ince) kömür üretileceğinden, bunların birikmesi gelecekte potansiyel tehlike oluşturur. Kaim damarlarda, zayıf tabaka şartları da kayıp ve parça kömür birikimine neden olduğundan yine tehlike oluşturabilirler.
- b. Kömür ve çevre tabakalardaki kırık ve fissürlenme: Genellikle yüzeye yakın ocaklarda tasman çatlakları hava kaçığına neden olarak yanmayı teşvik eder. Benzer şekilde birbirine yakın çalışan damarlarda da oluşan çatlaklar, terk edilen yerler hava kaçığına ve yanmaya neden olur.
- c. Havalandırma : Havalandırma basınç farkının yüksek olması kendiliğinden yanmayı teşvik eden önemli bir nedendir. Havalandırma başmandaki artışla, çatlaklı kömür kütlesi veya göçüğe hava kaçığı artacağından ısınma ihtimali yüksek olacaktır. Ana havalandırma yolları, regülatörler, kapılardaki kaçıklar da tehlike kaynağıdır. Taban kabarması ve tavan inmeleri de hava kaçığına neden olurlar. Regülatör ve kapılar, iyi yerleştirilmezse, çevrelerindeki kömür içerisindeki çatlaklara hava sızmasına neden olabilirler. Sonuçta, basınç farkı fazla oldukça, kaçık ve dolayısıyla da yanma riski fazla olacaktır.

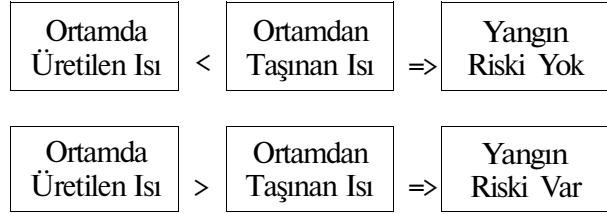
#### Ocak Çevresi

Ocaktaki hava sirkülasyon miktarı da önemlidir. Genel kural olarak; oksitlenme bölgesine beslenen hava miktarı, açığa çıkan ısının birikmesini önleyecek şekilde olmalıdır. Bu ilişki, Demirbilek (1986) tarafından Çizelge 2'deki gibi ifade edilmektedir.

Büyük miktarda hava akımı uygulandığında, oksidasyon ısı dışarı taşınır, ancak hava miktarı ile artan oksijen yanmayı kolaylaştırır. Diğer taraftan hava miktarı az olduğunda oksidasyon sonucu açığa çıkan ısı ortamdan uzaklaştırılmayacak ve kömür tarafından tutulacaktır. Eğer fissürler ve çatlaklanma derecesi ve kırılan kömür fazla olursa, oksitlenme oranı ve de akabinde de ısı üretim

hızı fazla olacaktır. Dolayısıyla kendiliğinden yanmanın oluşumuna neden olan ocak şartının bilinmesinde yarar vardır.

Çizelge 2. Hava Miktarı ve Isı Birikmesi Arasındaki İlişki (Demirbilek, 1986).



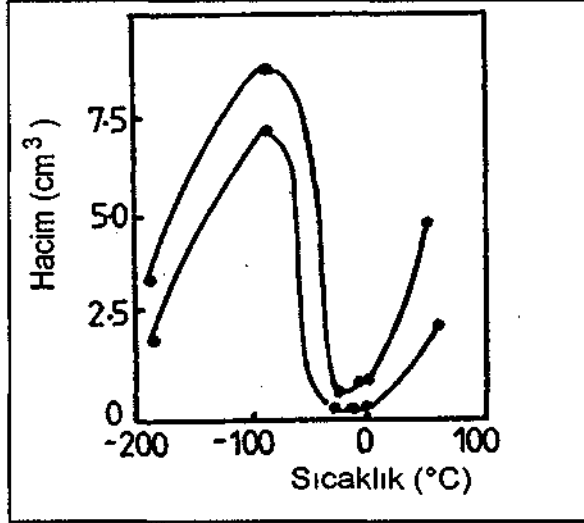
#### 4. KÖMÜR OKSİDASYON MEKANİZMASI

Kömür açık hava ile temas eder etmez, düşük sıcaklıkta bile olsa, oksijen ile reaksiyona girer, yapısında fiziksel ve kimyasal değişikliklerin oluşmasının yanı sıra, her kömürün oksijen absorpsiyon ve adsorpsiyon kapasitesine bağlı olarak ısı açığa çıkmaktadır (Sevenster, 1961). Şekil 1, kömürlerin sabit basınç altında, değişik sıcaklıklarda oksijen adsorpsiyon kapasitesini göstermektedir.

