

**KÖMÜRÜN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIĞININ
BELİRLENMESİNDE HAVA MİKTARI VE NUMUNE MİKTARININ ETKİSİ****Effects of Airflow Quantity and Sample Quantity on the Determination of the Spontaneous Combustion Liability of Coal**Nergiz ŞAHİNⁿ
Vedat DİDARİ^(M)**Anahtar Sözcükler:** Kömür, Kendiliğinden Yanma, Tutuşma Noktası**ÖZET**

Bu çalışma, kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığını belirleyen parametrelerin saptanmasına yönelik "tutuşma noktası" esaslı deneylerde hava miktarı ve numune miktarı faktörlerinin etkilerinin incelenmesini kapsamaktadır. Laboratuvar çalışmaları, TTK Kandilli İşletmesi -400/-450 Büyük Damar'dan alınan örnekler üzerinde yürütülmüştür. Hava miktarı ve numune miktarının kendiliğinden yanma parametreleri ile olan ilişkisi istatistiksel olarak belirlenmiştir.

ABSTRACT

In this study, factors of airflow quantity and sample quantity which affect the spontaneous combustion parameters of coal during the experiments based on "crossing point" were investigated. Laboratory studies were carried out on the coal samples which were taken from -400/-450 Büyük seam of Kandilli Colliery of Turkish Hardcoal Enterprises (TTK). Statistical relations between these factors and parameters were determined.

ⁿ Maden Yük. Müh., ZONGULDAK^(**) Doç. Dr., Z. Karaelmas Üniversitesi Müh. Fak., Maden Müh. Böl., ZONGULDAK

1. GİRİŞ

Normal çevre sıcaklığında, oksijen ile reaksiyona girebilme özelliğinden dolayı, kömür bünyesinde meydana gelen reaksiyonlar sonucu ısı açığa çıkmaktadır. Çeşitli faktörlerin etkisi sonucu açığa çıkan bu ısının ortam ısısından fazla olması durumunda kömürde sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Sıcaklığın belli bir değere ulaşması ile kömür ocaklarında ve depolama yerlerinde meydana gelen yangınlar ciddi problemlere yol açmaktadır. Ayrıca, kömürün oksidasyonu esnasında karbon yanması ve dolayısı ile kömürün ısı değerindeki azalma ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle, kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının bilinmesi ve olaya etki eden önemli faktörlerin tesbiti, kendiliğinden yanma ile mücadele ve uygun depolama şartlarının ve süresinin tayini için oldukça önemlidir.

Kömürün kendiliğinden yanması ile ilgili olarak, ilki Pirit teorisi olmak üzere; Bakteri teorisi, Nem teorisi ve Oksidasyon teorisi ileri sürülmüştür. Bu teorilerden Oksidasyon teorisi bir çok araştırmacı tarafından desteklenmiştir (Eroğlu ve Gouws, 1993), (Wade, 1988), (Cudmore ve Sanders, 1984).

Kömürün kendiliğinden yanması ve bu olayı etkileyen faktörler üzerinde çok sayıda araştırma yapılmış olmasına karşın konu henüz tam anlamıyla aydınlatılamamıştır. Bunun başlıca nedeni, kömürün karmaşık yapısı ve faktörlerin çokluğudur. Olaylar üzerinde etkili olan faktörlerle ilgili en geniş kapsamlı derlemelerden biri olan çalışmasında Güney; oksidasyon ve kendiliğinden yapmayı etkileyen çok sayıda faktörü "iç (endojen)" ve "dış (ekzojen)" faktörler olarak gruplandırmaktadır. İç faktörler, kömürün özellikleri ile ilgili olup, dış faktörler jeolojik ve atmosferik koşullar ile işletme koşullarından oluşmaktadır (Didari, 1986).

Kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarını belirlemede çeşitli laboratuvar teknikleri uygulanabilmektedir (Didari, 1988). Fakat kendiliğinden yanmada, tüm faktörlerin etkisini içerecek bir deney tekniği henüz bulunmamaktadır.

Bu çalışmada; kendiliğinden yanmaya yatkınlığı belirlemek amacıyla kurulmuş olan bir laboratuvar deney düzeneğinde, deney sonuçlarını (dolayısıyla kendiliğinden yanma parametrelerini) etkileyen hava miktarı ve numune miktarı faktörlerinin etki derecelerinin belirlenmesi ve deney prosedürünün iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

TTK Armutçuk Müessesesi Kandilli İşletmesi Büyük Damar'dan alınan örnekler üzerinde "tutuşma noktası (crossing point, kesişme noktası) tekniği" esas alınarak gerçekleştirilen deneylerde kömür örneklerinin zaman-sıcaklık grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler esas alınarak kendiliğinden yanmanın başlıca parametreleri olan "tutuşma sıcaklığı", "ortalama sıcaklık artışı" bulunmuş ve Feng ve arkadaşları (1973) tarafından geliştirilen FCC yanabilirlik indeksi hesaplanmıştır.

Daha sonra, hava miktarı ve numune miktarı faktörlerinin kendiliğinden yanma parametreleri üzerindeki etkisi istatistiksel olarak incelenmiştir.

2. DENEY DÜZENEGİ VE ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu çalışma, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü bünyesinde yer alan Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM) Laboratuvarlarında kurulu Kendiliğinden Yanma Deney Setinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler "Tutuşma Noktası" tekniğine uygun yapılmıştır. Deneyin özü, doğrusal olarak ısıtılan bir yatak (fırın) içine yerleştirilmiş olan bir reaktör içindeki kömür örneği üzerinden hava geçirilmesi ve zaman-sıcaklık ilişkisinin izlenmesidir.

