

KÜTAHYA BÖLGESİ KÖMÜRLERİNİN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA
YATKINLIKLARININ ARAŞTIRILMASI

Özer ÖREN

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık – 2006

KÜTAHYA BÖLGESİ KÖMÜRLERİNİN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA
YATKINLIKLARININ ARAŞTIRILMASI

Özer ÖREN

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT

Aralık – 2006

KABUL VE ONAY SAYFASI

Özer ÖREN'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Kütahya Bölgesi Kömürlerinin Kendiliğinden Yanmaya Yatkinlıklarının Araştırılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../.....

(Sınav tarihi)

Üye : Prof. Dr.

Üye : Prof. Dr.

Üye : Yrd.Doç. Dr.

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

KÜTAHYA BÖLGESİ KÖMÜRLERİNİN KENDİLİĞİNDEN YANMAYA YATKINLIKLARININ ARAŞTIRILMASI

Özer ÖREN

Maden Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2006

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT

ÖZET

Kendiliğinden yanma olayı, yıllardır kömür madenciliğinin maruz kaldığı en büyük sorunlardan birisi olarak gösterilmektedir. Kömür stoklarında, yeraltında, açık ocaklarda ve hatta apartman dairelerinde bile gerçekleşebilen bu olay; üretim, makine ve donanım kayıplarının yaşanmasına ve en önemlisi ciddi yaralanma ve ölümlere neden olabilmektedir. Kömürün havanın oksijeni ile girdiği ekzotermik reaksiyon sonucu oluşan kendiliğinden yanma olayı, zamanında gerekli önlemlerin alınması ile en aza indirilebilir. Bu önlemlerin en başında ise; kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının belirlenmesi, buna göre bir sınıflama yapılması ve kömürün kendiliğinden yanma karakteristiğine göre işletme şartlarının ayarlanması gelmektedir.

Yapılan bu çalışmada, Garp Linyitleri, Seyitömer, ve Değirmisaz İşletmelerinden alınan kömür numunelerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Bulunan değerler ile Kütahya Bölgesi kömürlerinin kendiliğinden yanma profilleri genel olarak tespit edilmiştir. Kendiliğinden yanmaya yatkınlık araştırmasında kesişim noktası metodu kullanılmış, kömürler bu yöntemin gerektirdiği boyut fraksiyonuna indirilmiş ve her kömür örneğinin kimyasal analizleri yapılmıştır. Her bir işletmedeki değişik pano damarları üzerinde toplam 33 adet kesişim noktası deneyi yapılmıştır. Tespit edilen değerler sonrasında Seyitömer kömürlerinin “orta – yüksek”, Garp Linyitleri İşletmesi’ne ait kömürlerin “yüksek” ve Değirmisaz stok kömürlerinin “orta” yatkınlıkta olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden yanma, kömür oksidasyonu, kesişim noktası metodu, yatkınlık indeksi

A RESEARCH ON THE LIABILITY OF COALS FROM KUTAHYA REGION TO SPONTANEOUS COMBUSTION

Özer ÖREN

Mining Engineering, M.S. Thesis, 2006

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Cem ŞENSÖĞÜT

SUMMARY

Spontaneous combustion of coals has been pointed out as one of the most critical problems encountered in coal mining. This event occurring in underground and open pits as well as in the coal – hole of the apartments can cause severe fatalities together with loss of reserves and equipments. Spontaneous combustion phenomenon can be reduced to a minimum degree by taking necessary precautions in time. In order to carry out this important task, at first the susceptibility of coals to spontaneous combustion should be determined and then colliery working conditions should be arranged according to these findings.

In this work, the spontaneous combustion liability of the coals taken from Western, Seyitömer and Değirmisaz Lignite Corporations have been identified. The spontaneous combustion profiles of the coals from Kütahya Region have been ascertained in general. Through out the present work, the crossing point method has been utilized. A total of 33 laboratory tests have been carried out. According to test results, the coal samples taken from Seyitömer have “medium to high” risk for spontaneous combustion while the coals from Western Lignite Corporation have shown “high” risk and the coals from Değirmisaz Corporation have “medium” risk.

Key words: Spontaneous combustion, oxidation of coal, crossing point method, liability index

TEŞEKKÜR

Öncelikle çalışmalarımın her safhasında yardımlarını ve engin bilgisini benden esirgemeyen, bana tecrübesiyle ışık tutan değerli hocam ve danışmanım Sayın Prof.Dr. Cem ŞENSÖĞÜT'e şükranlarımı sunarım.

Deneyisel çalışmalarımı Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmasına müsaade eden Bölüm Başkanlığı'na ve değerli zamanlarından feragat edip benimle ilgilenen yine aynı üniversite öğretim üyesi Sayın Yrd.Doç.Dr. Erdoğan KAYMAKÇI, öğretim elemanları Sayın Uzman Serdar YILMAZ'a ve Sayın Arş.Gör. Kemal BARIŞ'a teşekkürü borç bilirim.

Kömür numunelerinin temininde gösterdikleri ilgi ve yardımlarından dolayı Değirmisaz, Garp Linyitleri ve Seyitömer Linyitleri İşletmesi çalışanlarına, mühendis arkadaşım Sayın M.Akif ÇEBİ'ye, Dumlupınar Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcısı Sayın Yrd.Doç.Dr. İsmet ÇELİK'e sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca destek ve görüşlerini her zaman yanımda hissettiğim kıymetli ve sevgili arkadaşlarım Sayın Arş.Gör. Şahin YUVKA, Sayın Arş.Gör. Uğur DEMİR, Sayın Arş.Gör. Oktay ŞAHBAZ, Sayın Arş.Gör. Tacit KÜLAH ve Sayın Arş.Gör. Çiğdem ÖMEROĞLU'na teşekkür ederim.

Ayrıca bugünlere gelmemi sağlayan, en kötü günlerimde dahi benden maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen babam Zeki ÖREN, en sevdiğim öğretmenim ve annem Gönül ÖREN ve canım kardeşim Soner ÖREN'e minnettarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. NUMUNELERİN ALINDIĞI KÖMÜR DAMARLARININ ÖZELLİKLERİ.....	3
2.1 Seyitömer Linyit İşletmeleri (SLİ).....	3
2.2 Seyitömer Linyit Havzasının Jeolojik Durumu.....	4
2.3 Değirmisaz Kömür İşletmeleri.....	10
2.4 Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ).....	12
2.5 Tunçbilek Linyit Havzasının Jeolojik Yapısı.....	13
2.5.1 Paleozoyik.....	13
2.5.2 Mesozoyik.....	13
2.5.3 Senozoyik.....	14
2.5.3.1 Paleosen.....	14
2.5.3.2 Miyosen.....	14
2.5.3.3 Pliyosen.....	15
2.5.3.4 Kuvaterner.....	16
3. KÖMÜRÜN TANIMI, OLUŞUMU VE SINIFLANDIRILMASI.....	18
3.1 Kömürün Tanımı.....	18
3.2 Kömürün Oluşumu.....	18
3.3 Kömürlerin Sınıflandırılması.....	19
4. KÖMÜRÜN ÖZELLİKLERİ.....	21
4.1 Kömürün Fiziksel Özellikleri.....	21

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4.1.1 Rutubet.....	21
4.1.2 Yoğunluk.....	22
4.1.3 Gaz emme özelliği.....	22
4.1.4 Sertlik.....	23
4.1.5 Gözeneklilik.....	23
4.1.6 Öğütülebilirlik.....	23
4.1.7 Renk ve çizgi rengi.....	24
4.1.8 Ufalanabilirlik.....	24
4.1.9 Parlaklık.....	24
4.1.10 Elektrik iletkenliği.....	25
4.1.11 Mukavemet.....	25
4.1.12 Açık havada dağılganlık.....	25
4.1.13 Isıl iletkenlik.....	26
4.2 Kömürün Petrografik Özellikleri.....	26
4.2.1 Litotipler.....	26
4.2.2 Maseraller.....	27
4.2.3 Mikrolitotipler.....	27
5. KÖMÜRLERDE KENDİLİĞİNDEN YANMA OLAYI.....	30
5.1 Genel Bilgiler.....	30
5.2 Kömürün Oksitlenme Mekanizması.....	30
5.3 Kömürün Kendiliğinden Yanmasına Tesir Eden Etmenler.....	32
5.3.1 Kömürün fiziksel, kimyasal ve petrografik özellikleri.....	33
5.3.1.1 Kömürleşme derecesi (rank).....	33
5.3.1.2 Nem (rutubet) içeriği.....	33
5.3.1.3 Tane boyutu.....	34
5.3.1.4 Mineral madde içeriği.....	34
5.3.1.5 Petrografik yapı.....	35
5.3.1.6 Pirit içeriği.....	35
5.3.1.7 Bakteriler.....	35
5.3.1.8 Fiziksel özellikler.....	36
5.3.1.9 Uçucu madde içeriği.....	36
5.3.1.10 Metan içeriği.....	36
5.3.1.11 Kömür sıcaklığı.....	37
5.3.2 Jeolojik özellikler.....	38
5.3.2.1 Damar kalınlığı.....	38
5.3.2.2 Göçme özelliği.....	38
5.3.2.3 Faylar ve çatlaklar.....	38
5.3.2.4 Damar eğimi.....	39
5.3.2.5 Derinlik.....	39

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3.2.6 Jeotermal gradyan.....	39
5.3.3 Atmosferik koşullar.....	39
5.3.3.1 Ortam sıcaklığı.....	39
5.3.3.2 Havadaki nem miktarı.....	40
5.3.3.3 Oksijen derişimi.....	40
5.3.4 Madencilik ile ilgili faktörler.....	40
5.3.4.1 Üretim yöntemi.....	40
5.3.4.2 İlerleme hızı.....	41
5.3.4.3 Kömür kayıpları.....	41
5.3.4.4 Topuk koşulları.....	41
5.3.4.5 Hava kaçakları.....	42
5.3.4.6 Çalışılmış sahalar.....	42
5.3.4.7 Taban yolu.....	42
5.3.4.8 Havalandırma şartları.....	42
5.4 Kendiliğinden Yanma Belirtileri.....	43
5.4.1 Kızışmanın fiziksel belirtileri.....	43
5.4.1.1 Kömür ve çevre kayalarda görülen terleme.....	43
5.4.1.2 Duman.....	44
5.4.1.3 Ses.....	44
5.4.1.4 Koku.....	44
5.4.1.5 Sıcaklık artışı.....	44
5.4.2 Kızışmanın kimyasal belirtileri.....	45
5.5 Kendiliğinden Yanma ile Mücadele Yöntemleri.....	45
5.5.1 Planlama döneminde yapılabilecek çalışmalar.....	46
5.5.2 Üretim sırasında alınabilecek önlemler.....	46
5.5.3 Kızışma meydana geldiğinde uygulanabilecek mücadele yöntemleri.....	47
5.5.3.1 Yanan kesimin izole edilmesi.....	47
5.5.3.2 Yangın sahasının su ile doldurulması.....	47
5.5.3.3 Yanan bölgenin kazılarak uzaklaştırılması.....	48
5.5.3.4 İnert gazların kullanılması.....	48
6. KENDİLİĞİNDEN YANMANIN TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER.....	49
6.1 Laboratuar Teknikleri.....	49
6.1.1 Statik izotermal yöntem (oksijen tüketimi yöntemi).....	49
6.1.2 Dinamik oksidasyon yöntemi.....	50
6.1.3 Kimyasal yöntem.....	50
6.1.4 Adyabatik oksidasyon yöntemi.....	51
6.1.5 Diferansiyel termal analiz (DTA) yöntemi.....	52
6.1.6 Kesişim noktası metodu.....	53
6.1.7 Termogravimetrik analiz (TGA) metodu.....	56