Şekilden de görüldüğü gibi oksijen adsorpsiyon kapasitesi 0°C sıcaklıktan sonra birden artmakta, açığa çıkan ısı uygun şartlarda kendiliğinden yanmaya yardımcı olmaktadır. Kömür oksidasyon reaksiyonu sırasında meydana gelen olaylar aşağıda kısaca verilmektedir;

- İlk adım → Kömür/oksijen komplekslerinin oluşması,
- İkinci adım → Bu komplekslerin bozulması, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O üretimi veya daha duray'ı grupların (karboksil, karbonil ve eter grupları) oluşması,
- Üçüncü adım → Bu grupların bozulması ve değişik gazların çıkması,
- Dördüncü ve son adım → Alifatik yapının kaybedilmesi ile CO, CO<sub>2</sub> ve F<sup>o</sup>O üretilmesi (Swan ve Evans, 1979).

Oksidasyon reaksiyonu Şekil 2'de görüldüğü gibi şematik olarak değerlendirilirse, reaksiyon artan sıcaklık ile birlikte hızlanacak ve yaygınlaşacak, üretilen ısı uygun koşullarda kömürü tutuşma sıcaklığına kadar götürecektir ve açık alevli yanmayı başlatacaktır.



Şekil 1. Kömürlerin sabit basınç adsorbsiyon izobarları (Sevenster, 1961)

Bu aşama kömürün kuluçka dönemini etkilemekte (kömürde oksitlenmenin başlaması ile tutuşma sıcaklığına ulaşarak açık alevli yanmaya dönüşme anı arasında geçen zaman) ve çevre koşullarına bağlı olarak gelişmektedir, Eroğlu ve Gouws (1993)'de kömürün oksidasyon

aşamalarını aşağıdaki gibi özetlemiştir.

- Oksijenin fiziksel soğrulması,

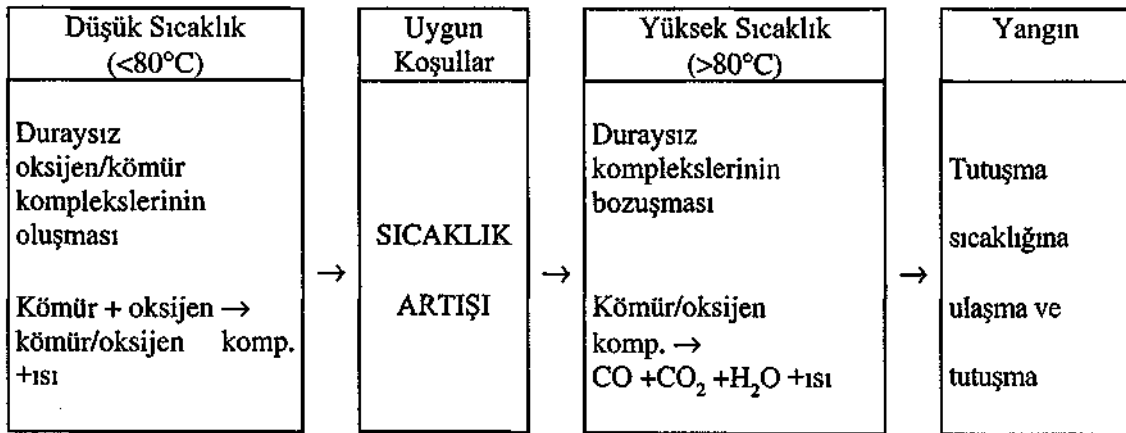
Kimyasal soğrulma, aktif yapıda oksijen içeren kompleksin oluşumu,

Hızlı kimyasal tepkime sonucunda peroksijenin ayrışması ile CO, CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O ürünlerinin oluşumu.

