

KENDİLİĞİNDEN YANMANIN ARAŞTIRILMASINDA KULLANILABİLECEK BİR LABORATUVAR DENEY DÜZENEGİ

A LABORATORY SET-UP TO BE USED IN THE STUDY
OF SPONTANEOUS COMBUSTION

Vedat DIDARK»))
Erdoğan KAYMAKÇI (»»))
İhsan TOROĞLU<»**))

Anahtar Sözcükler. Kömür, Kendiliğinden Yanma, Kesişme Noktası

ÖZET

Kendiliğinden yanmanın araştırılmasında kullanılabilen laboratuvar teknikleri incelenmiş ve "kesişme noktası yöntemi" en uygun teknik olarak seçilmiştir. ZEDEM (Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi) laboratuvarlarında bu tür araştırmaların yürütülmesine uygun bir donanım kurulmuştur. Bu donanımın tasarımı ve mükemmelleştirilmesi için yapılan çalışmalar açıklanmakta, ilk denemelerin sonuçları sunulmaktadır.

ABSTRACT

The laboratory techniques which can be used for studying spontaneous combustion were reviewed and the "crossing point method" was selected as the best adaptable technique. A suitable set-up to carry out these studies has been installed in the ZEDEM (Zonguldak Industrial Support Centre) laboratories. The design and development studies related to this set-up were explained and the results derived from the initial tests were presented.

* Doç. Dr. Öğr. Üyesi, Z.K.Ü.M.F. Maden Müh. Böl. ZONGULDAK
** Arş. Gör., Z.K.Ü.M.F. Maden Müh. Böl. ZONGULDAK
— Yrd. Doç. Dr. Öğr. Üyesi, Z.K.Ü.M.F. Maden Müh. Böl. ZONGULDAK

TÜRKİYE XIII. MADENCİLİK KONGRESİ, 1993

1. GİRİŞ

Kömürün kendilisinden yanması, her zaman araştırmacıların ilgisini çeken bir konu olmuştur. Gerek olayın oluşum ve gelişim mekanizmasını açıklayabilmek gerekse kömürleri kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırabilmek amacıyla çok sayıda çalışma yapılmıştır.

Kendiliğinden yanma olayı, kömür madenciliğinde gerek ekonomi gerekse iş güvenliği bakımından önde gelen sorunlardan birini oluşturmaktadır.

Zonguldak Mühendislik Fakültesi bünyesinde oluşturulan ZEDEM (Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi) laboratuvarlarında halen yürütülen projelerden biri Zonguldak Taşkömür Havzası damarlarının kendiliğinden yanma karakteristiklerinin saptanmasına ve damarların bilimsel olarak sınıflandırılmasına yöneliktir. Bu amaçla; kömür, kül ve yanma ürünü gazların analizlerinin yapılabileceği yetkin bir laboratuvar kurulmuş bulunmaktadır. Kendiliğinden yanma deney seti bu laboratuvarın önemli bir parçasıdır. Bu çalışmada, sözü edilen setin tasarımı ve ilk denemeleri hakkında bilgi sunmak amaçlanmaktadır.

2. KENDİLİĞİNDEN YANMANIN ARAŞTIRILMASINDA KULLANILAN LABORATUVAR TEKNİKLERİ

Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarını belirlemek ve kendiliğinden yanma olayının aşamalarını ayırtılabilmek amacıyla çeşitli laboratuvar teknikleri uygulanabilmektedir. Bu teknikler iki grupta toplanabilir.

2.1. Oksijen Tüketim Kapasitelerini ve Hızlarını Ölçmeye Dayalı Teknikler

Graham (1930) tarafından öne sürülen, "oksijen absorplama kapasitesi daha yüksek olan kömürlerin kendiliğinden yanmaya daha yatkın olacakları" şeklindeki teze dayanılarak sürdürülen çalışmaları kapsamaktadır.

Kömür oksidasyonunun ürünleri olan hümik asitin veya peroksi komplekslerin oluşumunu izlemeyi ya da oksijen azalmasını saptamayı hedefleyen bu çalışmalarda kimyasal teknikler ağır basmakta olup çeşitli uygulama zorlukları bulunmaktadır (Banerjee, 1985).