2.1. Laboratuvar Düzeneğinin Tanıtımı

Deney seti ve akış şeması Şekil 1 ve 2'de gösterilmiştir. Deney setini oluşturan parçalar aşağıda kısaca tanıtılmıştır:

i. Fırın

Fırın, mini bir bilgisayarla programlanarak, ısınma hızı ayarlanabilmekte, istenilen zaman aralığında istenilen sıcaklığa ulaşılmaktadır. Fırın sıcaklığı sayısal olarak bir ekran üzerinde görülmektedir. Reaktöre hava giriş-çıkışı sağlayan açıklıklar fırının arka yüzeyinde yer almaktadırlar.

ii. Isıtma Kabı (reaktör)

Deneylerde ısıtma kabı olarak cam reaktör kullanılmıştır. Kömür örneğinin reaktör tabanından uygun bir yükseklikte konulabilmesi için silika filtre yerleştirilmiştir. Reaktör altından giren hava filtreden ve kömür numunesi içinden geçerek çıkış borusundan dışarı atılmaktadır. Reaktörün ağzında, termoçift termometre girişine uygun bir deliğe sahip teflon bir kapak bulunmaktadır.

iii. Termoçift Termometreler ve Kaydedici Düzenek

Fırının ve reaktöre yerleştirilmiş olan kömür örneğinin sıcaklıkları, termoçift termometreler vasıtasıyla ölçülerek kaydedici düzeneğe aktarılmaktadır.

iv. Kompresör

Reaktör içindeki kömür örneğinde oksidasyonu sağlamak için, hava basmak amacı ile bir mini kompresör kullanılmaktadır.

v. Nem Tutucu Düzenek

Deney setinde, sisteme verilen havanın nem içeriğini sabit tutmak amacıyla kalsiyum klorürden ($CaCl_2$) oluşan bir nem tutma düzeneği bulunmaktadır.

vi. Akış Ölçer (flowmetre)

Deney setinde sisteme mini kompresör vasıtasıyla verilen hava miktarının kontrolünde 300 cc/dak kapasiteli bir akış ölçer kullanılmaktadır.

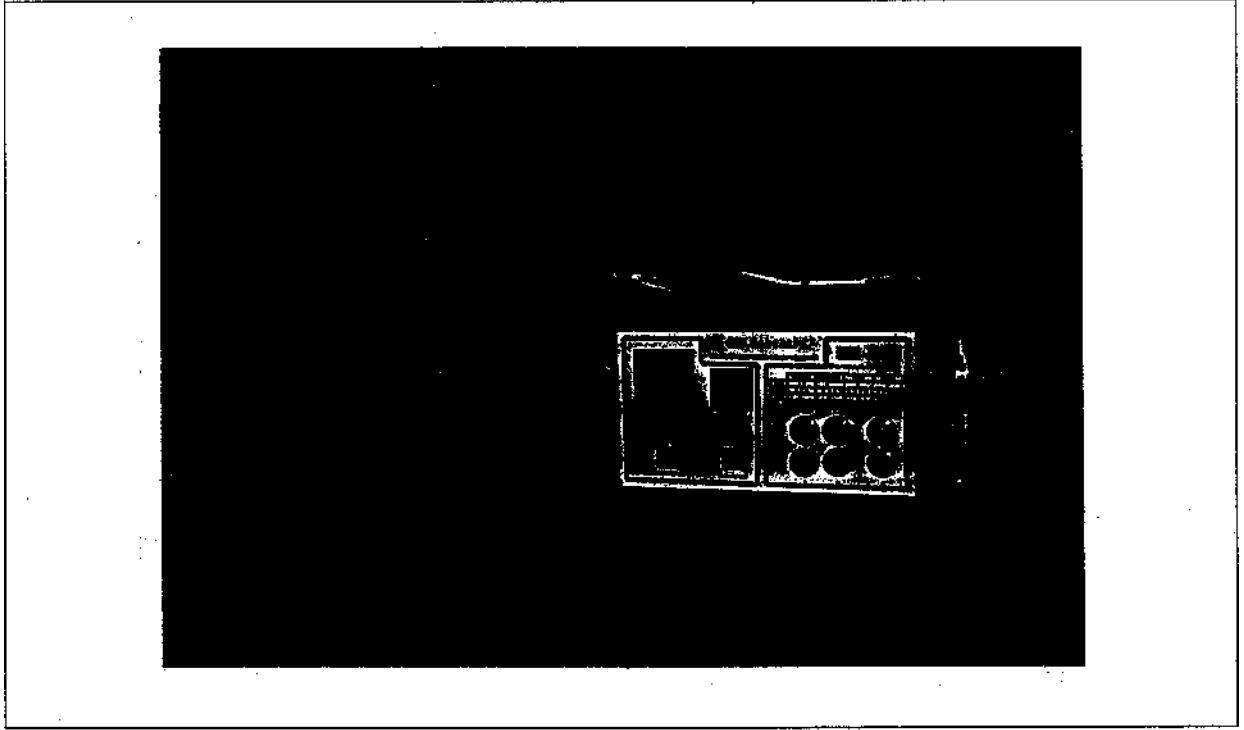
2.2. Deneysel Çalışma

Deneyler için, pratikte kendiliğinden yanmaya yatkın olan Armutçuk Müessesesi Kandilli İşletmesi -400/-450 Büyük Damar'dan alınan, 11. sarma Pet1, Pet2, Pet3, Pet4 ve 20. sarma Pet1, Pet2, Pet3 kömür örnekleri kullanılmıştır. "Pet" ifadesi petrografik bandları (yataklanmaya dik kesitlerde makroskopik parlak, yarı parlak ya da ince bandlar) açıklamaktadır. Kömür damarından alınan örnekler sistematik bir şekilde azaltılmış ve bir miktarı, kömür analizleri için ayrıca torbalanarak ayrılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1'de özetlenmektedir.