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
6.2 Pratik Yöntemler.....	57
6.2.1 Kuluçka sınıflaması.....	57
6.2.2 Düzeltilmiş Bystron – Urbanski yöntemi.....	57
6.2.3 Olpinski yöntemi.....	59
6.2.4 Deneyimlere dayalı yapılan sınıflama.....	60
7. ÜLKEMİZ KÖMÜRLERİNİN KENDİLİĞİNDEN YANMA KARAKTERİSTİKLERİ.....	61
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	65
8.1 Deney Düzeneginin Tanıtımı.....	65
8.1.1 Mini kompresör.....	65
8.1.2 Etüv.....	66
8.1.3 Kaydedici.....	66
8.1.4 Reaktör.....	67
8.2 Deneylerde Kullanılan Kömürlerin Hazırlanma Aşamaları.....	68
8.2.1 Numunelerin alınması.....	68
8.2.2 Numunelerin kırılması ve öğütülmesi.....	70
8.3 Deneylerde Kullanılan Kömürlerin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	71
8.4 Deneylerin Yapılması.....	71
8.5 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	72
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	83
9.1 Sonuçlar.....	83
9.2 Öneriler.....	84
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	85
EKLER	
1. SLİ S-30 pano damarına ait deney sonuçları ve zaman – sıcaklık eğrileri	
2. GLİ M5, Beke- Yörgüç, BY – H ve 48 C – 5 pano damarlarına ait deney sonuçları ve zaman – sıcaklık eğrileri	
3. Değirmisaz kömür damarına ait deney sonuçları ve zaman – sıcaklık eğrileri	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 B1 kömür damarı stampı.....	7
2.2 B2 kömür damarı stampı.....	8
2.3 B3 kömür damarı stampı.....	9
2.4 Kriblaj tesisi.....	11
2.5 Kömür stokları.....	11
2.6 Tunçbilek kömür damarı stampı.....	17
3.1 Turba, kahverengi kömür ve bitümlü kömür oluşumu.....	19
4.1 Kömür mikrolitotipleri.....	28
5.2 Sıcaklık artışına bağlı olarak oksijen azalması ve CO derişimi.....	37
6.1 Tipik bir DTA termogramı.....	52
6.2 Kesişme noktası grafiği.....	53
6.3 TGA eğrisi.....	56
8.1 Mini kompresör ve akış ölçer.....	65
8.2 Programlanabilen etüv.....	66
8.3 Kaydedici ve etüv göstergesi.....	67
8.4 Reaktör.....	67
8.5 Seiytömer S-30 panosu B1, B2, B3 ve S-44 panosu B2 damarları.....	68
8.6 GLİ Beke – Yörgüç, BY – H ve 48 C – 5 panoları.....	69
8.7 Değirmisaz kömür stoğu.....	69
8.8 Çeneli kırıcı, merdaneli kırıcı, numune bölücü ve bilezikli değirmen.....	70
8.9 SLİ S-30 panosu B1 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	73
8.10 SLİ S-30 panosu B2 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	74
8.11 SLİ S-30 panosu B3 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	75
8.12 SLİ S-44 panosu B2 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	76
8.13 GLİ Ömerler M5 pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	77
8.14 GLİ Beke – Yörgüç pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	78
8.15 GLİ BY – H pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	79
8.16 GLİ 48 C – 5 pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	80
8.17 Değirmisaz damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi.....	81

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Kömürleşme derecelerine göre A.S.T.M sınıflaması.....	20
4.1 Kömürlerin mikrolitotip sınıflaması.....	29
5.1 Kömür – oksijen adsorpsiyonunun sıcaklığa bağlı olarak değişimi.....	31
5.2 Kömürün kendiliğinden yanmasını etkileyen faktörler.....	32
6.1 Adyabatik teste göre kömürlerin risk sınıflaması.....	51
6.2 FCC indeksine göre kendiliğinden yanmaya olan yatkınlık.....	54
6.3 Çevre indeksi değerleri.....	55
6.4 Kuluçka periyoduna göre risk sınıflaması.....	57
6.5 Uzunayak yöntemi için düzeltilmiş kendiliğinden yanma faktör sınıflaması.....	58
6.6 Risk sınıflaması.....	59
8.1 Deneyle yapılan kömürlerin kimyasal analiz sonuçları.....	71
8.2 SLİ S-30 panosu B1 damarı (a) deneyi sonuçları.....	73
8.3 SLİ S-30 panosu B2 damarı (a) deneyi sonuçları.....	74
8.4 SLİ S-30 panosu B3 damarı (a) deneyi sonuçları.....	75
8.5 SLİ S-44 panosu B2 damarı (a) deneyi sonuçları.....	76
8.6 GLİ Ömerler M5 pano damarı (a) deneyi sonuçları.....	77
8.7 GLİ Ömerler Beke – Yörgüç pano damarı (a) deneyi sonuçları.....	78
8.8 GLİ BY – H pano damarı (a) deneyi sonuçları.....	79
8.9 GLİ 48 C – 5 pano damarı (a) deneyi sonuçları.....	80
8.10 Değirmisaz damarı (a) deneyi sonuçları.....	81
8.11 Deney sonuçları.....	82

1. GİRİŞ

Ocak yangınları, yeraltı kömür madenciliğinin başlangıcından günümüze kadar gerek yapılan üretimin aksamasına gerek büyük boyutlardaki rezervlerin terk edilmesine gerekse de işçi sağlığı ve işçi güvenliği açısından önemli problemlere yol açması sebebiyle halen madenciliğin en büyük sorunlarından birisi olarak görülmektedir. Genel olarak bakıldığında ocak yangınları kişisel hatalar dışında kömürün kendi doğal mekanizması sonucunda oluşmaktadır. Kömür, havanın oksijeni ile temasa geçtiğinde okside olmakta ve bu oksitlenme sonucunda ısı veren bir reaksiyon oluşmaktadır. Eğer bu reaksiyon sonucu açığa çıkan ısı, bulunan ortamdaki uzaklaştırılmazsa ortam ısısı gitgide yükselmekte ve buna paralel olarak da kömürün sıcaklığı artmaya devam etmektedir. Kömürün tutuşma sıcaklığına ulaşmasıyla da kendiliğinden yanma olayı ortaya çıkmaktadır.

Kömürün kendiliğinden yanması olayı, kömür ve oksijenin bulunduğu her ortamda gerçekleşebilecek bir reaksiyon olmasından dolayı sadece yeraltı madenciliği ile sınırlı kalmamaktadır. Yeraltı madenciliğinin dışında açık işletme madenciliğinde, kömür silolarında, uzun mesafeli nakliye işlemlerinde ve hatta apartman daireleri gibi açık yığınların bulunduğu ortamlarda dahi kendiliğinden yanma olayı ile karşılaşmak mümkün olmaktadır [1]. Ancak yeraltında böyle bir olay ile karşılaşılması, ortamdaki zehirli ve patlayıcı gazlar, hava akışının yetersizliği ve yangınlara karşı mücadeledeki zorluklar nedeniyle insan güvenliği ve üretim kaybı konusunda daha da önemli bir hal almaktadır [2].

Kömürün kendiliğinden yanması konusunda günümüze kadar hem laboratuvar hem de arazi ölçekli birçok çalışma yapılmıştır. Genel olarak bu çalışmalarda; kömürün yanma mekanizmasının açıklanması, kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının tespit edilmesi, yanma sırasında oluşan kimyasal reaksiyonların araştırılması, mevcut indekslere ek olarak yeni indekslerin geliştirilmesi ve oksidasyon işleminin erken safhalarda tespit edilip kontrol altına alınması üzerinde durulmuştur [3, 4]. Yapılan bu çalışmalardaki ortak nokta; kömürün kendiliğinden yanmasını olası kılan şartların zaman geçmeden tespit edilip gerekli önlemlerin alınması olarak özetlenebilir. Bu bağlamda kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının belirlenerek yapılacak olan üretim faaliyetlerinin maden mühendisi tarafından tasarlanması daha önemli bir temel teşkil etmektedir.

Ülkemiz kömürlerinin kendiliğinden yanmaya karşı yatkınlığının belirlenmesi üzerine birçok çalışma yapılmış ve bu çalışmalar ışığında söz konusu bölgelerdeki şartlar iyileştirilmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma ile daha önce kendiliğinden yanma konusunda incelenmemiş olan Seyitömer ve Değirmisaz linyitlerinin kendiliğinden yanma karakteristikleri belirlenerek ileriki tarihlerde bu bölgelerde meydana gelebilecek ocak yangınları ve buna bağlı kayıpların önlenmesi için neler yapılabileceği üzerinde durulmuştur. Bu iki bölgemize ek olarak Garp Linyitleri İşletmesinin hem açık hem de yeraltı ocaklarından alınan numuneler vasıtasıyla kendiliğinden yanma deneyleri yapılarak, Kütahya bölgesi kömürlerinin kendiliğinden yanmaya olan yatkınlığı tespit edilmiştir.

2. NUMUNELERİN ALINDIĞI KÖMÜR DAMARLARININ ÖZELLİKLERİ

2.1 Seyitömer Linyit İşletmeleri (SLİ)

Seyitömer Bölgesi Linyit Kömürü İşletmesi, coğrafi olarak Kütahya il merkezinin 20 km kuzeybatısında bulunmaktadır.

Seyitömer kömür havzası; Aslanlı ve Ayvalı bölümlerinden meydana gelmiştir. Seyitömer bölümü içinde, dragline panosu olarak adlandırılan Gülbektepe ve Bozcakhöyük sahaları yer almaktadır. Seyitömer bölgesinin içinde yer alan Aslanlı bölümü ise Aslanlı I ve Aslanlı II olarak iki ayrı sahadan oluşmuştur. Ayrıca bölgenin kuzeydoğusunda Ayvalı bölümü yer almakta olup, bu sahanın üç ayrı yerinde kömür oluşumları tespit edilmiştir.

Bu bölgede genellikle karasal iklim hâkim olmakta ve buna göre sıcaklık yazın yüksek, kışın ise oldukça düşüktür. Yılın en sıcak ayları; Haziran, Temmuz ve Ağustos, en soğuk ayları ise; Aralık ve Şubat olmaktadır. Ayrıca bölgede nem oranının az olmasına karşın yılda ortalama toplam yağış miktarı 550 mm, günlük maksimum yağış miktarı ise 67 mm seviyelerine erişmektedir. Kar yağışı ise oldukça azdır. Ana yönü güneybatı olan rüzgârlar, bölge içinde fazla etkili olmamakta ve azami rüzgar hızı ortalama olarak 20 m/sn olmaktadır. Seyitömer bölgesi, genel olarak çıplak ve sakin bir morfolojiye sahip olup, havzanın rakımı +100 ile +1300 m arasında değişmektedir.

Bölge içinde üst bölümde yer alan “A” damarı yaklaşık olarak 10 m kalınlığında olup, bol olarak ara kesmeler içermektedir. Bu A damarının belirlenen alt ısıl değeri de 1400 – 1800 kcal/kg arasında olmaktadır. Belirtilen bu damardan 25 m aşağıda ise alt damar olarak belirtilen “B” damarı yer almaktadır. B damarı, ortalama olarak 16 m kalınlığında olup, üst kısmında yanıcı marn olarak tanımlanan bitümlü marn seviyeleri bulunmaktadır. Söz konusu damar, kömür kalitesi bakımından farklı kömür bantlarından oluşmaktadır. Buna göre B ana damarının alttaki 1/3'lük bölümü, düşük kalorili olup, 1900 – 2200 kcal/kg arasında değişen alt ısıl değerine sahiptir. Ana damarın diğer kısmını oluşturan 2/3'lük bölümün ise kömür kalitesi yüksek olup, 2150 – 2550 kcal/kg arasında değişen alt ısıl değerine sahip bulunmaktadır. B damarının üst kısmında yer alan yanıcı marn ise %5 – 6 bitüm içermekte ve 950 – 1200 kcal/kg arasında değişen alt ısıl değerine sahip bulunmaktadır [5].