Kömürün fiziksel oksidasyon oranını etkileyen faktörler de Wade (1988) tarafından Çizelge 3'de özetlenmiştir.

Çizelge 3. Çeşitli Parametrelerin Kömür Oksidasyon Oranına Etkisi (Wade, 1988; Eroğlu ve Gouws, 1993).

Parametre	Parametre Artışının Oksidasyon Oranına Etkisi
Tane iriliği	Artar
Sıcaklık	Artar
Nem	Artar
Ön ısıtma	Artar
Oksijen kısmi basınç	Artar
Uçucu madde içeriği	Artar
iç nem	Artar
Karbon içeriği	Azalı
Kömürleşme derecesi	Azalı
Metan içeriği (Feng, 1985)	Azalı



Şekil 2. Kömür oksidasyon mekanizmasının şematik olarak gösterilişi (Demirbilek, 1988).

## 5. KENDİLİĞİNDEN YANMA TESPİT YÖNTEMLERİ

Kömürlerin kendiliğinden yanma indekslerinin saptanmasında laboratuvarında uygulanan beş yöntem mevcuttur (Kim, 1977; Feng, 1985; Smith ve Lazzara, 1987).

Bunlar;

1. Adiyabatik oksidasyon yöntemi,
2. Tutuşma sıcaklığı yöntemi,
3. Statik izotermal (oksijen adsorbsiyon) yöntemi,
4. Dinamik oksidasyon yöntemi,
5. Kimyasal yöntem dir.

Bu yazıda, bu yöntemlerden; ocak şartlarını en iyi temsil eden, hem düşük hem yüksek sıcaklıklarda uygulanabilen ve en yaygın olarak kullanılan ilk iki yöntemden bahsedilecektir. Dolayısıyla diğer üç yöntemin ayrıntısına girilmeyecektir.

Böylelikle, gerek düşük sıcaklıkta ve gerekse yüksek sıcaklıkta oksidasyon sonucu oluşan sıcaklık artışı gözlenebilecek ve iki yöntem ile ayrı ayrı belirlenen yanma riskleri kıyaslanabilecektir.

### 5.1. Adiyabatik Oksidasyon Yöntemi

Bu yöntemde, özellikle yeraltında ve kömür stokları içerisinde ısı alışverişinin yok denecek kadar az olduğu kabul edilerek, adiyabatik şartlarda kömürün oksidasyon sonucu ürettiği maksimum ısı miktarı zamana karşı incelenmektedir. Adiyabatik yöntem, ocak şartlarını en iyi temsil eden yöntem olarak

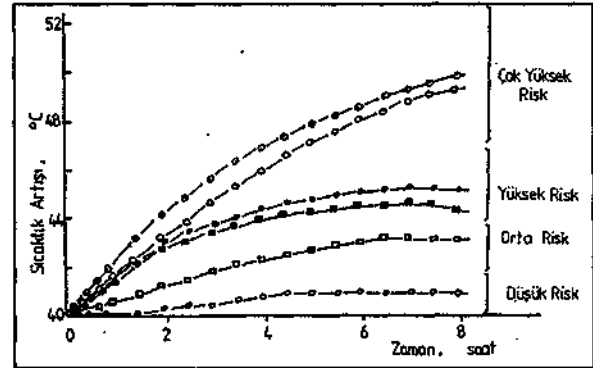
önerilmektedir (Güney, 1971; Ren ve Richards, 1993). Deney sonucu değerlendirilmede gözönüne alınan parametreler şunlardır (Singh ve Demirbilek, 1986);

Söz konusu kömürün ilk bir saatte ulaştığı sıcaklık (initial rate of heating),

Oksidasyon ile ulaşılan maksimum sıcaklık veya toplam sıcaklık artışı,

Oksidasyon eğilimi.