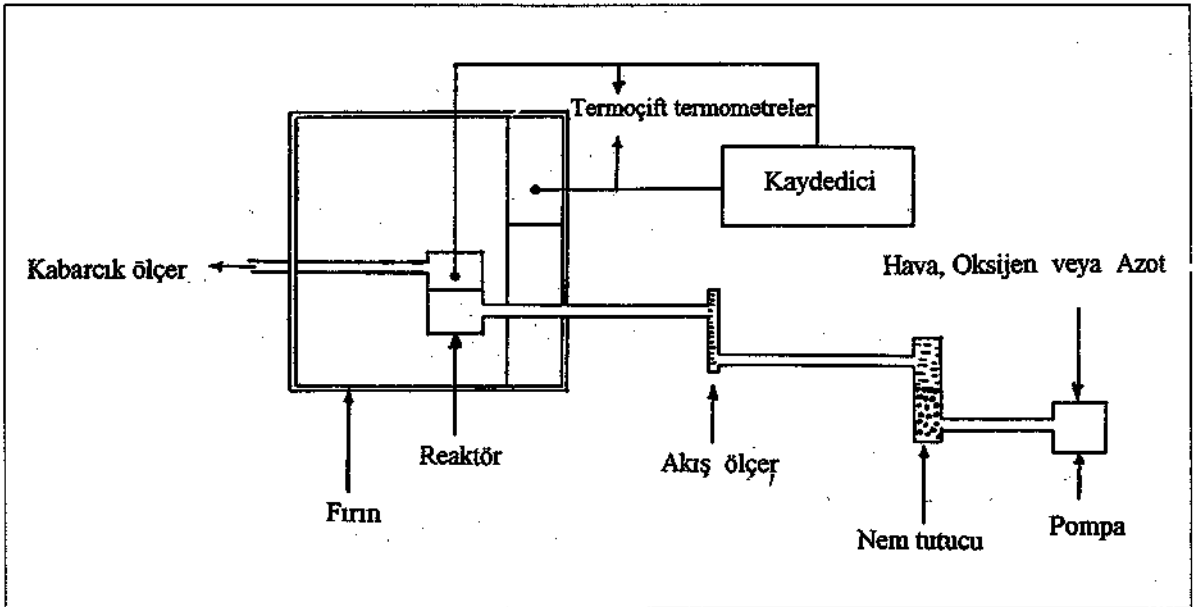
Deneysel çalışmalar, etkisi incelenecek faktörler değiştirilip diğer deney koşulları sabit tutularak yürütülmüştür. Hava miktarı ve numune miktarı için seçilen deney koşulları Çizelge 2 ve Çizelge 3'de verilmiştir.

Deney koşullarına uygun boyut ve miktardaki kömür örneği reaktör içine konulmuş, daha sonra ağzı sıkıca kapatılıp fırın içine yerleştirilmiştir. Hava giriş ve çıkış boruları reaktöre bağlandıktan sonra teflon bant ile sarılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Sistem çalıştırılarak fırın programlanmış ve arzulanan hava akışı sağlanmıştır. Reaktöre verilen havanın, fırın çıkışında kontrolü için, hava çıkış borusu bir kabarcık ölçere (bubblemeter) bağlanmıştır.

Deneyler sonucunda elde edilen bir zaman-sıcaklık grafiği örneği Şekil 3'de verilmiştir.



Şekil 1. Deney seti



Şekil 2. Deney setinin akış şeması.

Çizelge 1. Deneylede Kullanılan Kömür Örneklerinin Analiz Sonuçları*.

Yer	Pet** Band	Nem	Kül	Uçucu Madde	Sabit Karbon	Elementer Karbon	Hidrojen	Oksijen	Azot	Toplam Kükürt
Armutçuk BD**	No	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
11. Sarma	1	0,70	4,28	32,90	62,12	79,91	4,47	8,35	1,52	0,77
11. Sarma	2	0,90	4,06	32,33	62,71	79,83	4,51	8,37	1,50	0,83
11. Sarma	3	0,99	3,78	33,14	62,09	79,87	4,50	8,63	1,43	0,80
11. Sarma	4	1,19	4,15	33,76	60,90	79,51	4,53	8,24	1,69	0,69
20. Sarma	1	0,98	16,21	33,39	49,42	72,19	4,48	3,86	1,47	0,81
20. Sarma	2	1,32	4,71	33,67	60,30	79,25	4,54	8,17	1,38	0,63
20. Sarma	3	1,72	4,59	31,78	61,91	78,68	4,45	8,24	1,49	0,83

* : Kömür örneklerinin kaba analizleri (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon) orjinal kömürde, organik elementer analizleri (karbon, hidrojen, oksijen, azot) kuru-külsüz bazda yapılmıştır.

** : BD = Büyük Damar
Pet = Petrografik

Çizelge 2. Hava Miktarı Faktörü İçin Deney Koşulları* ve Sonuçları.

Deney No	Yer Armutçuk BD**	Pet** Band No	Hava Miktarı (cc/dak)	TS** (°C)	OSA** (°C/dak)	I(FCC)** (1/dak)
1	11. Sarma	1	50	163	0,710	4,36
2	11. Sarma	2	50	168	0,601	3,58
3	11. Sarma	3	50	163	0,632	3,88
4	11. Sarma	4	50	165	0,618	3,75
5	20. Sarma	1	50	165	0,675	4,09
6	20. Sarma	&	50	159	0,733	4,61
7	20. Sarma	3	50	164	0,733	4,47
8	11. Sarma	1	100	161	0,853	5,30
9	11. Sarma	2	100	162	0,696	4,30
10	11. Sarma	3	100	157	0,948	6,04
11	11. Sarma	4	100	158	0,873	5,53
12	20. Sarma	1	100	161	0,924	5,74
13	20. Sarma	2	100	159	0,786	4,94
14	20. Sarma	3	100	160	0,859	5,37
15	11. Sarma	1	150	157	0,840	5,35
16	11. Sarma	2	150	158	1,310	8,29
17	11. Sarma	3	150	155	0,887	5,72
18	11. Sarma	4	150	154	1,486	9,65
19	20. Sarma	1	150	160	1,250	7,81
20	20. Sarma	2	150	154	1,594	10,35
21	20. Sarma	3	150	159	0,909	5,72
22	11. Sarma	1	200	159	0,759	4,77
23	11. Sarma	2	200	157	1,089	6,98
24	11. Sarma	3	200	156	1,428	9,21
25	11. Sarma	4	200	155	1,009	6,55
26	20. Sarma	1	200	161	1,111	6,90
27	20. Sarma	2	200	155	0,902	5,82
28	20. Sarma	3	200	157	1,068	6,80

Deneyler -200 mesh boyutta, 35 g örneklerle yürütülmüş ve finnm sıcaklığı 0,5 C /dak arttırılmıştır.