Seyitömer kömür havzası içinde, B ana damarının kömür kalitesi bakımından farklı özellikler göstermesinden dolayı, üstte tavan taşından itibaren oluşan yüksek kalorili 2/3'lük bölüm, 1/3'lük iki ayrı kömür bandına ayrılmakta ve bunlar B1, B2 kömür bantları olarak isimlendirilmektedir. Böylece damarın ilk 1/3'lük kısmındaki B1 bandının kömürü, kriblaj tesislerinde eleme işleminden geçirildikten sonra, kömürün toz kısmı azot sanayi yakıtı, parça kısmı ise teshin amacıyla kullanılabilir. Bu ana damarın B1 bandından sonra gelen ikinci 1/3 kısımdaki B2 kömür bandı da eleme işleminden sonra, kömürün toz kısmı termik santralde, parça kısmı ise teshinde değerlendirilmektedir. Bu kömür bantlarından sonra gelen alttaki son 1/3'lük kısmı oluşturan B3 kömür bandı ise düşük kalorili olduğundan tamamı termik santralde kullanılmaktadır [5].

2.2 Seyitömer Linyit Havzasının Jeolojik Durumu

Seyitömer linyit havzasının sedimanları, karasal neojen birimleri ile kuvaterner yaşlı, genç formasyonlardan oluşmaktadır. Kömür havzası temel birimleri, genellikle serpantinleşmiş ultrabazik kayalar, radyolarit ve yer yer kristalize kireçtaşı içeren ofiyolitik seri ile temsil edilmektedir.

Kömür içeren neojen birimleri görsel ortamda çökelmiştir. “Yaşlı Neojen” ve “Genç Neojen” olmak üzere iki bölümde incelenen bu birimlerin yaşı Miyosen – Pliyosen olmaktadır.

Temel üzerine uyumsuz olarak gelen neojen serisinin alt seviyeleri “Yaşlı Neojen” olarak tanımlanmaktadır. Bu seviyeler sadece Seyitömer bölgesi imtiyaz sahaları içinde devamlılık göstermektedir. Temel üzerine konglomera ve kumtaşları ile başlamakta, üste doğru “Ana Damar”ın mavi – yeşil killerine geçmekte ve “Ana Damar”, mavi – yeşil killerden sonra oluşmaktadır. Damar killi, kumlu, siltli, yer yer marnlı ve tüfitli ara kesmeler içermektedir.

Ana damar, “tavan serisi” olarak tanımlanan kil ve marnlar ile az miktarda killi marnlar tarafından kaplanmıştır. Bunun üzerinde ise “üst damar” a ait seriler bulunmaktadır ve bu birimler sarımtırak ince kum ve killi – siltli marnlarla başlar, diatomeli kil ve marnlarla ince silis bantları içeren mavi renkli killi – kumlu seviyelerle devam eder. Üst damara ait seriler bazı bölgelerde kumlu – siltli marn ile başlamakta ve “kılavuz tüfitleri” ile devam etmektedir.

























B damarının üstten itibaren ilk 1/3'lük kısmını oluşturan parçası teshin, tozu ise azot sanayi yakıtı olarak değerlendirilen B1 kömürüne ait damar stampı Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere panoda killi malzemenin oluşturduğu ve kalınlıkları 10 - 25 cm olan ara kesmelerin yanında üst seviyelerde ince kil bantlı kömür damarları, alt seviyelerde ise masif kömür damarları bulunmaktadır. Panoda bulunan ara kesmeler, bölgedeki tüm damarlarda görülen sarı, koyu gri, açık gri, yeşil – siyah renkli malzemelerden oluşmaktadır. Ancak üstten itibaren 35 cm'lik kil ve kömür bantlarından sonra, 20 cm kalınlığındaki siyah – mat ve oldukça sert sileks (silisifiye marn), bu damarın diğer kömür damarlarından olan en önemli farkını oluşturmaktadır. Numune alınan panodaki kömür ve ara kesme kalınlıkları dikkate alındığında tüm panonun %85.09'u kömür, %14.91'i ise ara kesmelerden meydana gelmiştir. B1 damarının, mevcut ara kesmelerinin azlığı ve kömür bantlarının genellikle ince kil bantları içermemeleri nedeniyle parça iriliğindeki kısmının teshin, toz kısmının ise azot sanayi yakıtı olarak kullanımı uygun olmaktadır. Ayrıca dragline panolarının alt seviyelerinde görülen kist (bitümlü marn) malzemesinin bu panoda görülmemesi ve ara kesmelerin (sileks hariç) renk farklılıkları nedeniyle ayıklanabilir olmaları, B1 kömürünün bölgede mevcut diğer kömürlere nazaran kalitesinin yükseltilebilmesi açısından daha avantajlı olduğunu ortaya koymaktadır [5].

B2 olarak adlandırılan ve B damarının üstten itibaren ikinci 1/3'lük kısmını oluşturan kömürün üretildiği panoya ait stamp Şekil 2.2'de gösterilmektedir. Bu kömürün stampı incelendiğinde, en üst seviyede, B1 ve B2 kömürlerinin sınırını teşkil eden 50 cm kalınlığındaki beyaz renkli kil bandı bulunmaktadır. Bu bandın kalınlığının arttığı yerlerde selektif üretim mümkün görülmekte, ancak söz konusu bandın kalınlığının sahada farklılıklar göstermesi nedeniyle, zaman zaman sadece B1 – B2 sınırı olarak dikkat çekmektedir ve selektif olarak üretilmesi mümkün olamamaktadır. B2 kömürüne ait panoda sileks oluşumuna rastlanmamıştır. Ancak diğer panolarda görülen açık gri, koyu gri, sarı ve yeşil renkli killer bu panoda da yer almaktadır. Killi ara kesmelerin kalınlıkları 5 – 15 cm arasında değişmekte ancak, kömür bantları içinde de 1 – 2 cm kalınlığında ince kil bantları bulunmaktadır. Panodaki kömür ve ara kesme kalınlıkları dikkate alındığında kömür damarının %76,56'sını kömür, %23,44'ünü killi ara kesmelerin teşkil ettiği görülmektedir. Kömür damarları içinde ince killi ara kesmelerin varlığı ve tüm panoda B1 kömürüne göre daha fazla ara kesme bulunması nedeniyle B2 kömürünün parça kısmı teshine, toz kısmı ise termik santrallere verilmektedir [5].

B damarının üçüncü 1/3'lük kısmını teşkil eden ve B2 kömürü ile taban taşı arasında yer alan B3 kömürüne ait panonun stampı Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü üzere B3 kömürü, B2 kömürüne göre daha çok sayıda ara kesme içermektedir. Panodaki ara kesme kalınlıkları 10 – 30 cm arasında değişirken kömür kalınlıkları 25 – 100 cm arasında değişmektedir. Ancak panodaki mevcut kömür bandları, diğer panolarda olduğu gibi ince killi ara kesmeler tarafından 15 – 20 cm'lik dilimler halinde bölünmüşlerdir. B3 kömürü stampında yer alan killi ara kesme malzemeleri beyaz, açık gri, sarı ve yeşil renkli olup diğer panolarda görülen ara kesme malzemelerinin aynısıdır. Ancak sadece B1 kömüründe görülen sileks B3 kömürü içinde yer almamaktadır. Söz konusu stampdaki kömür ve ara kesme kalınlıkları dikkate alındığında, panonun %73,68'ini kömür, %26,32'sini ise killi ara kesmeler oluşturmaktadır. B3 kömürünün, kömür damarları içinde bol miktarda ince ara kesme içermesi; üretim esnasında, selektif işletme şartlarına uygun kalın ara kesmelere (100 cm'den fazla) sahip olmaması nedeniyle parça iriliğindeki kömürlerin teshinde kullanımını güçleştirmektedir [5].

Adi	Kalınlık		Özellikleri
	(cm)	(%)	
Kil	10	0.83	Sarı renkli
Kömür	25	2.07	
Sileks	20	1.66	Siyah renkli, mat, sert
Kömür	50	4.15	
Kil	25	2.07	Sarı renkli, yumuşak
Kömür	35	2.90	
Kil	10	0.83	Yeşil-siyah renkli, yumuşak
Kömür	150	12.46	9 adet ince kil bandlı
Kil	10	0.83	Yeşil-siyah renkli, yumuşak
Kömür	50	4.15	
Kil	15	1.24	Açık sarı renkli, yumuşak
Kömür	75	6.22	
Kil	15	1.24	Yeşil-siyah renkli, yumuşak
Kömür	90	7.47	
Kil	15	1.24	Sarı renkli, yumuşak
Kömür	200	16.61	İnce kil bandlı
Kil	25	2.07	Koyu gri renkli, yumuşak
Kömür	120	9.96	
Kil	15	1.24	Gri-beyaz renkli, yumuşak
Kömür	70	5.81	
Kil	20	1.66	Koyu gri-siyah renkli, yumuşak
Kömür	160	13.29	
	1205	100.00	

Şekil 2.1 B1 kömür damarı stampı

	Adı	Kalınlık		Özellikleri
		(cm)	(%)	
	Kil	50	6.90	Beyaz renkli
	Kömür	25	3.45	
	Kil	10	1.38	Açık-sarı renkli, yumuşak
				
				
	Kömür	140	19.31	1-2 cm kalınlığında beyaz-gri kil bandlı
	Kil	15	2.07	Açık-gri renkli
				
	Kömür	70	9.66	Gri-siyah kil bandlı
	Kil	10	1.38	Gri, yer yer koyu gri renkli
				
	Kömür	60	8.28	
	Kil	10	1.38	Sarı renkli, gevrek
				
	Kömür	50	6.90	
	Kil	15	2.07	Gri renkli, yer yer koyu gri
				
	Kömür	100	13.79	Gri-siyah ezilmiş kil bandlı
	Kil	15	2.07	Gri-yeşil, parlak, yumuşak
				
	Kömür	75	10.34	Gri kil bandlı
	Kil	5	0.69	Koyu gri, yumuşak
	Kömür	35	4.83	Yeşil kil bandlı
	Kil	40	5.50	Gri renkli (B3 sınırı)
		725	100.00	

Şekil 2.2 B2 kömür damarı stampı

Adı	Kalınlık (cm)	(%)	Özellikleri
Kömür	30	3.95	
Kil	15	1.97	Yeşil renkli, parlak, yumuşak
Kömür	30	3.95	
Kil	20	2.63	Beyaz renkli, açık gri
Kömür	100	13.15	İnce, gri beyaz renkli kil bandlı
Kil	10	1.32	Açık sarı renkli, yumuşak ince kil bandlı
Kömür	85	11.19	İnce kil bandlı
Kil	25	3.29	Beyaz-açık gri kil bandlı
Kömür	35	4.61	İnce kil bandlı
Kil	20	2.63	Yeşil renkli parlak
Kömür	25	3.29	
Kil	20	2.63	Gri-beyaz renkli yumuşak
Kömür	60	7.89	İnce gri kil arakesmeli
Kil	10	1.32	Açık gri renkli
Kömür	35	4.61	
Kil	30	3.95	Açık gri-beyaz renkli, yumuşak
Kömür	50	6.58	İnce gri kil arakesmeli
Kil	30	3.95	Yeşil, siyah, parlak, yumuşak
Kömür	60	7.89	Gri renkli kil bandlı
Kil	20	2.63	Yeşil renkli, yumuşak
Kömür	50	6.58	İnce kil bandlı
Taban kili			Yeşil renkli
	760	100.00	

Şekil 2.3 B3 kömür damarı stampı

2.3 Değirmisaz Kömür İşletmeleri

Değirmisaz Kömür İşletmeleri Kütahya'ya 80 km mesafede olup Tavşanlı ilçesinin kuzeybatısında, Değirmisaz köyü civarında, Tavşanlı'ya 28 km mesafededir. Asfalt devlet karayolu ile bağlantılıdır. Ayrıca Ankara – İzmir demiryolu hattı bu güzergâhtan geçmektedir.