2.2. Sıcaklıkla Değişen Davranışların izlenmesine Dayalı Teknikler

Kömürleri kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırmak amacıyla ısısal verilerin kullanımı; ekzotermik reaksiyonun kendiliğinden sürebilir duruma geldiği

en düşük sıcaklık noktasının veya oksidasyon sırasında oluşan relatif ısının saptanmasına dayanmaktadır. Bu tekniklerin uygulaması daha basit olup daha yaygındırlar.

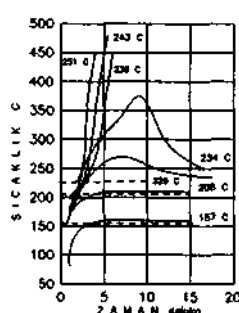
2.2.1. Başlangıç Noktası Esaslı Deneyler

Bu deneyler, sabit sıcaklık koşullarında sürdürülmektedir. Bir termostat içindeki kömür, çeşitli ortam sıcaklıklarında hava/oksijen akımına maruz bırakılarak, kömürün sıcaklığında önlenemez bir devamlı yükselişin (kendiliğinden yanmaya gidişin) yer aldığı en düşük ortam sıcaklığı saptanır (Şekil 1). Bu sıcaklığa "**Başlangıç Sıcaklığı**" denilmektedir (Banerjee, 1985). Başlangıç sıcaklıkları yüksek olan kömürler kendiliğinden yanmaya daha az yatkındır.

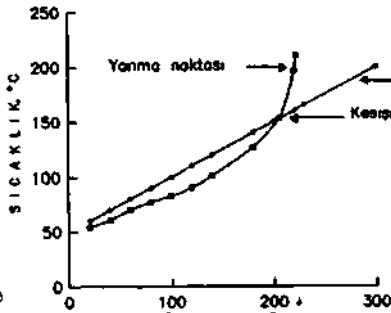
2.2.2. Kesişme Noktası Esaslı Deneyler

Bu yöntemde kömür örnekleri, sıcaklığı doğrusal olarak artan bir oksitleyici ortamda tutulmaktadır. Kömürde ekzotermik reaksiyonun başladığı en düşük sıcaklık "**kritik oksidasyon sıcaklığı**", "**kritik tutuşma sıcaklığı**" veya basitçe "**kesişme noktası**" olarak adlandırılmaktadır (Nandy ve ark., 1972). Kendiliğinden yanmaya yatkınlığı yüksek olan kömürlerin kesişme noktası sıcaklıkları daha düşük olmaktadır.

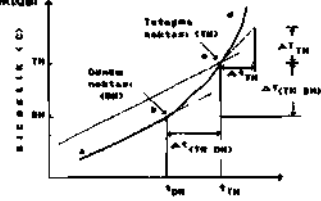
Kesişme noktası, deney düzeneği ve koşullarına sıkı sızıya bağımlıdır. Standardizasyon çok zordur. Ancak, asıl akıncalı yönü çok fazla nem içeren kömürlerde yanıltıcı sonuçlar vermesidir (Banerjee, 1985). Bunu gidermek için, yatkınlığı değerlendirmede kesişme noktası civarındaki **ısınma hızının** ya da tüm **zaman-sıcaklık** grafiğinin (Şekil 2) değerlendirilmesinden elde edilecek bazı parametrelerin hesaba katılması gerekmektedir.



Şekil 1 Kömürlerin başlangıç sıcaklıklarına göre sıcaklık zaman grafiği



Şekil 2. Zaman-sıcaklık grafiği



Şekil 3 Nehadeven ve Ramiu indeksindeki semboller

2.2.3. Kesişme Noktası ve Isınma Hızı Esaslı Deneyler

Feng ve ark. (1973), kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlığını saptamak için kesişme noktasının yanında kömür örneğinin ısınma hızının da dikkate alındığı bir indeks geliştirmişlerdir. Bu indeksin ifadesi aşağıdaki gibidir (Eşitlik 1).

$$I(\text{FCC}) = \left(\frac{110-220 \text{ }^\circ\text{C arası ısınma hızı}}{\text{kesişme noktası}} \right) * 1000 \dots [1]$$

Burada;

I(FCC) : Feng ve ark. tarafından geliştirilen yatkınlık indeksidir, 1/dak.

Bu indeksin 0-5 değerleri düşük, >10 değerleri ise yüksek yatkınlığı göstermektedir.