Bu yöntemde, kömürün ve havanın nem içeriğindeki değişikliklerin kömür oksidasyonunda yarattığı etkiler de görülebilmektedir. Singh ve Demirbilek (1986) adiyabatik oksidasyon deney yöntemi risk sınıflamasının ocak şartları ve kuluçka dönemi ile birlikte ilişkilendirilmesini Çizelge 4'te vermişlerdir.



Şekil 3. Adiyabatik yöntemde kendiliğinden yanma risk kategorileri (Sing ve Demirbilek, 1986)

Çizelge 4. Adiyabatik Oksidasyon Yöntemine Göre Kendiliğinden Yanma Risk Sınıflaması (Singh ve Demirbilek, 1986).

Risk Sınıflaması	Adiyabatik Deney Sonuçları		Yanma Risk İndeksi	Toplam Yanma Riski İndeksi (Çevre koşulları dahil)	Kuluçka Dönemi (ay)
	İlk Sıcaklık Artışı (°C/saat)	Toplam Sıcaklık Artışı (°C)			
Çok Yüksek	>2.0	>7.0	8	>40	0-3
Yüksek	1.2-2.0	4.5-7.0	4	21-40	3-9
Orta	0.6-1.2	2.5-4.5	2	11-20	9-18
Düşük	<0.6	0-2.5	1	1-10	>18

## 5.2. Tutuşma Sıcaklığı Yöntemi

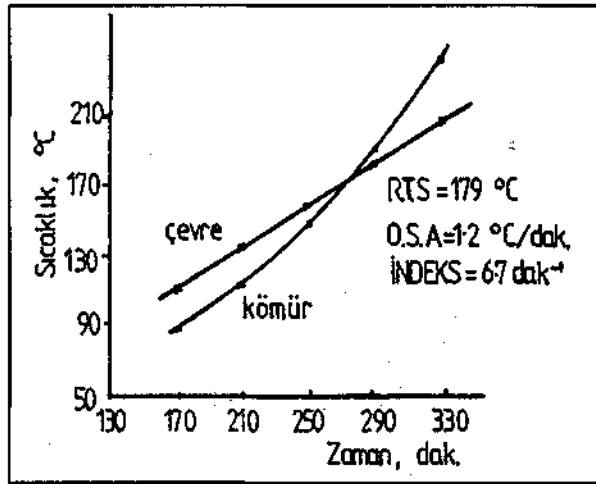
Bu yöntemde, kömürün hava ile oksidasyonu sırasında çevre sıcaklığı 110 °C den başlayarak sabit bir oranda arttırılmakta, oksidasyon ile ısı artışı sonucunda yanmaya geçen kömürün çevre sıcaklığını eşitleyerek aştığı nokta relatif tutuşma sıcaklığı olarak belirlenmektedir (Feng vd., 1973). Deney sonucunda elde edilen sıcaklık artışı eğrisindeki veriler Şekil 4'te değerlendirilerek kendiliğinden yanma risk indeksi bulunmaktadır (Eşitlik 1).

$$\text{Risk İndeksi} = \frac{\text{OSA}}{\text{RTS}} \times 1000 \quad (\text{D})$$

Burada;

OSA: 110°-220°C arası Ortalama Sıcaklık Artışı

RTS: Relatif Tutuşma Sıcaklığı, °C



Şekil 4. Tutuşma sıcaklığı yönteminde sıcaklık artış eğrisi ve relatif tutuşma sıcaklığı.

Sıcaklık artış hızı yüksek ve tutuşma sıcaklığı düşük olan kömürlerin kendiliğinden yanma riski daha yüksek olmaktadır. Yukarıdaki bağlantı ile Yanma Risk İndeksi belirlendiğinde bu değer Çizelge 5'teki veriler ile kıyaslanmakta ve söz konusu kömür için risk sınıflaması yapılmaktadır.