1915 yılında Türkiye'de ilk linyit üretiminin başladığı yer olan Değirmisaz, 1945 – 1967 yılları arasında TKİ yeraltı işletmesi olarak faaliyetlerini tamamlamış, özel bir şirket tarafından 1972 yılından itibaren açık işletme yöntemi ile faaliyetlerine devam etmiştir. Fakat açık işletmelerde ekonomikliğini yitirdiğinden dolayı bu bölgemizde üretime son verilmiştir. Son yıllarda tekrar yeraltı işletmeciliğine devam etmek için çalışmalar yapılmaktadır.

İşletmenin 1173 hektarlık ruhsat sahası bulunmaktadır. Bu saha üzerinde dekapaj ve üretim işlemleri yapılmaktadır. Sondaj çalışmaları ile kömür olan bölgeler tespit edilip çalışma projeleri hazırlanmaktadır.

Değirmisaz havzasında iki seviyede kömür damarı mevcuttur. Ana damarın ortalama kalınlığı 3 – 4 m arasında olup kömür genellikle orta sertlikte, siyah parlak renktedir. Kömür damarları genellikle yüzeye 30 m mesafeden başlayarak %20 – 30 eğim ile 120 m derinliğe kadar inmektedir.

Kömür kalitesi olarak yaklaşık olarak 6000 kcal/kg kalori değerine sahip olan Değirmisaz'da yılda tek vardiyada 10.000.000 m³ dekapaj yapılmaktadır.

İşletmede 100 ton/saat kapasiteli 3 adet kribraj tesisi bulunmaktadır [6]. Kribraj tesisleri Şekil 2.4'te gösterilmektedir. İşletme üretim faaliyetlerini durduğu için kömür örnekleri yaklaşık iki ay beklemiş olan stoklardan temin edilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.4 Kribraj tesisi



Şekil 2.5 Kömür stokları

2.4 Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ)

Garp Linyitleri İşletmesi, Tunçbilek, Değirmisaz ve Soma linyit ocaklarının birleştirilmesiyle 01.01.1940 tarihinde Etibank'a bağlı olarak kurulmuş olup, 15.09.1957 tarihinden itibaren de 6974 sayılı kanunla kurulan Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu (TKİ) içinde yer almıştır. Başlangıçta Balıkesir'de bulunan müessese merkezi 07.07.1941 tarihinde Tavşanlı'ya nakledilmiştir.

Kütahya ili sınırları içerisinde yer alan Seyitömer linyit havzası ise, 01.06.1960 tarihinde müessesenin bir üretim bölgesi olarak işletmeye açılmıştır. Değirmisaz Linyit İşletmesi rezervi tükendiğinden 1966 yılında kapatılmış, Soma Linyit İşletmesi 1978 yılında yeni kurulan Ege Linyitleri İşletmesi'ne (ELİ) devredilmiştir. Seyitömer Linyitleri, İşletme (SLİ) olması sebebiyle, 01.07.1990 tarihinde GLİ bünyesinden ayrılmıştır. 01.04.2004 tarihinde Ilgın Linyitleri İşletmesi müessese bünyesine katılmıştır.

Garp Linyitleri İşletmesi halen Tunçbilek ve Ilgın üretim sahalarında faaliyetlerine devam etmektedir. Tunçbilek'te 2 ünite 150 MW, 1 ünite 65 MW, 2 ünite 32 MW olmak üzere toplam 429 MW'lık santraller faaliyet göstermektedir.

Tunçbilek İşletmesi Kütahya ili sınırları içerisinde olup, 12 km'lik bir yol ile Tavşanlı'ya bağlıdır. İşletme Tavşanlı – Domaniç – İnegöl karayolu üzerinde kuruludur. Ayrıca Tavşanlı' dan geçen Kütahya – Balıkesir demiryoluna 11 km'lik bir hat ile bağlıdır. Asfalt yollarla çevredeki il ve ilçelerle irtibatlıdır.

Havzanın rakımı 650 ile 1100 m arasında değişir. İklim genellikle yazın sıcak, kışın genellikle bol karlı ve soğuk olan karasal iklimdir. İlkbahar ve sonbahar yağışlı geçer. Yıllık ısı farkları -14 °C ile 30 °C arasında değişmektedir. Bölgenin başlıca akarsuyu olan Adranos çayı, diğer derelerle beslenerek kuzeye akar [7].

2.5 Tunçbilek Linyit Havzasının Jeolojik Yapısı

Çalışma sahasında en yaşlı birim olarak Paleozoyik yaşlı metamorfik şist ve kristalize kireçtaşları görülmektedir. Paleozoyik üzerinde diskordan olarak Kretase yaşlı ultrabazik kayalar ile radyolaritler bulunmaktadır. Paleosen'de granit intrüzyonu görülmektedir.

Tüm bu birimler Neojen yaşlı birimlerin temelini oluşturmaktadır. Temel üzerinde diskordan olarak bulunan Neojen, Miyosen ve Pliyosen ile temsil edilmiştir.

Miyosen; kumtaşı, konglemera (m1), marn (m2), kireçtaşı (m3m), kumtaşı – konglemera (m3b) olmak üzere dört birime ayrılmıştır.

Pliyosen ise; tüfit (p13), kireçtaşı (p12), bazalt (V), kireçtaşı (p14) olmak üzere dört birime ayrılmıştır.

2.5.1 Paleozoyik

Metamorfik şist (tmş): Çalışma sahasının kuzeyinde dar bir alanda görülmektedir. Şistozite az belirgindir. Yeşilimsi gri, kahvems gri renklidir.

Kristalize kireçtaşı (tk): Çalışma sahasının kuzeyinde Fıranlar – Sarıot arasında oldukça geniş alanlarda, batısında ise Burhan civarında dar bir alanda görülmektedir. Kristalize kireçtaşı mermerden oluşmuştur. Açık gri renkli bol kırıklı, belirgin tabakalanmalıdır.

2.5.2 Mesozoyik

Paleozoyik üzerinde diskordan olarak bulunan Mesozoyik birimleri ultrabazik kayalar ve radyolaritlerden oluşmuştur.

Ultrabazik kayalar – radyolarit (ts): Çalışma sahasının çevresi hemen hemen tamamen ultrabazik kayalar ve radyolaritler ile kaplıdır. Ultrabazik kayalar genellikle harzburgit ve dunitlerden meydana gelmiştir. Kırık ve fay zonlarında manyezit damarları boldur, yeşilimsi ve siyah renklidir. Yer yer kromit mercikleri içerir.

Radyolaritler, genellikle kahvemsi kırmızı renkli, çok sert, bol kırıklı, ince – orta ve belirgin tabakalanmalıdır.

2.5.3 Senozoyik

Çalışma sahasında Senozoyik; Paleosen yaşlı granit sokulumu, Miyosen ve Pliyosen yaşlı gölsel çökel birimler ve Kuvaterner yaşlı alüvyon ve yamaç molozları ile temsil edilmiştir.

2.5.3.1 Paleosen

Granit, çalışma sahasının kuzeybatısında Sarıot dolayında görülmektedir. Granit, granodiorit karakterinde olan bu sokulum, Uludağ granitleri ile ilişkili olup, yaşı eski çalışmalara göre Paleosen kabul edilmiştir.

2.5.3.2 Miyosen

Daha yaşlı birimler üzerinde diskordan olarak bulunan Miyosen, kumtaşı – konglomera (m1), marn (m2), kireçtaşı (m3a), kumtaşı – konglomera (m3b) olmak üzere dört birimden oluşmaktadır.

Kumtaşı – konglomera (m1): Sahanın güneyinde Yörgüç, Demirbilek ve Hamitabat köyleri dolaylarında görülmektedir. Bu birim yer yer gevşek, yer yer de sıkı tutturulmuştur. Orta boylanmış olup, çakıllar; yuvarlak, yarı yuvarlak ve küt köşelidir. Orta – kalın ve belirgin tabakalanmalıdır.

Marn – killi – siltli marn (m2): Çalışma sahasının güneyinde gözlemlenmektedir. Yer yer merceksel kumtaşı – konglomera ara katkıları içerir. Kahvemsi krem, grimsi krem renkli, ince – orta ve belirgin tabakalanmalıdır.

Kireçtaşı (m3a): Çalışma sahasının Soğucak, Böçen, Ömerler dolaylarında oldukça geniş alanlarda görülmektedir. Genellikle kireçtaşı ve silisifiye kireçtaşından oluşmuştur.

Beyazımsı krem, sarımsı krem, silisifiye kısımları pembemsi krem renkli olup killi seviyeler yeşil renktedir.

Kumtaşı – konglomera (m3b): Çalışma sahasının güney – güneydoğu kesimlerinde sadece Muhacir köyü dolaylarında görülmektedir. Genellikle gevşek, yer yer sıkı tutturulmuş kumtaşı – konglomera ve kil ara katkılarından oluşmuştur. İçerisinde 3 – 5 m kalınlığında marn ve kireçtaşı ara katkıları gözlenmektedir. Kırmızımtırak kahve renklidir.

2.5.3.3 Pliyosen

Pliyosen yaşlı birimler; tüfit (p13), kireçtaşı (p12), bazalt (V), kireçtaşı (p14) olmak üzere dörde ayrılmıştır.

Tüfit (p13): Çalışma sahasında oldukça geniş alanlarda görülmektedir. Genellikle açık beyazımsı gri renkli olup bol biotitlidir. Tüfit birimi içerisinde ara katkı olarak kireçtaşı ve bazalt birimleri bulunmaktadır.

Kireçtaşı (p12): Çalışma sahasında Saruhanlar köyü ve Beşik tepe dolaylarında görülmektedir. Beyazımsı krem renkli, sert, ince – orta yer yer kalın ve belirgin tabakalanmalı ve kırılgandır. İçerisinde tüfit seviyeleri ve silis ara katkıları görülmektedir.

Bazalt (V): Karaköy ve Güney köyleri dolaylarında görülmektedir. Birimin kalınlığı sondaj verilerine göre 50 – 70 m arasında değişmektedir.

Kireçtaşı (p14): Çalışma sahasının kuzeyini hemen hemen kaplamaktadır. Beyazımsı, krem, silisifiye olan kısımları ise açık kahvemsı krem renklidir. Bu birimin kalınlığı 100 – 125 m dolayındadır.

2.5.3.4 Kuvaterner

Daha yaşlı birimler üzerinde diskordan olarak bulunan Kuvaterner yamaç molozu (ym) ve alüvyon (AL) ile temsil edilmiştir.