2.2.4. Kesişme Noktası ve Yanma Noktası Esaslı Deneyler

Kesişme noktası deneyinin, yanmaya (aleve) kadar sürdürülmesi ve sonuçta yanma noktasının elde edilmesi esasına dayanır. Yanma noktası, kömürün sıcaklığının neredeyse dik olarak hızla artmaya başladığı en düşük sıcaklıktır (Bagchi, 1973). Yüksek yatkınlığı olan kömürlerde kesişme noktası-yanma noktası arası minimum olacaktır (Sekil 2). Bu tekniğin sakıncası, yanma noktasının saptanmasının güç olmasıdır.

2.2.5. Zaman-Sıcaklık Grafiğini Aşamalara Ayırma

Mahadevan ve Ramlu (1985), kesişme noktası deneylerinin sonucunda elde edilen zaman-sıcaklık ilişkilerini gösteren grafikleri dilimlere ayırarak (Sekil 3) herbir dilimin kritik sıcaklıklarını ve ısınma hızlarını kullanan bir yatkınlık indeksi önermişlerdir (Eşitlik 2).

$$I(\text{MR}) = 10 \frac{(\Delta T_{\text{TN}} / \Delta t_{\text{TN}}) * t_{\text{DN}}}{t_{\text{TN}} * (\Delta T_{\text{TN-DN}} / \Delta t_{\text{TN-DN}})} \dots [2]$$

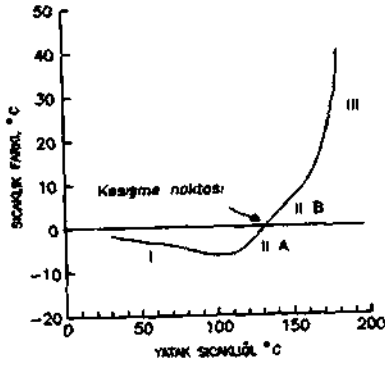
Burada;

I(MR) : Mahadevan ve Ramlu tarafından geliştirilen indeks (Diğer semboller Sekil 3 üzerinde açıklanmıştır)

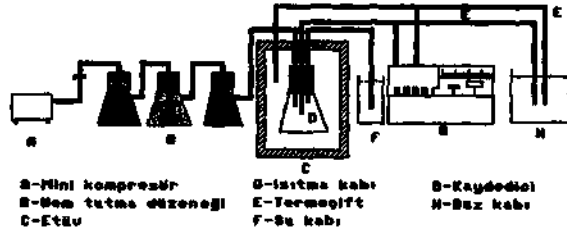
Bu indeksin 0-10 değerleri düşük yatkınlığı, 10-20 değerleri orta yatkınlığı ve >20 değerleri ise yüksek yatkınlığı göstermektedir.

2.2.6. DTA Yöntemleri

Bu yöntemde, numune ve bir nötr malzeme aynı kofullarda sabit hızla ısıtılırken nötr malzemenin sıcaklığına (T) karşı numune ile nötr malzeme arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) kaydedilmektedir (Şekil 4). Deneylerin tekrarlanabilirliği işi ve her bir aşamanın belirlenmesindeki zorluklar, yöntemin sakıncalarıdır.



Şekil 4. Tipik bir termogramın aşamaları (Gouws ve Wade, 1990)



Şekil 5. İlk deney seti (Karacam, 1988)

2.2.7. Olpinski Yöntemi

Bu yöntemde küçük bir kömür peleti (topak) 235 °C ye kadar havada okside olmaya bırakılmakta, zaman-sıcaklık grafiğinden faydalanılarak kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığı belirlenmektedir.

2.2.8. Adyabatik Kalorimetrelerle Deneyler

Bazı araştırmacılar, kömür numunelerini adyabatik kaplarda oksidasyona tabi tutarak zaman-sıcaklık ilişkilerini çıkarmışlar ve ısınma hızlarından giderek kömürleri sınıflandırmaya gayret etmişlerdir (Güney ve Hodges, 1969).

3. DENEY TEKNİKİNİN SEÇİMİ

Bu projede, yukarıda sayılan teknikler arasından en uygununun "kesişme noktası" esaslı çalışmalar olacağına karar verilmiş ve bu tür deneylerin gerçekleştirilebileceği bir setin tasarımına ve kurulmasına gidilmiştir.

3.1. On Araştırmalarda Kullanılan Deney Seti

1987 yılında başlatılan ilk çalışmalarda, kesişme noktası deneylerinin yapılabilmesi için gereken temel öğeler şu şekilde tesbit edilmiştir.