BD = Büyük Damar

Pet = Petrografik

TS = Tutuşma sıcaklığı

I(FCC) = Yanabilirlik indeksi

OSA = Ortalama sıcaklık artışı

Çizelge 3. Numune Miktarı Faktörü İçin Deney Koşulları* ve Sonuçları.

Deney No	Yer Armutçuk BD**	Pet** Band No	Numune Miktarı (g)	TC** (°C)	OSA** (°C /dak)	I(FCC)** (1/dak)
29	11. Sarma	1	20	168	0,629	3,74
30	11. Sarma	2	20	171	0,585	3,42
31	11. Sarma	3	20	167	0,585	3,50
32	11. Sarma	4	20	169	0,625	3,70
33	20. Sarma	1	20	171	0,688	4,02
34	20. Sarma	2	20	163	0,724	4,44
35	20. Sarma	3	20	171	0,659	3,85
36	11. Sarma	1	40	157	0,621	3,96
37	11. Sarma	2	40	153	1,019	6,66
38	11. Sarma	3	40	155	0,759	4,90
39	11. Sarma	4	40	155	0,759	4,90
40	20. Sarma	1	40	161	0,696	4,32
41	20. Sarma	2	40	160	0,591	3,69
42	20. Sarma	3	40	156	0,965	6,19
43	11. Sarma	1	60	156	0,982	6,29
44	11. Sarma	2	60	157	1,410	8,98
45	11. Sarma	3	60	156	1,358	8,71
46	11. Sarma	4	60	155	0,786	5,07
47	20. Sarma	1	60	159	1,183	7,44
48	20. Sarma	2	60	155	1,618	10,44
49	20. Sarma	3	60	156	0,827	5,30

Deneyler -200 mesh boyuttaki numunelerden, 80 cc/dak hava geçirilerek yürütülmüş ve fırının sıcaklığı 0,5 C /dak artırılmıştır.

BD = Büyük Damar

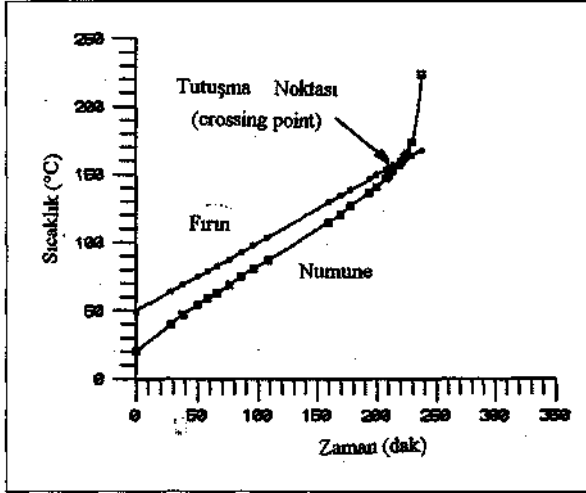
Pet = Petrografik

TS = Tutuşma sıcaklığı

I(FCC) = Yanabilirlik indeksi

OSA = Ortalama sıcaklık artışı

Bu grafikte, fırın ısınma eğrisinin, kömür ısınma eğrisi ile kesişme noktası (crossing point) saptanmış ve bu değere 1°C



Şekil 3. Zaman-sıcaklık grafiği.

eklenerek kömürün tutuşma sıcaklığı bulunmuştur. Kömürün 110 °C sıcaklıkta olduğu zaman ile 220 °C'ye ulaştığı zaman belirlenerek, 110-220 °C arasındaki ortalama sıcaklık artışı (OSA) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$OSA = \frac{110}{t_2 - t_1} \quad (i)$$

$$OSA = \text{Ortalama sıcaklık artışı, } ^\circ\text{C/dak}$$

$$t_2 = 220 \text{ } ^\circ\text{C'ye karşılık gelen zaman, dak}$$

$$t_1 = 110 \text{ } ^\circ\text{C'ye karşılık gelen zaman, dak}$$

Deney verilerinden elde edilen bu bilgiler doğrultusunda, yanabilirlik indeksi aşağıdaki eşitlikle hesaplanmıştır (Feng ve ark., 1973).

$$FCC = \frac{OSA}{\text{Tutuşma Sıcaklığı}} \cdot 1000 \quad (2)$$

FCC = Feng, Chakravorty ve Cochrane tarafından geliştirilen indeks, 1/dak

OSA = Ortalama sıcaklık artışı, °C/dak

Bu indekse göre yapılacak olan yorumlar Çizelge 4'deki gibidir.

Çizelge 4. FCC Yanabilirlik İndeksi, (Feng ve ark., 1973).