Çizelge 5. Tutuşma Sıcaklığı Yöntemine Göre Yanma Riski Sınıflaması (Feng vd., 1973)

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

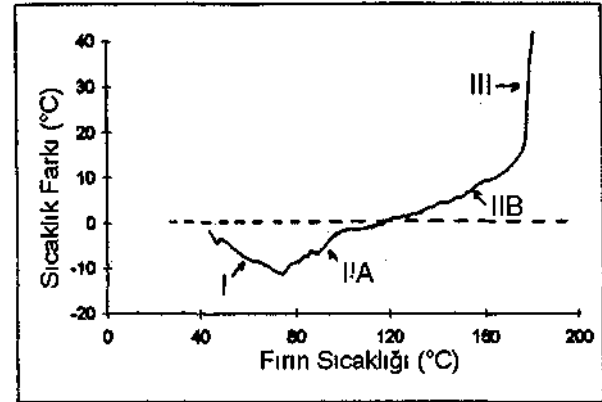
Tutuşma sıcaklığı deney sonuçlarını kullanarak, Gouws ve Wadede (1985) yine bir risk indeksi geliştirmişlerdir (Eşitlik 2). Bu risk indeksinde fırın sıcaklığı-numune sıcaklığı farkına karşı fırın sıcaklığı ilişkisi kullanılmıştır (Şekil 5). Bu grafiğe DTA (Diffransiyel Termal Analiz) termogramı denilmektedir.

$$\text{Risk indeksi} = \frac{\text{OSA}}{\text{RTS}} \times 500 \quad (2)$$

Burada;

OSA Şekil 5'te II. aşamanın eğimi

RTS: Relatif tutuşma sıcaklığı, °C



Şekil 5. Tutuşma sıcaklığı deneyinde sıcaklık farkı-fırın sıcaklığı ilişkisi

Tutuşma sıcaklığı deney sonuçlarını kullanarak Mahodevan ve Ramlu'da (1985), Feng ve arkadaşlarının benzer bir risk indeksi ve sınıflaması önermişlerdir.

Onların çalışması, esas olarak, tutuşma sıcaklığı ve ortalama sıcaklık artışına ilave olarak,

numune sıcaklık eğrisinin dönüm noktası, sıcaklığı ve zamanın da hesaplamada göz önüne alınmasına dayanır. DTA ilişkisi kullanıldığında; risk indeksi Eşitlik 3 te verildiği gibidir.

$$RI = \frac{II_B \cdot b \cdot S_{\text{Sesimegim}} \cdot \text{Max } (-) \text{ Farktaki inat sıcaklığı}}{\text{Relatif tutuşma sıcaklığı} \cdot II_A \cdot \text{bölgelinin eğri}} \cdot X \cdot 10 \quad (3)$$

Yukanda verilen risk indeksine göre kömürlerin risk sınıflaması Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Tutuşma Sıcaklığına Göre Risk Sınıflaması (Mahodevan ve Ramlu, 1985).

Risk İndeksi	Kendiliğinden Yanma Risk Sınıfı
0-10	Düşük
10-20	Orta
>20	Yüksek

Bu iki yöneme göre, çevre şartlarından bağımsız tesbit edilen risk indekslerinden sonra yapılması gereken iş, ocak şartları ile birlikte değerlendirilmesinin yapılmasıdır. Ocak şartlarını da Çizelge 7'de verilen 4 grupta toplamak mantıklı olacaktır. Her bir ocağın indeks numarası da niteliksel tanımına uygun bir şekilde, sayısal değer olarak çizelgeden alınır. Çizelgeden görüleceği üzere, indeks numarasının artmasıyla, kendiliğinden yanma riski de artmaktadır.

Dolayısıyla bir ocağın toplam risk indeksi bu iki indeksin çarpımına eşit olacaktır (Eşitlik 4).

Çizelge 7. Ocak Çevre İndeksi (Feng vd., 1973).

Grup	Kömür Kaybı	Kırılgenlik	Havalandırma Basınç Farkı	Çevre İndeksi
A	Normal	Tabii	Normal	1
B	Yüksek Normal Normal	Tabii Yüksek/artırılmış Tabii	Normal Normal Yüksek	2
C	Normal Yüksek Yüksek	Yüksek/artırılmış Tabii Yüksek/artırılmış	Yüksek Yüksek Normal	3
D	Yüksek	Yüksek/artırılmış	Yüksek	4

$$\text{Ocak Toplam Risk İndeksi} = \text{Yatkınlık İndeksi} \times \text{Ocak Çevre İndeksi} \quad (4)$$

Daha öncede belirtildiği gibi, indekslerin kuluçka dönemi ile ilişkilendirilmesinde de yarar vardır. Kuluçka dönemi, şüphesiz, kömürün rankma, hava kaçağına ve ısı birikimi için uygun ortama bağlıdır.