- Sisteme azot, oksijen veya havayı sevketmeye yarayan bir mini kompresör
- Sevkedilen gaz içindeki nemi tutucu ve gazı temizleyici bir düzenek
- Kontrollü olarak ısıtılabilen bir ortam
- Bu ortamda yer alacak ve içindeki kömür numunesi üzerinden sevkedilen gazın geçirilmesine olanak tanıyacak şekilde tasarlanmış bir reaktör
- Okside olan kömür numunesinden çıkan gazların analizini yapabilecek bir kromatograf
- Gerek ortamın gerekse kömür numunesinin sıcaklığını ölçen ve kaydeden düzenekler

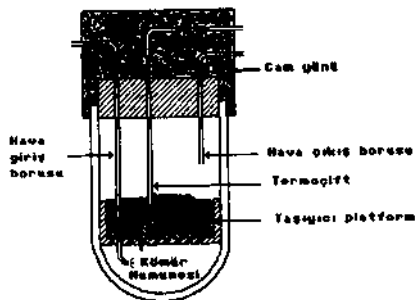
Bu tesbitler doğrultusunda oluşturulan ilk deney seti Şekil 5'de gösterilmektedir (Karaçam, 1988).

Bu sette, TTK Müesseselerinin tümünden alınan kömür örnekleri üzerinde genelde bir çalışma (Karaçam, 1988) ve Armutçuk Büyük damarı üzerinde de bir detay çalışma (Yılmaz, 1990) yürütülmüştür.

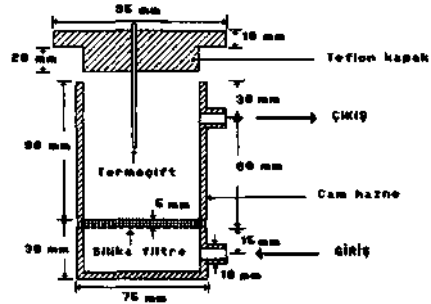
ZEDEM laboratuvarlarının kuruluşu ile (1991-1992) bu setin modernizasyonu ve daha duyarlı ölçümlere olanak verecek bir sistemin oluşturulması amaçlanmıştır.

3.2. Projede Kullanılmakta Olan Deney Seti

Bölüm 3.1' de kısaca tanıtılan setin modernizasyonu çalışmalarında öncelikle "reaktör" tasarımı üzerinde durulmuş ve ilk deney setinde yer alan (bir erlen-meyer kabından türetilen) reaktör (Şekil 6) yerine amaca daha uygun ve daha pratik bir reaktörün tasarımı ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Isıya dayanıklı camdan yapılmış olan bu reaktör bir teflon kapak ile üzeri kapanacak şekilde tasarlanmıştır. Reaktörün içerisine tabandan 2.5 cm yükseklikte, kalınlığı 0.5 cm ve gözenek açıklığı 20-30 mikron olan bir silika filtre yerleştirilmiştir. Ayrıca, cam reaktörde silika filtrenin altından gazların girişine uygun bir alt giriş ve reaktörden gazların çıkışına uygun bir üst çıkış bulunmaktadır. Şekil 7" de yeni reaktör görülmektedir.



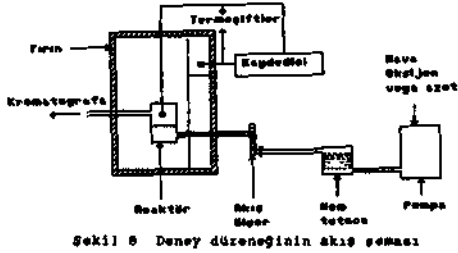
Şekil 6 İlk reaktör (Yılmaz 1990)



Şekil 7 Yeni reaktör

Daha sonra, ilk araştırmalarda yapılamayan yanma ürünü gaz analizlerini gerçekleştirmek üzere bir kromatograf, se-te eklenmiştir. Ayrıca, sıcaklık ölçüm ve kayıt işlemleri modern düzeneklerle yapılar duruma getirilmiş, sisteme sev kedilen gazların uygun oranlarda karışımını sağlayacak bir akis ölçerle yetkin bir nem tutucu ve gaz temizleyici düze- nek sisteme eklenmiştir.

Mevcut sistemin akis seması ve fotoğrafları Sekil 8 ve Şekil 9'da yer almaktadır.



4. STANDARTLAŞTIRMA VE KALİBRASYOK ÇALIŞMALARI

Deneylerin sonuçlarını etkileyebilecek parametreler olarak aşağıdaki saptamalar yapılmıştır.