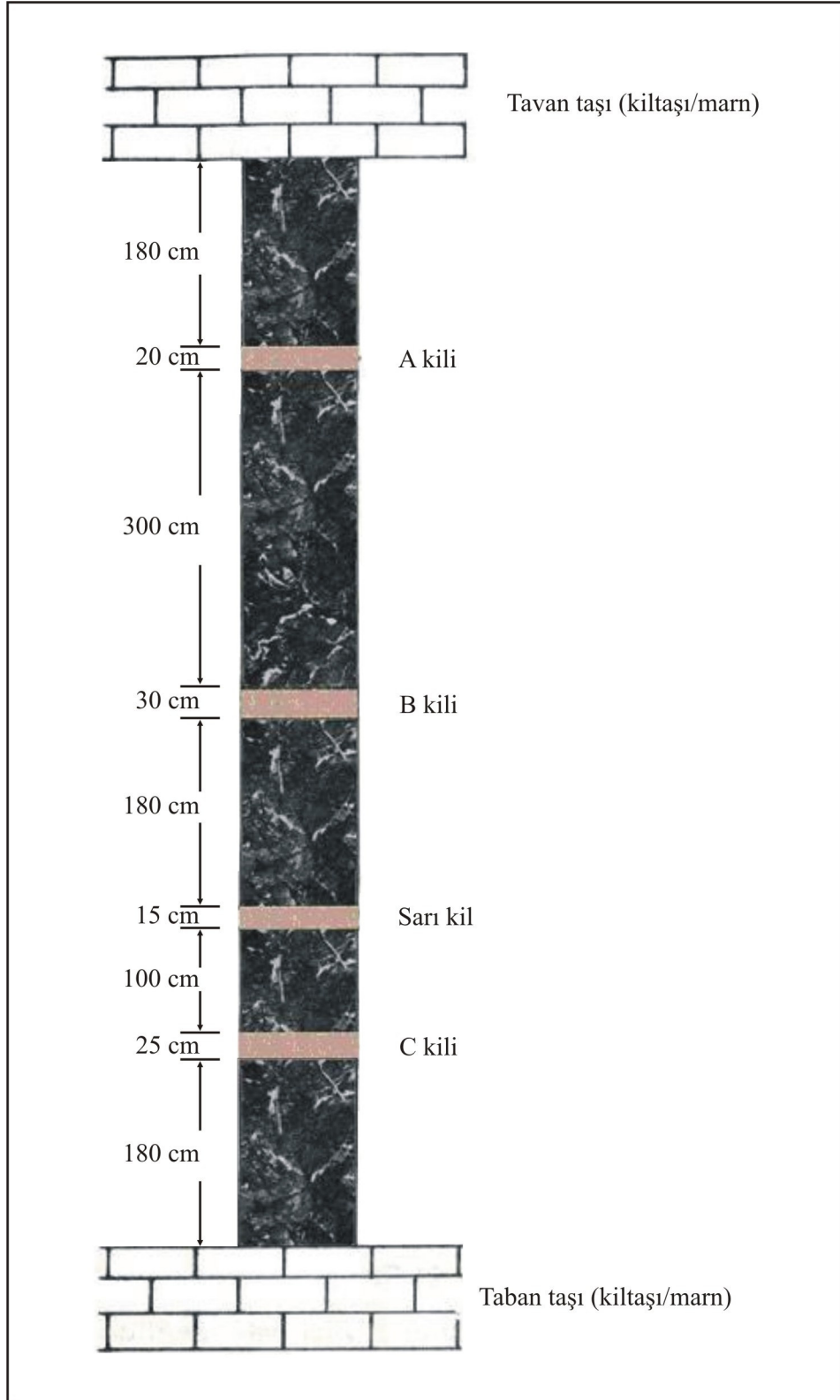
Yamaç molozu (ym): Sahada sadece Dededüz T. kuzey görülmekte olan yamaç molozları tutturulmamış köşeli çakıl ve bloklardan oluşmuştur. Çakıl ve bloklar tamamen bazalttır. Kalınlığı 5 – 10 m dolayındadır.

Alüvyon (AL): Sahada akarsu vadilerinde görülen alüvyonlar, tutturulmamış kil, kum ve çakıldan oluşmuştur. Alüvyon kalınlığı değişken olup, yer yer 60 m'ye kadar ulaşmaktadır [8].

Bölgede halen işletilmekte olan kömür damarı alt seride ve alt marn horizonunun üst seviyelerinde veya alt marn horizonu ile üst marn horizonu geçişinde bulunan “ana linyit damarı”dır.

Ana linyit damarının genel olarak yatımı 10° civarında ve kalınlığı 4 – 12 m arasında olup, damar içinde belirli kalınlıklarda tabaka ve adese şeklinde ara kesmeler mevcuttur. Bunların en önemlileri, yukarıdan aşağı olmak üzere A, B ve C killeri olarak adlandırılmakta olan ara kesmelerdir. Bu ara kesmelerden başka C kilinin 1 m kadar üzerinde “sarı kil” olarak isimlendirilen bir ara kesme daha bulunmaktadır.

A kili tavan taşından itibaren 130 – 180 cm mesafede ve 15 – 20 cm kalınlıktadır. Bu kil tabakasına her kesitte rastlanmamakla birlikte genellikle ya çok ince ya da arada kömür tabakası olmadan birleşmiş olarak rastlanmaktadır. B kili 25 – 30 cm kalınlıkta ve taban taşından yaklaşık 5 m yukarıda damarın ortasında yer almaktadır. C kili ise, 20 – 25 cm kalınlıkta ve taban taşından 180 – 200 cm yukarıdadır (Şekil 2.6) [7].



Şekil 2.6 Tunçbilek kömür damarı stampı

3. KÖMÜRÜN TANIMI, OLUŞUMU VE SINIFLANDIRILMASI

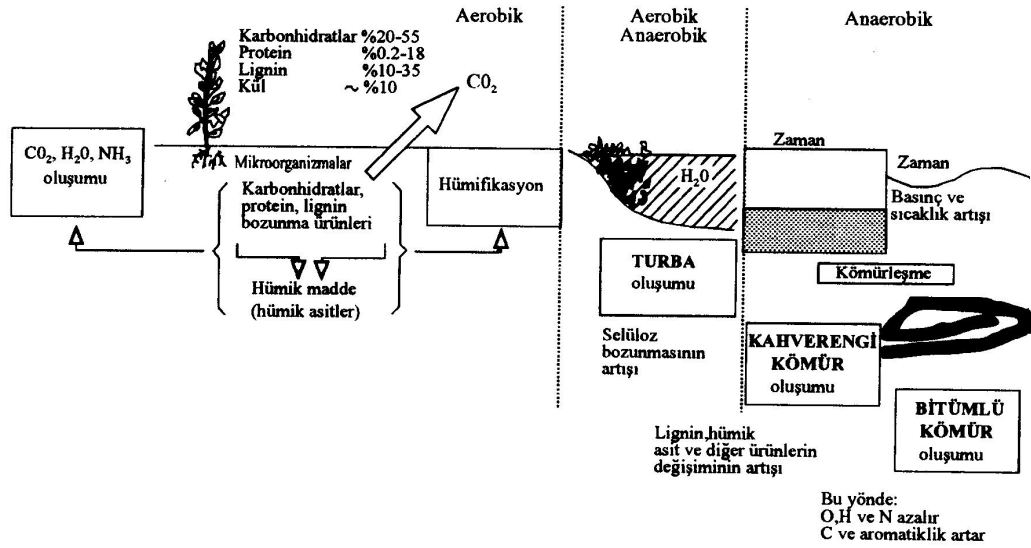
3.1 Kömürün Tanımı

Kömür, uygun ortamlarda bozunmayan veya çürümeyen bitki kalıntılarının, zaman içerisinde biyokimyasal ve fiziksel etmenler ile değişimi sonucu oluşan, değişen oranlarda organik ve inorganik bileşenleri içinde bulunduran sedimanter bir kayadır [9]. Her kömürün bileşimi ve karakteri, kömürü oluşturan organik ve inorganik bileşenlerin yapısı ve geçirdiği diyajenezin derecesiyle tanımlanmaktadır [10].

3.2 Kömürün Oluşumu

Kömür oluşumunun veya diğer adıyla kömürleşmenin ilk safhasını turba oluşturmaktadır [10]. Turbanın, jeolojik ve kimyasal etkiler sonucunda linyit, yaribitümlü, ve bitümlü kömürlere, antrasit ve metaantrasite dönüşmesi olayına “kömürleşme” denilmektedir [9]. Kömürleşme sırasında bitkisel kalıntılar sürekli sıcaklık ve basıncın altında değişime uğramakta, ortama hidrojen ve oksijen vermek suretiyle zamana bağlı olarak olgunlaşmaktadırlar [11]. Kömürleşme süreci, turbanın olduğu bataklıkta turbanın üzerinin ince klastik veya diğer sedimentlerle örtülmesiyle başlamaktadır [10].

Turbaların kömüre dönüşümü, üst tabakaların basıncı, dağ oluşumları ve tektonik faaliyetlerin etkisi ile gerçekleşmiştir. Yerkabuğunda oluşan tektonik hareketler sırasında turba yatakları alt seviyelere inerek daha sonra üzerlerinde biriken kil, kum, marn gibi malzemelerin basınçları sonucunda sıkışır. Basılma ve yükselmelerin zamanla yön değiştirmesi ve tabakaların kıvrımlaşması sonucunda turba yataklarına etki eden basınçlar da artmaktadır [12]. Yerkabuğundaki değişken hareketlerden, basınç artmasından, kimyasal reaksiyonlardan ve yeraltı kaynaklı ısı iletimleri sonucunda turbadan kademeli olarak kömür türevleri oluşmaktadır (Şekil 3.1) [10].



Şekil 3.1 Turba, kahverengi kömür ve bitümlü kömür oluşumu

3.3 Kömürlerin Sınıflandırılması

Genel olarak kömürlerin sınıflandırmasında amaç olarak edinilen ortak nokta, kömürleşme derecesinin, kalitesinin ve kullanım özelliklerinin belirlenmesi olmaktadır [9]. Birçok uluslararası kuruluş tarafından kömür kalitesini tespit etmek için çeşitli sınıflandırmalar yapılmıştır. Collier, Frazer, Cambell, Şeyler, Toronto, Grüner, Grout, Pars, Uluslararası sınıflandırma ve A.S.T.M (the American Society for Testing and Materials) sınıflaması bunlardan birkaçıdır. Kömürün sabit karbon yüzdesi, kalorisi, rutubeti, uçucu madde ve hidrojen yüzdelerinin temel olarak alındığı bu sınıflamalarda en çok rağbet göreni A.S.T.M sınıflamasıdır. Bu sınıflandırma kömürleşme derecesi esas alınarak yapılan bir sınıflamadır. A.S.T.M sınıflamasında yüksek kömürleşme derecesine sahip olan kömürler sabit karbon, uçucu madde; düşük kömürleşme derecesine sahip olan kömürler ise alt kalorifik değer ve kekleşme özelliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflama Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kömürleşme derecelerine göre A.S.T.M sınıflaması

Sınıf	Gruplar	Sabit karbon (dmmf)		Uçucu madde (dmmf)		Üst ısı değer (mmmf,Btu/lb)		Kekleşme özellği
		Eşit veya büyük	Daha küçük	Eşit veya büyük	Daha küçük	Eşit veya büyük	Daha küçük	
Antrasit	Meta-antrasit	98	-	-	2	-	-	Kekleşmez
	Antrasit	92	98	2	8	-	-	
	Semi-antrasit	86	92	8	14	-	-	
Bitümlü kömür	Düşük uçuculu	78	86	14	22	-	-	İyi kekleşir
	Orta uçuculu	69	78	22	31	-	-	
	Yüksek uçuculu-A	-	69	31	-	14000	-	
	Yüksek uçuculu-B	-	-	-	-	13000	14000	
	Yüksek uçuculu-C	-	-	-	-	11500	13000	11500
Altbitümlü kömür	Altbitümlü-A	-	-	-	-	10500	11500	Kekleşmez
	Altbitümlü-B	-	-	-	-	9500	10500	
	Altbitümlü-C	-	-	-	-	8300	9500	
Linyit	Linyit-A	-	-	-	-	6300	8300	Kekleşmez
	Linyit-B	-	-	-	-	-	6300	

Çizelge 3.1'den de görüldüğü üzere bu sınıflandırma çeşidinde kömürler dört ayrı grupta incelenmekte; alt bitümlü ve bitümlü kömürler arasındaki ayırım kömürün kekleşme özelliğinden yararlanılarak yapılmaktadır [13].

4. KÖMÜRÜN ÖZELLİKLERİ

Kömürün özellikleri; bileşimine, kömürleşme derecesine ve oluşum şartlarına bağlı olarak değiştiğinden dolayı aynı yapı ve bileşimde olan iki kömürden bahsetmek oldukça zordur. Kömürün sahip olduğu fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri; kömürün üretim, hazırlama, taşıma gibi işlemlerinde büyük önem arz etmektedir [10]. Ayrıca kömürlerin sınıflandırılması, kalitelerinin belirlenmesi ve kullanım alanlarının net bir şekilde ortaya konulması, ticari piyasada alım-satım değerinin olup olmadığını belirlemek için de kömürün özelliklerinin bilinmesi son derece önemlidir.