İndeks	Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlık
0-5	Düşük
5-10	Orta
10<	Yüksek

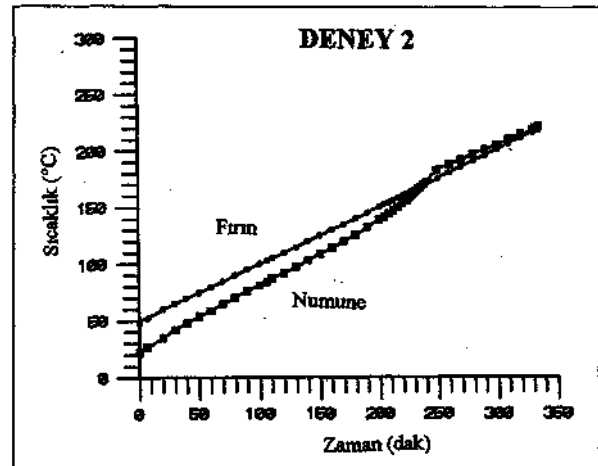
Tüm bu hesaplamalar ile ilgili sonuçlar deney koşulları ile birlikte Çizelge 2 ve 3'de verilmiştir.

3. DEĞERLENDİRME

Aşağıda, deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler ışığında, kömür örneklerine uygulanan farklı hava miktarlarının (50 cc/dak, 100 cc/dak, 150 cc/dak ve 200 cc/dak) ve farklı kömür miktarlarının (20 g, 40 g ve 60 g) kendiliğinden yanma üzerindeki etkileri grafikler yardımıyla açıklanmıştır (Şahin, 1995).

3.1. Hava Miktarının Etkisi

Kömür örneklerine dakikada 50 cc'lık hava verildiğinde; Çizelge 2'de görüldüğü gibi örneklerin tutuşma sıcaklıkları "yüksek", FCC yanabilirlik indeksi değerlerinin ise "düşük" olduğu belirlenmiştir. Kömür örnekleri tutuşma sıcaklığına ulaştıktan sonra ekzotermik reaksiyon genel olarak 190 °C'ye kadar artmış ve daha sonra fırın eğrisine paralel bir şekilde devam etmiştir. Bu durum Şekil 4'de görülmektedir.

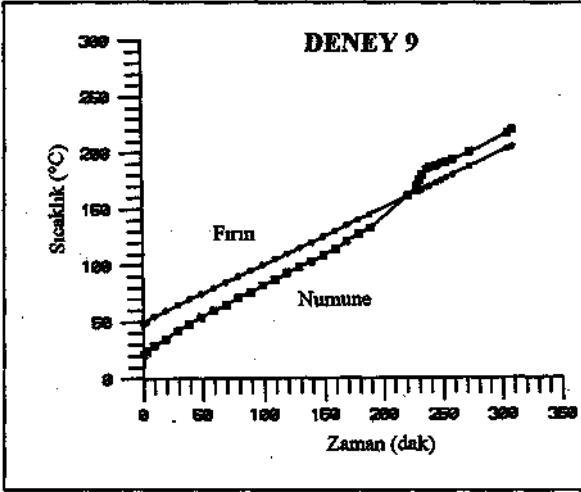


Şekil 4. Hava miktarı 50 cc/dak olduğunda zaman-sıcaklık grafiği.

Kömür örneklerine uygulanan 50 cc/dak'lık düşük hava miktarında, reaksiyon için gerekli oksijenin reaksiyon bölgesine ulaşması sağlanamadığından oksidasyon prosesinin yavaş ilerlediği, kömürün bu nedenle yüksek sıcaklıkta kendiliğinden yanmaya yatkın hale geldiği düşünülmüştür.

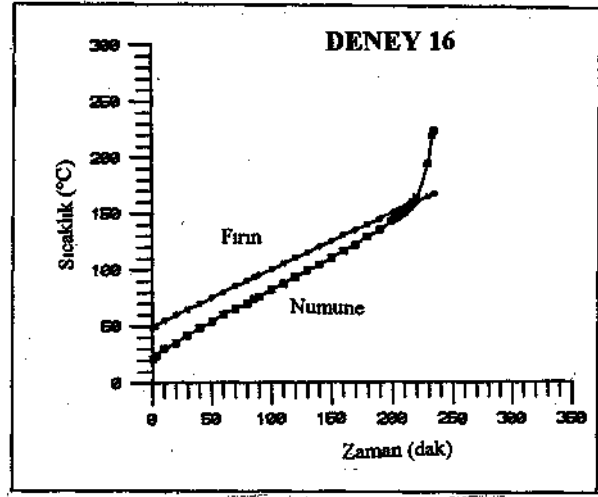
Uygulanan 100 cc/dak'lık hava miktarında ise kömür örneklerinin bir önceki 50 cc/dak'lık hava miktarına göre daha erken tutuşma sıcaklığına ulaştığı ve ekzotermik reaksiyonun bu sıcaklıktan sonra hızlandığı gözlenmiştir (Şekil 5).

Çizelge 2'de FCC yanabilirlik indeksinin genelde "orta" derecede olduğu ve OSA'nın 0,696 ile 0,948 arasında değiştiği görülmektedir.



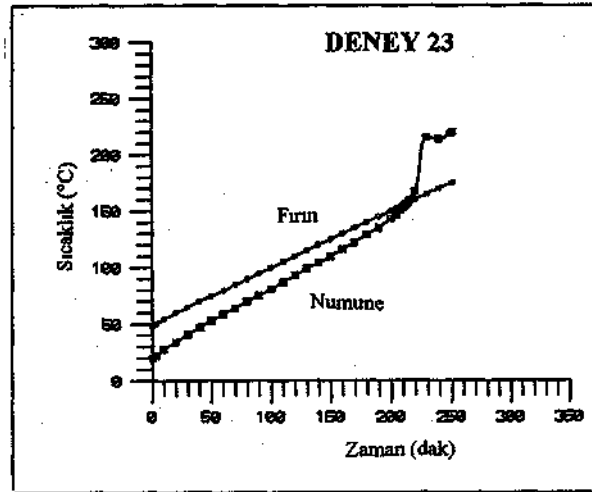
Şekil 5. Hava miktarı 100 cc/dak olduğunda zaman-sıcaklık grafiği.