- * Sisteme sevk edilen havanın nemliliği ve debisi
- * Kullanılan kömür örneğinin inceliği ve miktarı
- * Ortamın (fırının) ısıtma hızı ve ısıtma programı

Literatür bilgilerine dayanılarak yukarıda tesbit edi- len parametrelerin seçenekleri azaltılmaya çalışılmıştır. Güçlü bir nem tutucu madde (CaCl₂ drierite) ile hava nem- liliğinin etkisi yok edilmiş ve tüm çalışmalar -200 mesh'e öğütülmüş kömür örneklerinde yürütülmüştür. Ortamın ısıtma hızı için 0.5 °C/dak ve 1 °C/dak seçenekleri denenmiş, hava hızı için 300-200-150-100 cc/dak seçenekleri »inanmıştır. Örnek miktarları olarak ise 80-60-40-20 g, denemelere konu edilmiştir.

Diğer koşullar olanaklar ölçüsünde benzer tutulmaya gayret edilerek yürütülen deneme çalışmalarında önce lin- yitler için 120 t 20 °C ve taskömürler için 170 ± 20 °C kesişme noktalarının daha sonra ise tekrarlanabilen sonuç- ların elde edilebildiği koşullara ulaşmak hedeflenmiştir.

Deneme çalışmaları sonucunda en uygun deney koşulları su şekilde belirlenmiştir:

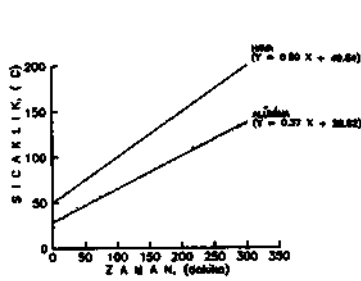
- Hava hxza : 100 cc/dak
- Fırın ısıtma hızı : Oda sıcaklığından başlayarak 0.5 °C/dak
- Örnek miktarı : 20 g
- Örnek boyutu : -200 mesh (-74 mikron)

Deneme çalışmaları, ayrıca, reaktöre giren havanın fırının içinde bir ön ısıtmaya tabi tutulmasının gerekliliğini göstermiş ve bu amaçla spiral şeklinde bir bakır boru sisteme eklenmiştir. Ayrıca, kullanılan yüksek kapasiteli kompresör bir mini kompresörle değiştirilmiştir.

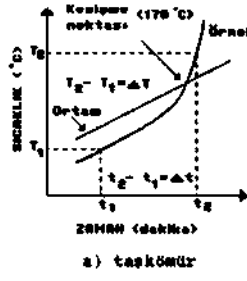
Saptanan en uygun deney koşullarında gerek hava ve gerekse bir nötr madde olarak Al_2O_3 tozu için kalibrasyon grafikleri çıkarılması amacıyla bir seri deney yapılmıştır (Şekil 10).

Bu grafikler şu kolaylıkları sağlamaktadır:

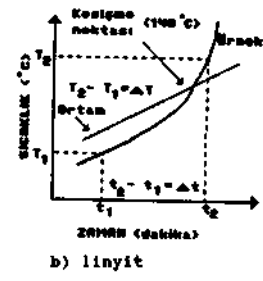
- i. Belli zaman aralıklarında tüm sistemin test edilmesi,
- ii. Hava veya Al_2O_3 tozuna göre DTA termogramlarının alınabilmesi,
- iii. Sadece örnek sıcaklığını kaydederek deneylerin yürütülebilmesi.



Şekil 10. Kalibrasyon grafikleri



Şekil 11. Tipik deney sonuçları (Kaymakcı ve Didari, 1992)



5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Projede bugüne kadar yürütülen çalışmalarda 50 civarında deney tamamlanmış ve tüm deneylerde örneklerin zaman-sıcaklık değerleri bilgi bankasına depo edilmiştir. Paralel olarak örneklerin organik analizleri, kül analizleri ve petrografik analizleri de yapılarak sonuçlar biriktirilmektedir.

Bilgi bankalarına ulaşarak çeşitli istatistiksel çalışmalara olanak sağlayabilecek bir bilgisayar programı üzerinde çalışılmaktadır.

Şekil 11, linyit ve taşkömür örneklerinde yürütülen deneylerin tipik sonuçlarını göstermektedir. Kesişme noktasına ek olarak örneğin ısınma hızı da önemli bir parametre olarak hesaplanmaktadır, $ISIMMU\ HIZI = \Delta T / \Delta t$

Bugüne kadar sürdürülen çalışmalarda elde edilen ara sonuçlar Çizelge 1 ve Çizelge 2' de yer almaktadır.