4.1 Kömürün Fiziksel Özellikleri

4.1.1 Rutubet

Kömürün yapısında bünye ve yüzey rutubeti olmak üzere iki tür rutubet bulunmaktadır. Bünye rutubeti kömür tarafından adsorbe edilen sudan ibarettir. Yüzey rutubeti ise kömürün yüksek rutubetli ortam koşulları sonucunda oluşur ve serbest halde bulunan sudan meydana gelir.

Kömür türlerinin değişmesi ile birlikte kömürün yapısında bulunan bünye nemi de farklılık göstermektedir. Bitümlü kömürlerde bünye nemi %1 – 3 arasında değişmekte iken, bu değer linyitlerde %45'e kadar çıkabilmektedir. Kuru görünüme sahip olan kömürler bünye nemine sahip olan kömürler olmakla birlikte, bu kömürler kırıldıkları zaman toz açığa çıkarırlar.

Kömürün tane boyutuna ve neme bağlı olan koşullara göre değişen yüzey nemi; iri boyuttaki kömürlerde rahatça süzülerek kömürden uzaklaştırılabilir. Ancak kömürün tane boyutu küçüldükçe kaplayacağı yüzey alanı da artacağından yüzey nemi oranı da buna bağlı olarak artış gösterecektir.

Kömürdeki nem oranının fazla olması çok istenilen bir durum değildir. Çünkü kömürün tutuşması sonucu açığa çıkan enerjinin belli bir bölümü bu nemin buharlaştırılması için harcanmaktadır [13]. Bu da kömürden istenilen performansın alınmasını engellemiş olur.

4.1.2 Yoğunluk

Kömür yoğunluğu; yığın yoğunluğu, görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk olmak üzere üç ayrı şekilde tanımlanmaktadır.

Yığın yoğunluğu, belirli bir hacmi dolduran kömürün ağırlığından faydalanılarak hesaplanmaktadır. Bu yoğunluk, ağırlığı bilinen bir kömür yığınının depo edileceği alanın büyüklüğünü veya belirli hacimdeki tepkime kabına konulabilecek kömür miktarını belirlemektedir [10].

Kömürün görünür yoğunluğu, ağırlığın görünür hacme bölünmesiyle bulunur [9]. Görünür yoğunluk; belirli bir ağırlığa sahip kömürün hacmi kadar yer değiştiren sıvı hacmi ölçülerek bulunmaktadır. Görünür yoğunluk; kömürün tane boyutuna, karbon içeriğine, yoğunluk tespitinde kullanılan sıvının özelliklerine ve sıvı ile kömürün birbiri ile etkileşimine bağlı olarak değişmektedir [10].

Gerçek yoğunluk ise kömürün birim hacminin ağırlığı olarak ifade edilmektedir ve kömür ağırlığının hacmine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Kömürün gerçek yoğunluğu yaşına bağlı olarak değişmektedir. Genel olarak bakıldığında; kömürün jeolojik yaşı ilerledikçe kömürleşme derecesi yükselmektedir. Kömürleşme derecesinin yani kömürün karbon içeriğinin azalmasıyla kömür bünyesindeki Vitrit ve İnertit türü maserallerin gerçek yoğunlukları artmaktadır. Eksinit grubu maserallerin gerçek yoğunlukları ise, diğer iki grup maserallerden farklı olarak karbon içeriğinin artmasıyla devamlı bir şekilde yükselmektedir [10].

4.1.3 Gaz emme özelliği

Kömür oda sıcaklığında su buharı, etil alkol ve benzen buharlarını emebilen bir cevherdir. Linyit kömürleri kimyasal yapı bakımından gaz ve buhar adsorpsiyonuna elverişli kömürlerdir. Bir linyit kömürü kendi hacminin 1.5 katı kadar hava ve CO₂ adsorbe edebilir [14].

4.1.4 Sertlik

Kömürün sertliği, kömür türüne göre farklılık göstermekle beraber, içerdiği karbon ve uçucu madde oranına göre değişen bir özelliğidir. Düşük sertliğe sahip kömürler %85 – 90 oranında karbon içermektedirler. Uçucu madde oranının da %5'den %15'e çıkması ile birlikte kömürün sertliği azalmaktadır. Fakat uçucu madde oranının %15' den %40'a çıkması sonucunda kömürün sertliği de buna paralel olarak artmaktadır.

Kömürlerin fiziksel olarak birbirlerine göre değişiklik göstermelerinden dolayı herhangi bir kömür için belli bir sertlik sınıflaması yapmak doğru değildir. Fakat genel olarak bakıldığında linyit, kömür türleri arasında en yumuşak olanı; antrasit ise en sert olanı olarak gösterilmektedir [13].

4.1.5 Gözeneklilik

Gözenekli bir yapıya sahip olan kömürün toplam gözenek hacminin önemli bir kısmını çok küçük yapıdaki gözenekler oluşturmaktadır. Orijinal nemi yüksek olan kömürlerin gözenekliliği de fazladır. Linyitlerin gözenekliliği genellikle %27 – 37 arasında değişmektedir. Gözeneklilik, yaklaşık %85 oranında karbon içeren kömürlerde minimum göstermekte ve karbon içeriği artınca gözeneklilik tekrar artmaktadır [10].

4.1.6 Öğütülebilirlik

Kömürün öğütülebilirliği; kömürün sertlik, mukavemet ve kırılganlık gibi fiziksel özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir [13]. Öğütülebilirliği saptamak amacıyla Hardgrove Öğütülebilirlik İndeksi adı verilen bir indeks kullanılır. Bu indeks ile öğütülebilirlik arasında ters bir ilişki söz konusudur. Yani Hardgrove indeksinin yüksek olduğu durumlarda kömürün kolay öğütülebilme özelliği olduğunu söylemek mümkündür. Orta ile düşük bitümlü, Vitrinitçe zengin kömürlerin Hardgrove indeksleri yüksek olduğundan dolayı öğütülebilmeleri kolay olabilmektedir. Yüksek İnertinit içeren kömürler ise zor öğütülebilen kömürlerdir ve bu kömürlerin Hardgrove indeksleri düşüktür [10].

4.1.7 Renk ve çizgi rengi

Genel olarak kömürlerin rengi açık kahve ve siyah arasında değişmektedir. Linyitlerin rengi açık kahverengi ile koyu kahverengi renk tonları arasındadır. Daha kaliteli üst kömürlerde ise bu renk siyahın koyulaşan tonları olarak kendini göstermektedir. Bitümlü kömürlerden daha düşük dereceye sahip kömürlerin çizgi rengi sarı ile kahverengi arasında değişirken, daha yüksek dereceli kömürlerin çizgi rengi kahverengi ve siyah arasındadır [13].

4.1.8 Ufalanabilirlik

Kömürün önemli özelliklerinden biri olarak gösterilen ufalanabilirlik, bir parçanın boyut olarak daha küçük parçalara ayrılması olarak tanımlanabilmektedir. Genel olarak bakıldığında çok ufalanma gösteren kömürlerde mevcut yüzey alanı artacağından oksitlenme olayı diğer kömürlere nazaran daha fazla olacak ve bunun sonucunda da kendiliğinden yanma riski önemli oranda artacaktır.

Kömür türleri arasında en az ufalanma özelliğine sahip olanı linyittir. Yarı bitümlü kömürler ise yüksek derecede ufalanma gösterirler. Bunun dışında antrasit ve alt bitümlü kömürlerin ufalanma özellikleri birbirleri ile benzerlikler göstermektedir. Bu iki kömür türü de ufalanmaya karşı bitümlü ve yarı bitümlü kömürlerden daha yüksek bir dirence sahiptir.

Ufalanma kömür türlerine göre farklılık gösterdiği gibi kömürün petrografik bileşenlerine bağlı olarak ta değişiklik gösterebilmektedir. Bu bileşenlerden Fügen en zayıf, Düren ise en yüksek dirence sahip bileşenlerdir. Vitren, Fügen'den, Klaren de Vitren'den daha dirençlidir [13].

4.1.9 Parlaklık

Parlaklık; ışığın bir madde yüzeyinden yansıma şiddetidir. Kömürler kendi aralarında ışığı yansıtımlarına göre mat veya parlak olarak sınıflandırılabilirler. Linyitler diğer kömür türlerine göre daha mat görünümlüdürler. Antrasit ise parlak yüzeylerinin yanında mat kısımları da bulunan bir kömür türüdür. Bitümlü kömürlerde hem mat hem de parlak yüzeylere rastlamak mümkündür [13].

4.1.10 Elektrik iletkenliği

Elektrik iletkenliği, elektrik 6zdirencinin tersi olarak ifade edilmektedir. Elektrik 6zdirenci, birim uzunluğa ve kesite sahip olan cismin direnci olarak 6lç6lmektedir. 6zdirenci 1 Ω cm'den k6ç6k olan maddeler iletken sınıfında girerken, 6zdirenci 10^{15} Ω cm'den b6y6k olanlar ise izolat6r olarak tanımlanmaktadır.

K6m6rlerin 6zdirençleri çoğunlukla $1 - 10^{14}$ Ω cm arasında değiştiğinden dolayı yarı iletken sınıfına girmektedirler. K6m6rlerin yaşı ile 6zdirenci yıllara bağlı olarak doğru orantılı artmaktadır. Fakat bu artış 6zellikle %87 ve 6zeri karbon içeren k6m6rlerde daha hızlı olmaktadır [13]. Yıldırım ve ark. [15] yaptıkları deneysel çalışmalarda, k6m6r6n elektriksel yalıtkanlığı ile yatknlık indeksi arasında anlamlı bir ilişkinin var olabileceğini kanıtlamışlardır. Buna g6re; elektriksel yalıtkanlığı artan k6m6rlerin kendiliğinden yanma eğilim indekslerinin ve risk derecelerinin arttığı belirlenmiştir.

4.1.11 Mukavemet

K6m6r6n baskı mukavemeti k6m6r6n t6r6 ve petrografisi ile ilgili bir durumdur. K6m6r yapısındaki uçucu maddenin %20 – 25 olduğu durumlardaki mukavemeti k6m6r6n en d6ř6k mukavemetidir. K6m6rdeki litotip t6rlerinden biri olan Vitren oranının da y6kselmesi k6m6r6n mukavemetini azaltmaktadır [13].

4.1.12 Açık havada dağılganlık

K6m6r6n açık havada dağılması, ıslanma ve kuruma olayları sonucunda k6m6r b6nyesindeki ve y6zeyindeki içsel gerilmelerin etkisiyle oluşmaktadır. Dağılma her k6m6r sınıfında farklı olmaktadır. Genel olarak dağılma; en çok d6ř6k kaliteli k6m6rlerde meydana gelmektedir. K6m6r t6rleri arasında en kolay dağılma 6zelliğine sahip olan linyitlerdir. Alt bit6ml6 k6m6rler linyitlere nazaran daha az dağılma g6sterirler [13].

4.1.13 Isıl iletkenlik

Isıl iletkenlik, bir maddenin ısınıyı kendi bünyesindeki sıcak bölgeden soğuk bölgesine iletme özelliğidir. Kömürün uçucu maddesi, rutubeti ve özgül ağırlığının artması ısı iletkenliğini yükseltmektedir. Yine aynı şekilde kömürün sıcaklığının artmasıyla da ısı iletkenlik artmaktadır [13]. Isıl iletkenliği düşük olan kömürlerde ısı birikimi de yüksek olacağı için kendiliğinden yanma riski artacaktır.

4.2 Kömürün Petrografik Özellikleri

Kömür, organik ve inorganik bileşenlerden oluşan heterojen yapı gösteren bir maddedir. Kömürlerin gözle görülebilir, yarı parlak, mat veya ince bantlar halindeki organik bileşenlerine litotip adı verilmektedir. Litotipleri oluşturan ve gözle görülemeyecek ancak mikroskopla görülebilen küçük bitki parçacıklarına da maseral denilmektedir [13].

4.2.1 Litotipler

Parlaklık, renk, şekil ve kalınlık gibi belirgin özellikleriyle birbirlerinden ayrılabilen litotipler; Vitren, Düren, Fügen ve Klaren olmak üzere dört ayrı grupta incelenmektedir.