Ocak toplam risk indeksi Çizelge 8'de verilmiştir:

Çizelge 8. Toplam Risk İndeksi

İndeks	Risk Sınıflaması
0-10	Düşük
10-20	Orta
20-40	Yüksek

Düşük ranklı kömürler için, kuluçka dönemi 3 ile 6 ay arasında değişirken, yüksek ranklı kömürler için bu süre 9 ile 18 ay'a çıkmaktadır. Kırılgenliği ve hava kaçağını azaltmakla kuluçka dönemi artırılırken; uyumsuz koşullarda ve özellikle düşük ranklı kömürlerde bu süre 2 ay'm da altına inebilmektedir. Risk indeksi ile kuluçka dönemi ilişkisi Çizelge 9'da verilmiştir (Feng vd., 1973).

Çizelge 9. Risk İndeksi-Kuluçka Dönemi.

Risk İndeksi	Risk Sınıfı	Kuluçka Dönemi
0-10	Düşük	18 aydan fazla
10-20	Orta	9-18 ay
20-40	Yüksek	0-9 ay



Çizelge 10. Kendiliğinden Yanma ile İlgili Ülkemizde Yapılan Çalışmalar.

Ocak/Damar	Kömür Cinsi	Deney Türü	Risk Değeri	Risk Tanımı	Kaynak
TTK/Çay Acılık Hacipetro	Taşkömür	Dinamik Oksidasyon			Ayvazoğlu, 1971 (Ayvazoğlu, 1978 içinde)
TTK/Tüm Damarlar	Taşkömür	Kestirme (deneysiz)	İlgili kaynakta mevcut		Dündar vd., 1977
TTK/Kozlu-Acılık Çaydamar	Taşkömür	Adiabatik Oksidasyon	0,98-2,28	Orta	Demirbilek, 1986
			0,89-2,23	Orta	
GAL/ Üçkardeşler	Asfaltit	Tutuşma Sıcaklığı	8-9	Orta	Karpuz vd., 1985
		Adiabatik Oksidasyon	1,18-3,42	Orta-Yüksek	
Harbol		Tutuşma Sıcaklığı	1,28-3,60	Orta-Yüksek	
Armutçuk/Büyük Amasra/ Kalın Taşlı Tavan Birinci Kozlu/ Büyük Çay III CayV	Taşkömür	Tutuşma Sıcaklığı	5,8	Orta	Karaçam vd., 1988
			9,2	Orta	
			7,5	Orta	
			10,2	Yüksek	
			10,2	Yüksek	
			4,4	Düşük	
			5,5-6,1	Orta	
5,3-5,7	Orta				
Kozlu/ H.Memiş Domuzcu Karagöz Kurul Civelek Sülman Karadon/Sulu Nasifoğlu Üzülmaz/ Nasifoğlu Sulu Çay Acılık	Taşkömür		5,3	Orta	Karaçam vd., 1988
			5,6	Orta	
			5,9	Orta	
			5,9	Orta	
			5,1	Orta	
			6,1	Orta	
			6,6	Orta	
			6,0	Orta	
			6,1	Orta	
			6,4	Orta	
			9,6	Orta	
GELI/Sekköy Karaağaç	Linyit	Tutuşma Sıcaklığı	5,94-8,69	Orta	Yılmaz ve Atalay, 1988
			10,08-14,4	Yüksek	
Armutçuk/ B.Damar	Taşkömür		3,65-6,18	Düşük-Orta	
TTK/Sulu Nasifoğlu	Taşkömür	Tutuşma Sıcaklığı	4,04-4,30	Düşük	Kaymakçı ve Didari, 1992
			5,70-5,95	Orta	
GLI/Tuncbilek	Linyit		13,7-26,7	Yüksek	

Çizelge 10. Kendiliğinden Yanma ile İlgili Ülkemizde Yapılan Çalışmalar (Devam).