Çizelge 1. T.T.K. Üzülmüş Müessesesi Sulu ve Nasufoglu kömür damarlarının kendiliğinden yanma deney sonuçları

Damarın Adı	Örneğin Alındığı Yer	Ortalaması Alınan Örnek Sayısı	Kesişme Noktası •C	Isınma Hızı •C/dak
SULU	-50/-147 Tb. yolları ve ayaktan	10	171.6	0.7
NASUFOÖLU	-50/-147 Tb. yolları ve ayaktan	8	166.0	0.8

Çizelge 2. G.L.I. Müessesesi Tunçbilek ve Ömerler yeraltı ocakları ile Mugla-Milas Bölgesindeki Linyitlerden alınan örneklerin kendiliğinden yanma deneyi sonuçları

Üretim Birimi	Örneğin Alındığı yer	Ortalaması Alınan Örnek sayısı	Kesişme Noktası •C	Isınma Hızı •C/dak
TUNÇBİLEK	Tavan Kömürü B Kili-A Kili Sanki 1-B Kili C Kili-Sarıkil Taban Kömürü	5	141.6	1.77
ÖMERLER	Tavan Kömürü B Kili-A Kili Sanki 1-B Kili	3	140.6	2.76
	C Kili-Sarıkil Taban kömürü	2	142	1.29
MUOLA-MİLAS	Sekkby Bölgesi	7	176.7	1.20
LİNYİTLERİ	Karaağaç Bolg.	8	160.5	1.92

6. SONUÇ

Bu çalışmada, literatürden hareketle ve uzun süreli denemelerle oluşturulan ve geliştirilen özgün bir deney seti tanıtılmıştır. Bu set ile gerek kömür oksidasyonu üzerine bilimsel çalışmalar, gerekse kömürleri kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarına göre sınıflandırmaya yönelik (uygulamaya dönük) araştırmalar yapılabilecektir. Setin önemli bir parçası olan gaz kromatografinin de devreye sokulması ile sistem tamamlanacak ve Zonguldak kömürleri üzerinde yürütülen çalışmalar 1993 yılı sonunda ilk kapsamlı sonuçlarını vermeye başlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, bu setin oluşturulmasında tüm finansı sağlamış olan NATO'nun "İstikrar için Bilim" (Science for Stability) Programı Direktörlüğüne teşekkürü bir borç bilirler.

KAYNAKLAR

BAGHCÎ, S., 1973; "Spontaneous Combustion of Zndian Coals", Qrt. J. Geol. Min. Met. Soc. 45(2), India.

BANKRJEE, S.C., 1985; "Spontaneous Combustion of Coal and Mine Fires", Central Mining Research Station, Bihar, India, 168 p.

FEN6, K.K., et al., 1973; "Spontaneous Combustion - a Coal Mining Hazard", CIM Bulletin, pp.75-84.

GOUWS, M.J., and WADE, L., 1989; "The Self-Heating Liability of Coal: Predictions Based on Simple Indices", Min. Sei. Technol., pp.81-85.

GRAHAM, J.I., 1930; "The Gaseous Products Resulting from Fires and Underground Heatings", Trans.Inst.Min.Engrs.

GÜNEY, M., HODGES, D.J., 1969; " Spontaneous Heating of Coal, Part 1", Co 11.Guard., Febr. pp.105-109.

KARAÇAM, E., 1988; "Zonguldak Havzası Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlıklarının Belirlenmesi", HÜZMF., Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 47 s.

KAYMAKÇI, E., DİDAR1, V., 1992; "Kömürün Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığının Belirlenmesinde Kullanılan indeksler", Türkiye 8. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, s.129-140.

MAHADEVAN,V. , RAMLU, M.A., 1985; "Fire Risk Rating of Coal Mines Due to Spontaneous Heating", J. Min. Met. and Fuels, pp.357-362.

NANDY, D.K., et al., 1972; "Application of Crossing Point Temperatur for Determining the Spontaneous Heating Characteristics of Coal", J. Min. Met. and Fuels, pp.41-48

YILMAZ, A.O., 1990; "TTK Armutçuk Müessesesi'nde Kendiliğinden Yanma Olayının Araştırılması", HÜZMF., Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak, 99 s.