Vitren; ince, siyah camsı homojen bir yapıdadır. Kalınlığı 3 – 10 mm arasında değişmektedir. Eli boyamaz ve kırılğan bir özelliğe sahiptir [10]. Kömürün en parlak bantıdır [13].

Düren; sert bir yapıya sahip olup mat renktedir. Vitren gibi kalınlıkları 3 – 10 mm arasındadır [10]. Kırıldığında düzgün yüzeyler vermektedir [13].

Fügen; yumuşak ve tozlu bir görünüme sahiptir. Bazı durumlarda bünyesindeki boşlukların minerallerle dolmasıyla sertlik kazanabilmektedir. Eli boyayan tek litotip olmasından ötürü diğerlerinden kolaylıkla ayrılır [10].

Klaren; kömürün en yaygın bantı olup, yapısında düren, Vitren ve Füsen gibi diğer litotipleri muhafaza etmektedir. Bant kalınlığı 3 – 10 mm'den daha azdır. İpek parlaklığında, çizgisel veya merceksi görünümde, ince taneli bir litotiptir [10].

4.2.2 Maseraller

Linyit ve bitümlü kömürlerde maseraller; Vitrit (linyitlerde Huminit), Liptinit (Eksinit) ve İnertit olmak üzere üç ayrı grupta sınıflandırılmışlardır. Aynı kalitedeki kömürlerde Vitrit genelde daha fazla oksijen içerirken Liptinit daha fazla hidrojen, İnertit ise daha fazla karbon içermektedir. Kömürleşmenin artmasıyla birlikte maseraller kimyasal, fiziksel ve teknolojik özellikleri açısından değişime uğramaktadırlar [16].

Vitrit maserali kömür içerisindeki en önemli ve en çok bulunan maseral grubudur [16]. Kahverengi kömür ve linyitlerde Huminit olarak isimlendirilen bu maseralin rengi bitümlü kömürlerde açık gri, antrasitte beyaz, kahverengi kömürlerde ise gri ya da koyu gri şeklinde görülmektedir [10]. Artan kömürleşme ile birlikte içerdiği karbon yüzdesi de değişmektedir [13].

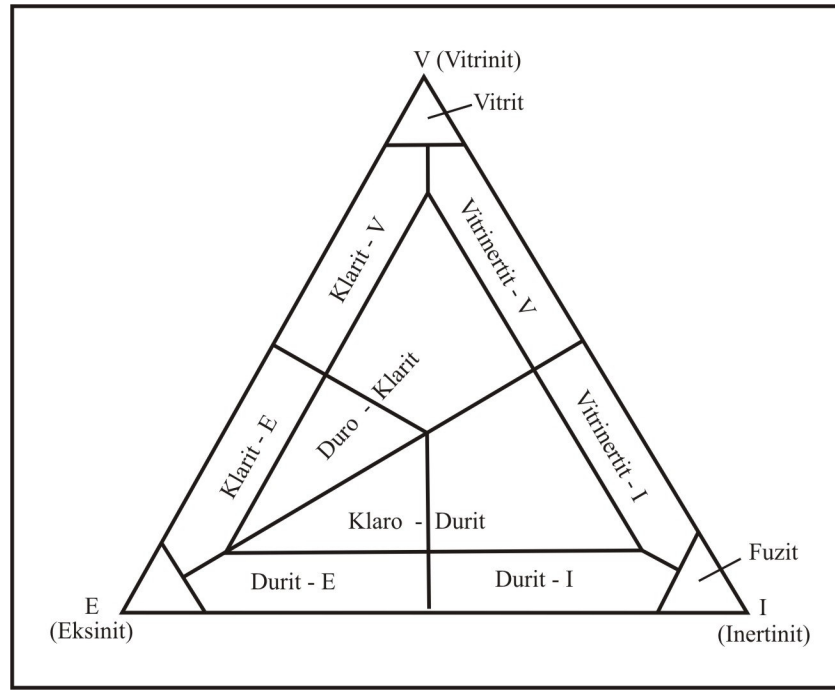
Liptinit grubu diğer iki maseral grubundan farklı olarak daha fazla hidrojen ve uçucu madde içerir. Yoğunlukları ve karbon içerikleri düşüktür. Kömürleşme derecesinin artmasıyla birlikte yüksek değişim gösteren Liptinit maseralleri antrasit kömürü gibi yüksek kaliteli kömürlerde ayırt edici özelliklerini kaybetmektedirler [10]. Genel olarak renkleri koyu gri ve kırmızımsı gri arasında değişmektedir [13].

İnertit grubu maseraller, diğer maserallere oranla en yüksek yansıma özelliği, en fazla karbon içeriğine sahiptir. Hidrojen ve uçucu madde yüzdesi en düşük maserallerdir [16]. Parlak ışıkta beyaz ve açık gri bir renk göstermektedir [10].

4.2.3 Mikrolitotipler

Kömür yapısındaki maserallerin birleşmesinden meydana gelmiş, tane boyutu en az 50 μ olan tabakalara “mikrolitotip” adı verilmektedir [17]. Tek maserali, iki maserali ve üç

maseralli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Mikrolitotiplerin sertlikleri maseral bileşimi, mineral içeriği ve tektonik koşullara bağlı olarak değişmektedir. Mikrolitotipler sonlarına “it” takısı almakta ve tek, iki ve üç maseralli olmalarına ve maserallerin minerallerle olan birlikteliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Bu sınıflamada esas alınan nokta mikrolitotipin kalınlığı ve içerdiği maseral yüzdesidir. Buna göre; mikrolitotip kalınlığının en az 50 μ , maseral yüzdesinin en az %5 olması istenmektedir [10]. Mikrolitotipleri Vitrit, Vitrinertit, Klarit, Düroklarit, Klarodürit, Dürit, Füzit olarak sıralamak mümkündür [9]. Şekil 4.1’de bu mikrolitotipler gösterilmektedir [18]. Çizelge 4.1’de bu mikrolitotiplerin sınıflandırılması gösterilmektedir [19].



Şekil 4.1 Kömür mikrolitotipleri

Çizelge 4.1 Kömürlerin mikrolitotip sınıflandırması

Mikrolitotipler	Bileşim (%)
Tek maseralli mikrolitotipler	
Vitrit	Vitrit (V), > %95
Liptit	Liptit (L), > %95
İnertit	İnertit (I), > %95
İki maseralli litotipler	
Klarit	V+L, > %95
Vitrinertit	V+I, > %95
Dürüt	I+L, > %95
Üç maseralli mikrolitotipler	
Düroklarit	V > I+L (her biri en az > %5)
Vitrinertoliptit	L > I+V (her biri en az > %5)
Klarodürüt	I > V+L (her biri en az > %5)
Karbomineritler	
Karbarjilit	Kömür + hacimce %20-60 kil mineralleri
Karbopirit	Kömür + hacimce %5-20 demir sülfat mineralleri
Karbankerit	Kömür + hacimce %20-60 karbonat mineralleri
Karbosilisit	Kömür + hacimce %20-60 kuvars
Karbopoliminerit	Kömür + hacimce %20-60 değişik mineraller

5. KÖMÜRLERDE KENDİLİĞİNDEN YANMA OLAYI

5.1 Genel Bilgiler

Yeraltı kömür madenciliğinin en büyük sorunlarından birisi olan kendiliğinden yanma konusu zamanında gerekli önlemlerin alınmaması veya çıkan yangınların kontrol edilememesi durumunda çok önemli kayıplara neden olabilmektedir. Kömürün kendiliğinden yanması sonucunda birçok zehirli ve patlayıcı gaz açığa çıkmakta; bu gazlar da insan sağlığı için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Kızışma sonrasında çıkan ısı çalışma ortamını patlamalara riskli bir hale getirmekte, ayrıca açık alevli yangına dönüşmesi sonucunda birçok insanın ölümüne yol açabilmektedir. Çıkan bu yangın sadece insanların değil çevredeki makine ve ekipmanların da tahrip olmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda da üretim yavaşlamakta ve büyük rezerv kayıpları ortaya çıkmaktadır [1].

Kömürlerin kendiliğinden yanma olayı sadece yeraltı madenciliği ile sınırlı kalmamaktadır. Kömürlerin depo edildiği stok sahalarındaki yığınlar da meydana gelen kızışma olayı çok sık rastlanan bir durumdur. Yığın içerisindeki kömür tane boyutunun düzensiz ve özellikle küçük boyutlarda olması kömürün hava ile temas yüzeyini arttırmaktadır. Ayrıca deniz aşırı nakliyat sistemlerinde, kömür oksidasyon için yeterli miktarda hava gelmesine maruz kalmaktadır. Oluşan kızışma olayları sonrasında da önemli derecede can ve mal kayıpları meydana gelmektedir. Bu kayıpların önlenmesi için mutlaka kömürün kendiliğinden yanmasına neden olan koşulların ve oksidasyon mekanizmasının tam olarak bilinmesi ve gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

5.2 Kömürün Oksitlenme Mekanizması

Birçok araştırmacı tarafından kömürün izotermal ve adyabatik şartlar altında fiziksel özelliklerine ek olarak kimyasal özellikleri de araştırılmış ve kendiliğinden yanma konusunda birçok teori ortaya sürülmüştür. Bu teorileri pirit teorisi, bakteri teorisi, fenol teorisi, kömür – oksijen kompleksi teorisi ve elektro – kimyasal teori olarak sıralamak mümkündür. Fakat bu teorilerin birçoğu gerek kömürün karışık yapısı gerekse de otooksidasyon mekanizmasının tam olarak anlaşılabilmesi yüzünden her koşulda uygulama alanı bulamamıştır. Genel olarak “kömür – oksijen kompleksi teorisi” kömürün kendiliğinden yanmasında kabul görmüştür [20].

Uygun çevre şartlarını yakalayan her kömürün kendiliğinden yanma riski bulunmaktadır. Ayrıca her kömür çeşidi, farklı bünyesel özellikler göstermeleri nedeniyle aynı çevre koşullarında olsalar dahi değişik tepkiler göstermektedir [21]. Kömürün kendiliğinden yanabilmesi için aşağıda belirtilen dört önemli koşulun birlikte gerçekleşmesi gerekmektedir [22]:

- 1- Normal sıcaklıklarda oksitlenebilen kömür kaynağı,
- 2- Oksitlenme için yeterli oksijen kaynağı,
- 3- Isının depolanabilme özelliği ve
- 4- Zaman.

Kömürün O₂ ile temasa geçtiğinde kömür oksidasyonunun ilk işareti, O₂ absorpsiyonu ile oluşan oksijen tüketimidir [23]. Kömür yapısı itibariyle çok düşük sıcaklıklarda olsa dahi, oksijen ile temasa geçtiğinde oksijeni adsorbe etmekte ve bu adsorpsiyon işlemi de 40 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ekzotermik bir reaksiyona dönüşerek ortam ısısını arttırmaktadır [1]. Eğer bu ısı ortamdan uzaklaştırılmazsa yaklaşık 70 °C'den sonra CO ve CO₂ gaz yoğunluğu ortamda fazlalaşmakta ve 125 °C'de de su buharı meydana gelmektedir. Artan ortam sıcaklığı kömürün tutuşma sıcaklığına ulaştığında ise kömür yanmaya başlamaktadır [10, 24].

Kömür oksidasyonunun ilk aşamasını; oksijenin kömüre fiziksel yollarla adsorplanması oluşturmaktadır. Bu fiziksel adsorpsiyon işleminin yarattığı kimyasal reaksiyon sonucunda peroksitler oluşmakta ve daha sonra bu peroksitler de parçalanarak ortama CO, CO₂ ve H₂O gazlarını vermektedir [25]. Geçmişte yapılmış olan araştırmalarda; fiziksel adsorpsiyonun -80 °C'de başladığı, 50 °C'den sonra etkisini kaybettiğini; oksijen ile meydana gelen kimyasal reaksiyonun ise -5 °C'de önem kazanıp 0 °C'nin üzerinde fiziksel adsorpsiyonun sonlandığı ortaya konulmuştur [26]. Bu aşamalar Çizelge 5.1'de verilmiştir [27].