Ocak/Damar	Kömür Cinsi	Deneş Türü	Risk Değeri	Risk Tanımı	Kaynak
GLI/Tunçbilek Tv Tunçbilek Tv Ömerler Tv Ömerler Tb	Linyit	Tutuşma Sıcaklığı	12,2 14,0 15,2 9,6	Yüksek Yüksek Yüksek Orta	Saraç ve Soytürk, 1992
Elbistan İlgm Koshava Kangal Yataęan	Linyit	Tutuşma Sıcaklığı	Sadece tutuşma sıcaklıkları verilmiştir.		Ünal vd., 1993

## 6. KENDİLİĞİNDEN YANMA İLE İLGİLİ ÜLKEMİZDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Ulaşılan kaynaklardan derlenen bilgiler Çizelge 10'da sunulmuştur. Çizelgenin incelenmesinden görüleceği gibi ülkemiz kömürleri üzerinde ilk deneşsel çalışmalar Türk araştırmacılar tarafından (Ayvazoğlu, 1978) İngiltere'de yapılmıştır. Ülkemizde ilk araştırma ise, Karpuz vd., (1985) tarafından GAL-Silopi asfaltitleri üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Ülkemizde yapılan araştırmalarda eksikliği tespit edilen iki husus da göze çarpmaktadır. Bunlar:

1. Hepsi de tutuşma sıcaklığı yöntemini kullanmışlardır. Bir diğer yöntemle (diğer dört yöntemden) sonuçların kontrolü yapılamamıştır.
2. Deneşler sonucunda kömürlerin kendiliğinden ' yanma risk tanımları yapılmıştır. Tutuşma öncesi ve sonrası çıkan gazların analizine çalışmalarda rastlanamamıştır.

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, kendiliğinden yanma, kendiliğinden yanma mekanizması ve kendiliğinden yanmayı etkileyen faktörler ayrıntılı olarak anlatılmıştır. Kendiliğinden yanma tespit yöntemleri derlenmiş ve bu çalışmada kömür ocaklarının çevresel koşullarını en iyi temsil eden yöntem olan adiyabatik oksidasyon yöntemi üzerinde ağırlıkla

durulmuştur. Adiyabatik oksidasyon ve tutuşma sıcaklığı yöntemlerine göre elde edilen beş adet risk sınıflama sistemi verilmiştir. Son olarak Türkiye'deki yeraltı kömür ocaklarında kendiliğinden yanma ile ilgili günümüze kadar yapılmış olan çalışmalar deneş türü, risk değeri ve risk tanımlamaları belirtilerek özetlenmiştir.

## TEŞEKKÜR

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

## KAYNAKLAR

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

Ayvazoğlu, E., 1978; "EKİ Kozlu Bölgesi Çay ve Acılık Kömürlerinin, Oksidasyonun Erken Tesbiti Yönünden İncelenmesi", Türkiye 1. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 539-563.

Demirbilek, S., 1986; "The Development of A Spontaneous Combustion Risk Classification System for Coal Seams", Doktora Tezi, Nottingham Univ., İngiltere.

Demirbilek, S., 1988; "Kömürün Kendiliğinden Tutuşmasıyla Yangın Oluşumu ve Mücadele Metodları", (Yayınlanmış Rapor).