Deneylerde uygulanan hava miktarı 150 cc/dak'ya çıkarıldığında; 50 cc/dak'ya göre maksimum 10 °C'lik, 100 cc/dak'ya göre ise maksimum 4 °C'lik bir değişimle tutuşma sıcaklığına erken ulaştığı ve OSA'nın 0,840 ile 1,594 arasında değiştiği dikkati çekmiştir. Çizelge 2'de görüldüğü gibi FCC yanabilirlik indeks değeri "orta"dır. Kömür örnekleri tutuşma sıcaklığına ulaştıktan sonra, ekzotermik reaksiyonun hızlandığı gözlenmiştir (Şekil 6). Kömür örneklerinin, 150 cc/dak'lık hava miktarında kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları diğer hava miktarlarına göre daha yüksektir.



Şekil 6. Hava miktarı 150 cc/dak olduğunda zaman-sıcaklık grafiği.

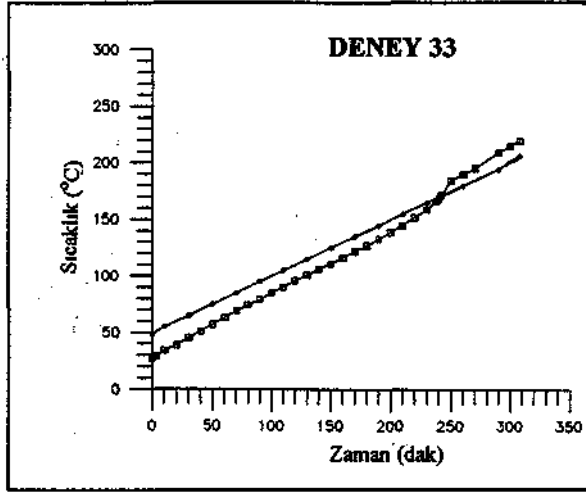
Son olarak uygulanan 200 cc/dak'lık hava miktarında ise kömür örnekleri; 50 cc/dak'lık hava miktarlarına göre daha düşük sıcaklıkta tutuşma sıcaklığına ulaşmıştır. 100 cc/dak'lık hava miktarına göre ise maksimum 5 °C'lik bir değişimle tutuşma sıcaklığına daha erken ulaştığı görülmüştür. 150 cc/dak'lık hava miktarına göre ise maksimum 2 °C'lik bir sıcaklık değişimi ile tutuşma sıcaklığına geç ulaşmıştır. OSA'nın 0,759 ile 1,428 arasında değiştiği Çizelge 2'de görülmektedir. Kömür örneklerinin zaman-sıcaklık eğrilerinin tutuşma sıcaklığından sonra arttığı ve hemen hemen fırın eğrisine paralel olacak bir şekilde devam ettiği dikkati çekmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Hava miktarı 200 cc/dak olduğunda zaman-sıcaklık grafiği.

3.2. Numune Miktarının Etkisi

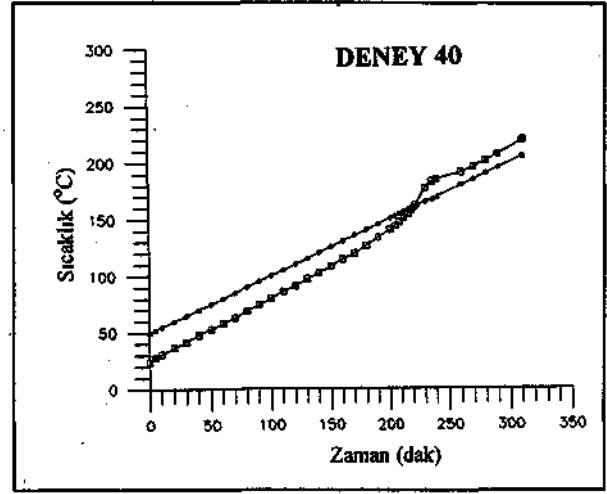
Miktarı 20 g olan kömür örneklerinde; kömürün yüksek sıcaklıkta tutuşma sıcaklığına ulaştığı ve daha sonra ekzotermik reaksiyonun yavaş ilerlediği, ısı artışının ise az olduğu dikkati çekmiştir (Şekil 8). Çizelge 3'de OŞA'nın 0,585 ile 0,724 arasında değiştiği ve FCC yanabilirlik indeksinin "düşük" olduğu görülmektedir.



Şekil 8. Numune miktarı 20 g olduğunda zaman-sıcaklık grafiği.

Oksidasyon dışı ısı veren bir reaksiyondur. Kömür miktarının az olması, ortamda ısı birikimini engellemekte ve oluşan ısının verilen havayla uzaklaşmasına olanak sağlamaktadır. Bu nedenle kömürün sıcaklığı fazla artmamakta ve reaksiyon yavaş ilerlemektedir.

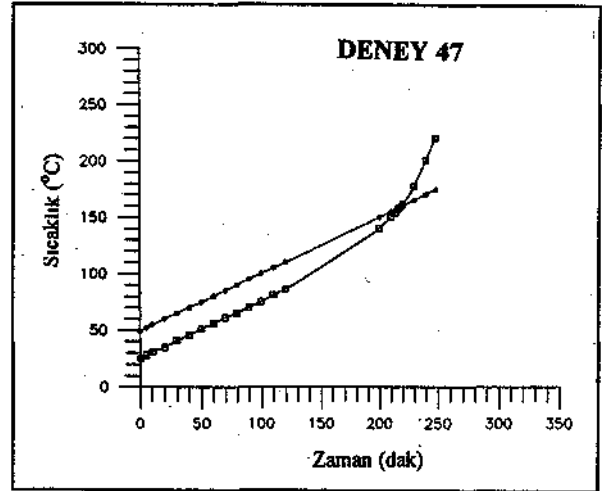
40 g'lık kömür örneklerinde ise; 20 g'lık örneklerle göre maksimum 18 °C'lik bir değişimle tutuşma sıcaklığına erken ulaştığı görülmüştür. Numuneler tutuşma sıcaklığına ulaştıktan sonra, ekzotermik reaksiyonun hızının arttığı ve maksimum sıcaklığa ulaştıktan sonra ise hızının azaldığı görülmüştür (Şekil 9). Bu durumda OSA'nın 0,621 ile 1,019 arasında değiştiği, risk indeksinin ise genelde "düşük" olduğu belirlenmiştir.