- Dünder, M., Aral, K., ve Coşkun, M., 1977; "Zonguldak Kömür Havzalarında Kendiliğinden Yanabilen Damarlarda Alınması Gerekli Tedbirler ve Mücadele Yöntemleri", Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 5.Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 3-23.
- Eroğlu, H. ve Gouws, M.J., 1993; "Kömürün Kendiliğinden Yanmasına Ait Kuramlar", Madencilik, Cilt 32, Sayı 2, s.13-18.
- Feng, K.K., 1985; "Spontaneous Combustion of Canadian Coals", CIM Bulletin, Cilt 78, Sayı 877, s.71-75.
- Feng, K.K., Chakravorty, R.N. ve Cochrane, T.S., 1973; "Spontaneous Combustion - A Coal Mining Hazard", CIM Bulletin, Cilt. 66, s.75-84.
- Gouws, M.J. ve Wade, L., 1985; "The Self-Heating Mobility of Coal: Prediction Based on Composite Indices", Mining Science and Technology, Cilt. 9, s.81-85.
- Güney, M., 1971; "An Adiabatic Study of the Influence of Moisture on the Spontaneous Heating of Coal", CIM Bulletin, Cilt. 64, s. 138-146.
- Karaçam, E., Didari, V. ve Atalay, T., 1988; "Zonguldak Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması", Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 91-100.
- Karpuz, C, Bölükbaşı, N., Paşamehmetoğlu, A. ve Gürhan, A., 1985; "Silopi Bölgesi Asfaltitlerinin Kaya Mekanığı Parametrelerinin Kesilebilirliğinin, Hidrolik Çatlatılabilirliğinin Araştırılması", TKİ için ODTÜ Ağüdos Raporu, 85-03-05-01-10 no.lu Rapor, 103 s.
- Karpuz, C, Bölükbaşı, N., Paşamehmetoğlu, A. ve Gürhan, A., 1986; "GAL Silopi Asfaltitlerinin Gaz İçeriği, Kendiliğinden Yanma Riski ve Kesilebilirliğinin Araştırılması", Türkiye 5. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 379-391.
- Kaymakçı, E. ve Didari, V., 1992; "Kömürün Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığının Belirlenmesinde Kullanılan İndeksler", Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 129-140.
- Kim, A.G., 1977; "Laboratory Studies on Spontaneous Heating of Coal", Bureau of Mines Report of Investigation, RI8756.
- Kuchta, J.M., Rowe, V.R. ve Burgess, D.S., 1980; "Spontaneous Combustion Susceptibility of U.S. Coals", Bureau of Mines Report of Investigation, RI8474.
- Litton, C.D. ve Page, S.J.,1994; "Coal Proximate Analyses Correlations with Airborne Respirable Dust and Spontaneous Combustion Temperature", Fuel, Vol. 73, No. 8, s.1369-1370.
- Mahodevan, V. ve Ramlu, M.N., 1985; "Fire Risk Rating of Coal Mines due to Spontaneous Combustion Heating", Journal of Mines, Metals and Fuels, s.357-362.
- Ren, T.X. ve Richards, M.J., 1993; "The Study of the Liability of Coals to Spontaneous Combustion", Türkiye 9. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 71-86.
- Saraç, S., ve Soytürk, T., 1992; "Tunçbilek Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Araştırılması", Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 141-152.
- Sevenster, P.G., 1961; "Studies on the Interaction of Oxygen with Coal in the Temperature Range 0°C to 90°C", Part I, *Fuel*, Cilt 40, s.7-17.
- Singh, R.N. ve Demirbilek, S., 1986; "Seams with 'Spon Com' Risk", Colliery Guardian, s.418-420.
- Smith, A.C. ve Lazzara, C.P., 1987; "Spontaneous Combustion Studies of U.S. Coals", Bureau of Mines Report of Investigation, RI 9079.
- Swan, P.D. ve Evans, D.G., 1979; "Low Temperature Oxidation of Brown Coal. 3-Reaction with Molecular Oxygen at Temperatures Close to Ambient", *Fuel*, s.276-280.
- Ünal, S., Pişkin, S. ve Dinçer, S., 1993; "Autoignition Tendencies of Some Turkish Lignites", *Fuel*, Cilt 72, Sayı. 9, s. 1357-1359.
- Wade, L., 1988; "The Propensity of South African Coals to Spontaneously Combustion", Doktora Tezi, Univ. of Withwaterstrand, Johannesburg.
- Yılmaz, A.O. ve Atalay, T., 1988; "TTK Armutçuk Müessesesi'nde Kendiliğinden Yanma Olayının Araştırılması", Türkiye 9. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, s. 399-410.