Şekil 9. Numune miktarı 40 g olduğunda zaman-sıcaklık grafiği.

Örnek miktarı 60 g'a çıkarıldığında, kömür örnekleri her iki miktara (20-40 g) göre daha erken tutuşma sıcaklığına ulaşmıştır. Tutuşma sıcaklığına ulaştıktan sonra ekzotermik reaksiyonun çok hızlı bir şekilde arttığı gözlenmiştir (Şekil 10). OSA'nın 0,786 ile 1,618 arasında değiştiği ve FCC indeksinin "orta" olduğu belirlenmiştir.

Kömür miktarının fazla olması ısı birikimine olanak sağlamıştır.



Şekil 10. Numune miktarı 60 g olduğunda zaman-sıcaklık grafiği.

3.3. İstatistiksel Değerlendirme

Hava ve numune miktarı faktörlerinin kendiliğinden yanma olayındaki etki derecelerinin saptanması için bilgisayar programları yardımıyla regresyon analizi

yapılmış ve korelasyon katsayıları (r) hesaplanmıştır. Çizelge 2 ve 3'de değerleri sunulan değişkenler arasında çeşitli regresyon modelleri kurularak, değişik ilişkiler incelenmiştir. Burada, değişkenler arasında kurulan en iyi modellere yer verilmiştir.

Hava ve numune miktarı faktörleri ile ilgili regresyon analizlerinde bu faktörler bağımsız değişken olarak seçilirken, tutuşma sıcaklığı (TS), OSA ve FCC indeksi bağımlı değişken olarak seçilmiştir. Regresyon denklemlerinde;

y = bağımlı değişken

x = bağımsız değişken olmaktadır.

Hava miktarı ile TS, OSA ve FCC indeksi arasında kurulan modeller Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 5'de korelasyon katsayılarının (r) sıra ile "0,771", "0,725" ve "0,703" olması hava miktarı ile TS, OSA ve FCC indeksi, değerleri arasında iyi bir ilişki olduğunu »östermektedir.

Çizelge 5. Hava Miktarı ile İlgili Regresyon ve Varyans Analizi Sonuçları.

	Hava Miktarı (cc/dak)
TS*	$y = 186.047 \cdot x - 0,033$ $r^* = -0,771$ $r^2 = 0,595$ $F^* = 38,202$
OSA*	$y = .0,161 \cdot x + 0,367$ $r^* = -0,725$ $r^2 = 0,526$ $F^* = 28,892$
I(FCC)*	$y = 3,658 \cdot x + 0,004$ $r^* = 0,703$ $r^2 = 0,494$ $F^* = 25,335$

* : TS = Tutuşma sıcaklığı
OSA = Ortalama sıcaklık artışı
I(FCC) = Yanabilirlik indeksi
r = Korelasyon katsayısı
r² = Belirlilik Katsayısı
F = F- testi

> Belirlilik katsayılarına (r) bakıldığında; hava miktarının TS'ndeki değişimin %59,5'ini,

OSA'ndaki değişimin %52,6'sını ve FCC indeksindeki değişimin %49,4 ünü açıkladığı tesbit edilmiştir. Modellerde kullanılan bağımsız değişkenin (hava miktarının), model için önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla regresyon katsayılarının t değerleri hesaplanmıştır, t değerleri 5,033 ile 6,181 arasında değişmektedir, t değerleri ttablo(t0,05 = 2,08) değerinden büyük olduğundan hava miktarının model için önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca modellerin geçerliliği için varyans analizi ile F-testi yapılmıştır. F değerlerinin F_{tablo} (F_{0,05} = 4,23) değerinden büyük olması modellerin geçerliliğinin bir göstergesidir.

Numune miktarı ile TS, OSA ve FCC indeksi arasında kurulan modeller ise Çizelge 6'da verilmiştir.

Çizelge 6. Numune Miktarı ile İlgili Regresyon ve Varyans Analizi Sonuçları.

	Numune Miktarı (g)
TS*	$y = 208,339 \cdot x + 0,073$ $r^* = -0,827$ $r^2 = 0,760$ $F^* = 60,087$
OSA*	$y = 0,336 - 0,013x$ $r^* = -0,728$ $r^2 = 0,531$ $F^* = 21,475$
I(FCC)*	$y = 2,683 \cdot x + 1,016^x$ $r^* = 0,798$ $r^2 = 0,637$ $F^* = 33,393$

* : TS = Tutuşma sıcaklığı
OSA = Ortalama sıcaklık artışı
I(FCC) = Yanabilirlik indeksi
r = Korelasyon katsayısı
r² = Belirlilik Katsayısı
F = F- testi

r², belirlilik (determination) katsayısı; regresyon modelinin verilere uyumunun bir göstergesi olup, bağımlı değişkendeki değişimin yüzde ne kadının bağımsız değişkenle açıklanabildiğini gösterir. t değeri; regresyon katsayısının önem testinde kullanılmaktadır.

F-testi; deneysel verilerin seçilen regresyon modeli ile temsil edilip, edilemeyeceğini göstermektedir.

Çizelgede korelasyon katsayılarının sıra ile "0,827", "0,728" ve "0,798" olması numune miktarı ile yanma parametreleri arasında iyi bir ilişki olduğunu göstermektedir. Ayrıca belirlilik katsayılarına bakıldığında numune miktarının TS'ndeki değişimin %76'sını, OSA'ndaki değişimin %53,1'ini ve FCC indeksindeki değişimin %63,7'sini açıkladığı tesbit edilmiştir. Kurulan modeller için kullanılan bağımsız değişkenin (numune miktarı) regresyon katsayılarının t değerleri ise 4,634 ile 7,752 arasında değişmekte olup ttablo (t_{0,05} - 2,83) değerinden büyüktür. Bu sonuç numune miktarının kurulan modeller için önemli olduğunu göstermektedir. Ayrıca F değerleri F_{tablo} (F_{0,05} = 4,32) değerinden büyük olduğundan modellerin geçerliliği kabul edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu araştırma sonucunda, Büyük Dâmar'a ait kömür örnekleri üzerinde hava miktarı ve numune miktarı faktörlerinin kendiliğinden yanma parametreleri ne şekilde etkileyeceği konusunda bilgi sağlanmıştır.

Gerçekleştirilen istatistiksel çalışma ile hava ve numune miktarı faktörlerinin kendiliğinden yanma deney sonuçları üzerinde önemli etkileri olduğu görülmüştür.

Düşük hava miktarında oksidasyon prosesi yavaş ilerlemektedir. Hava miktarı arttırıldığında oksidasyon hızlanmaktadır. Hava miktarı, bir yandan reaksiyon için gerekli oksijenin reaksiyon bölgesine ulaşmasına katkıda bulunarak reaksiyonun hızlanmasına neden olurken, diğer yandan reaksiyon sonucu üretilen ısının ortamdaki uzaklaşmasına olanak sağlayarak soğutma etkisi yaratmaktadır. Bu nedenle kendiliğinden yanmayı sağlayacak optimum bir hava miktarı bulunmaktadır.

Numune miktarı ise, oksidasyon prosesinde reaksiyon sonucu açığa çıkan ısının yoğunlaşması açısından önemli olmaktadır. Numune miktarının az olması, kömürün

kendiliğinden yanmaya yatkınlığını azaltmaktadır. Kömür miktarı arttırıldığında oksidasyon prosesi hızlanmakta ve ortamda ısının da birikmesiyle sıcaklık artmaktadır. Bu düşünceler ışığında kendiliğinden yanma olayında etkili optimum bir numune miktarı bulunduğu söylenebilir.

Tüm bu sunulan bilgiler ışığında kendiliğinden yanma deney setinde 100 cc/dak hava miktarı ve 40 g numune miktarının en uygun deney koşullarını oluşturduğu sonucuna varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Yazarlar; bu çalışmanın gerçekleştirilmesi olanağını sağlayan, Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM) Laboratuvarları'nın kuruluşuna katkılarından dolayı NATO İstikrar İçin Bilim (Science for Stability) Programı Direktörlüğü'ne sonsuz teşekkür borçludurlar.

KAYNAKLAR

CUDMORE, J.F ve SANDERS, R.H, 1984; "Spontaneous Combustion of Coal, Mine Fires and Interpretation of Analysis of Mine Gases-A literature Review", Australian Coal Industry Research Laboratories, Report No, 84-10.

DİDARİ, V. 1986; "Yeraltı Ocaklarında Kömürün Kendiliğinden Yanması ve Risk İndeksleri", Madencilik Dergisi, Aralık 1986, Cilt XXV, Sayı 4, s. 31-33.

DİDARİ, V. 1988; "Developing a Spontaneous Combustion Risk indeks for Turkish Coal Mines Preliminary Studies", J of Mines Metals & Fuels, V. 36, No. 5, May 1988, s. 211-215.

EROĞLU, H.N ve GOUWS, M.J. 1993; "Kömürün Kendiliğinden Yanmasına ait Kuramlar", Madencilik Dergisi, Haziran 1993, Cilt XXXII, Sayı 2, s. 15-18.

FENG, K.K., CHAKRAVORTY, R.N ve COCHRANE, T.S 1973; "Spontaneous Combustion-A Coal Mining Hazard", CIM Bulletin, s. 75-82.

ŞAHİN, N., 1995; "Kömürün Kendiliğinden Yanmasında Etkili Bazı Önemli Faktörlerin İncelenmesi", Yüksek Müh. Tezi, Z.K.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, s. 157

WADE, L., 1988; "The Propensity of South African Coals to Spontaneously Combust", Ph. D. Thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg.

D İ L E K Ç E V E T A L İ M A T Ö R N E K L E R

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI Yönetim Kurulu'na

Odamızın..... No.lu Üyesiyim. 1996 sonu itibari ile aidat borcumun tarafıma bildirilmesini arz ederim.
Saygılarımla.

Adres:

...../...../19

Tel : 0 ()

İSİM

Faks: 0 ()

İMZA

TMMOB MADEN MÜHENDİSLERİ ODASI Yönetim Kurulu'na

Odamıza olan toplamTL (.....Lira) birikmiş aidat borcumu yılı ayından itibaren TL/Ay eşit taksitlerle;

Banka Posta Çeki Kredi Kartı

yoluyla ödemek istiyorum.

Önerimin değerlendirilerek tarafıma bilgi verilmesini arz ederim.

Saygılarımla.

Adres:

...../...../19

Tel : 0 ()

İSİM

Faks: 0 ()

İMZA

..... BANKASI, ŞUBESİ MÜDÜRLÜĞÜ'NE

..... yılı ayından başlamak üzere ay boyunca TL/Ay bedelin Kredi Kartı hesabımdan TMMOB Maden Mühendisleri Odası adına tahsil edilmesini kabul ediyorum.

Saygılarımla.

KART : VISA EUROCARD

MASTERCARD

Kart No:/...../.....

Son Kullanma Tarihi:

Adres:

...../...../19

Tel : 0 ()

İSİM

Faks: 0 ()

İMZA