Çizelge 5.1 Kömür – oksijen adsorpsiyonunun sıcaklığa bağlı olarak değişimi

Sıcaklık	-80 °C	-5 °C	40 °C
Adsorpsiyon	Fiziksel Adsorpsiyon	Kimyasal Adsorpsiyon	Kimyasal Reaksiyon

Oksidasyonun ikinci aşamasını oluşturan otooksidasyon aşamasında; meydana gelen peroksitlerdeki oksijen aktif hale gelmekte ve karboksil, karbonil ve eter grupları oluşmaktadır. Buraya kadar ki aşamaların hepsi düşük sıcaklıkta meydana gelmektedir. 100 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda; daha önceden oluşmuş olan bu gruplar bozularak yüksek hidrokarbonların, CO, CO₂, H₂O ve ısının açığa çıkmasına neden olmaktadır [28].

Genel olarak kömürün oksitlenme hızı; fiziksel ve kimyasal yapısı haricinde, kömürün adsorbe ederek veya katı difüzyonu sonucunda aldığı oksijen miktarı ile ilgilidir. İleri kömürleşmeye uğramış kömürler genç kömürlere nazaran daha az oksitlenmektedirler. Bunun için iki neden ortaya konulmaktadır. Birincisi; genç kömürlerin özgül yüzeylerinin yaşlı olan kömürlere nazaran daha büyük olması nedeniyle fazla miktarda oksijen ile temas etmektedir. İkinci neden olarak ise; kimyasal yapı açısından genç kömürlerin oksijene daha aktif olmaları olarak açıklanmaktadır [18].

5.3 Kömürün Kendiliğinden Yanmasına Tesir Eden Etmenler

Kömürün otooksidasyonun eş zamanlı ve üst üste gelen reaksiyonlardan oluşan karışık bir fiziko – kimyasal reaksiyon olması ve kendiliğinden yanma olayını etkileyen pek çok faktör olmasından dolayı kömürün kendiliğinden yanmasına etki eden nedenler kesin olarak aydınlatılamamıştır [10, 20]. Genel olarak kömürün kendiliğinden yanmasını etkileyen faktörler iç (endojen) ve dış (ekzojen) faktörler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [1, 9, 10].

Çizelge 5.2 Kömürün kendiliğinden yanmasını etkileyen faktörler [1, 29]

İç (endojen) faktörler		Dış (ekzojen) faktörler	
Kömür özellikleri	Jeolojik özellikler	Atmosferik koşullar	Madencilik ile ilgili faktörler
<ul style="list-style-type: none"> • Kömürleşme derecesi • Petrografik yapı • Nem içeriği • Mineral madde içeriği • Tane boyutu • Pirit içeriği • Fiziksel özellikler • Bakteriler 	<ul style="list-style-type: none"> • Damar kalınlığı • Damar eğimi • Göçme özelliği • Fay ve arızalar • Derinlik • Jeotermik gradyan 	<ul style="list-style-type: none"> • Sıcaklık • Nem • Oksijen derişimi 	<ul style="list-style-type: none"> • Üretim yöntemi • İlerleme hızı • Topuk koşulları • Tavan koşulları • Tabanyolu koşulları • Hava kaçakları • Kömür kayıpları • Çalışılmış sahalar • Dolgu • Havalandırma basıncı • Hava nemliliği

Burada kömürün damar ve jeolojik özellikleri değiştirilemediğinden dolayı iç faktörler; değiştirilebilme olanağı olan madencilik uygulamaları ise dış faktörler olarak adlandırılmaktadır [30].

Bhattacharyya bu üç faktörün aşağıda verilen fonksiyonunu kendiliğinden yanma sonrasında oluşacak toplam kaza riski olarak tanımlamıştır [31].

Toplam risk = f (kömür faktörleri, jeolojik faktörler, madencilik faktörleri)

5.3.1 Kömürün fiziksel, kimyasal ve petrografik özellikleri

5.3.1.1 Kömürleşme derecesi (rank)

Rank kelimesi, kömürü oluşturan orijinal bitki kalıntılarının özelliğine ve içerdiği organik maddenin oluşum süresince maruz kaldığı değişim miktarı olarak tanımlanmaktadır [32].

Genel olarak; düşük ranklı kömürler daha fazla reaktif nem, oksijen ve uçucu madde içerdiklerinden dolayı, yüksek ranklı kömürlere oranla kendiliğinden yanmaya daha yatkın kömürlerdir [20]. Ayrıca, düşük ranklı kömürlerde kömür yapısındaki gözeneklerin artması ve buna bağlı olarak da oksijen moleküllerinin daha rahat kömüre tutunması da bir etken olarak gösterilmektedir [33].

5.3.1.2 Nem (Rutubet) içeriği

Kömürün nem içeriği, oksijen konsantrasyonu ve kömür içerisindeki oksijen içeren fonksiyonel grupların yayılımı gibi faktörler, kendiliğinden yanmanın önemli nedenleri olarak gösterilebilmektedir [34].

Kömür bünyesindeki nem, kömürün yapısında kimyasal olarak bulunabildiği gibi, fiziko – kimyasal etkiler sonucunda adsorbe edilebilmekte ve hatta mekanik etkiler sonucunda da oluşabilmektedir. Bunun neticesinde de oluşan yüksek miktardaki nem oranı kömürün yüzey boşluklarını doldurmakta ve oksijen yayılım hızını azaltmaktadır [35, 36]. Bundan dolayı düşük

nem miktarının kızışmayı hızlandırdığı, yüksek nemin ise yavaşlattığını söylemek mümkün olmaktadır [32, 33].

5.3.1.3 Tane boyutu

Kömürün oksidasyonu yüzey alanına bağlı olarak değişebilen bir olaydır. Kömürün tane boyutu ne kadar küçük olursa havanın oksijeni ile temas eden yüzey alanı da o kadar büyük olmaktadır [10]. Bu durum kömürün oksidasyonunu arttırmaktadır.

Tane boyutu üzerinde yapılan çalışmalar, büyük parçalı kömürlerde oksitlenmenin yüzeyde oluştuğunu ve daha iç kesimlerine inmediğini göstermiştir [28, 32]. Bu yüzden özellikle yeraltı ocaklarında çıkan yangınlar genellikle kazı arının bulunduğu değil, daha çok kömürün kazılarak toz hale geldiği göçük alanları, silolarda, çatlamış topuklarda ya da jeolojik yönden arızalı bölgelerde meydana gelmektedir [1].

5.3.1.4 Mineral madde içeriği

Kömürün mineral içeriği, kendi organik yapısının dışında kalan elementlerin toplamı olarak ifade edilmektedir. Kömürün içerdiği mineraller genel olarak “bünye mineral maddesi” ve “dış mineral madde” olarak ikiye ayrılmaktadır. Bünye mineralleri kömürün inorganik yapısında bulunan ve kömürden uzaklaştırılamayan minerallerdir. Dış mineraller ise, kömürün oluşumundan sonra kömüre katılan, kömürden cevher zenginleştirme yöntemleriyle ayrılabilen minerallerdir. Majör mineraller olarak adlandırılan bu mineralleri; illit, kaolinit, montmorillonit, kalsit, siderit, dolomit, ankerit, kalsiyum, demir, magnezyum, pirit mineralleri ve kuvars olarak sıralamak mümkündür [10]. Kömürün yapısında bulunan bu mineraller kömür oksidasyonunu ya hızlandırıcı ya da geciktirici rol oynamaktadırlar [22]. Örnek olarak; kömürde bulunan alkaliler oksidasyonu hızlandırıcı bir etkiye sahipken, borat ve kalsiyum klorit geciktirici bir rol oynamaktadır [32]. Kömür bünyesinde bulunan kireç, soda ve demir gibi bileşenler de oksidasyonu hızlandırıcı etki gösterebilmektedirler [16]. Bunun dışında kömürdeki kül içeriğinin artması ile birlikte karbon miktarı ve kendiliğinden yanma riski azalmaktadır [37].

5.3.1.5 Petrografik yapı

Kömürün petrografik bileşiminin kendiliğinden yanmayı tam olarak nasıl etkilediği hakkında kesin bir görüş bulunmasa da Vitren ve Klaren'in Düren ve Füssen'e kıyasla daha hızlı oksitlendikleri, bununla birlikte Füssen'in diğerlerine göre daha geç bir sürede tutuştuğu belirtilmektedir [38, 39].

5.3.1.6 Pirit içeriği

Kömür yapısındaki pirit, temel olarak %12'yi aşan konsantrasyona sahip demir piritidir [40]. Pirit uzun bir süre kömürün kendiliğinden yanmasının ana etkeni olarak gösterilmiş fakat pirit içermeyen kömürlerin de tutuşmasından dolayı bu hipotez ikinci plana itilmiştir [9].

Pirit özellikle nemi yüksek bölgelerde kolayca oksitlenebilmektedir. Kömür yapısında fazla ve de ince taneli halde bulunursa da tepkimeyi hızlandırıcı rol oynamaktadır. Ayrıca pirit oksitlendikten sonra şişmekte ve bu şişmenin etkisiyle de kömürün parçalanıp dağılmasına, böylece yüzey alanının artmasına neden olmaktadır [41, 42].

5.3.1.7 Bakteriler

Bakteriyel hareketlerin kendiliğinden yanmadaki etkisi tam olarak açıklanmasa da; kuru ot yığınlarının ve ağaçların kendiliğinden yanmasının ana nedeninin bu hareketler olduğu bilinmektedir [36].

Haldane ve Makgill tarafından yapılan araştırmalarda, bakterilerin varlığının kömürün sıcaklığını arttırdığı belirtilmiştir [43]. Aynı şekilde Graham tarafından yapılan bir araştırmada; 100 °C'de ısıtılan kömür ile yine aynı kömür üzerinden alınan ısıtılmamış kömür numunesinin aynı oksidasyon eğrisini gösterdiği saptanmıştır. Bakterilerin 100 °C'de yaşayamayacağı düşünülürse; bakterilerin kömür oksidasyonuna herhangi bir şekilde etkisinin olmayacağı Graham tarafından ispatlanmıştır [44].

5.3.1.8 Fiziksel özellikler

Kömürün fiziksel özellikleri olarak, yoğunluğu, gözenekliliği, adsorpsiyon özelliği, elastik ve plastik özelliği, kırılabilirliği, sertliği, öğütülebilirliği, özgül yüzeyi, optik, elektrik ve termik özelliklerini saymak mümkündür. Bu özelliklerin hepsi, kömürün taşınması, depolanması, hazırlanması gibi alanlarda çok önemli parametrelerdir.

Özellikle kömürün sertliği ufalanabilme özelliğinden dolayı yüzey oksidasyonun da önemli bir parametre olmaktadır [22].

Bunun dışında kömürün ısı transferi oranı da ısı iletkenliği ile bağlantılı olmaktadır. Düşük ısı iletkenliğine sahip olan kömürlerin kendiliğinden yanma riskleri daha yüksek olduğu belirtilmiştir [45].

Ayrıca kömürün elektriksel yalıtkanlığının da kendiliğinden yanmayı etkilediği ortaya konmuştur. Buna göre; kömürün elektriksel yalıtkanlığının artması sonucunda kendiliğinden yanma riski de doğru orantılı olarak artmaktadır [15, 46].

5.3.1.9 Uçucu madde içeriği

Kömürler üzerinde yapılan bazı araştırmalarda, orta ve yüksek oranda uçucu madde içeren kömürlerin düşük uçuculu kömürlere oranla daha hızlı oksitlendikleri ve yüksek uçucu madde içeren kömürlerin orta uçucu içeren kömürlere oranla kendiliğinden yanmaya daha yatkın oldukları ortaya konmuştur [20].

5.3.1.10 Metan içeriği

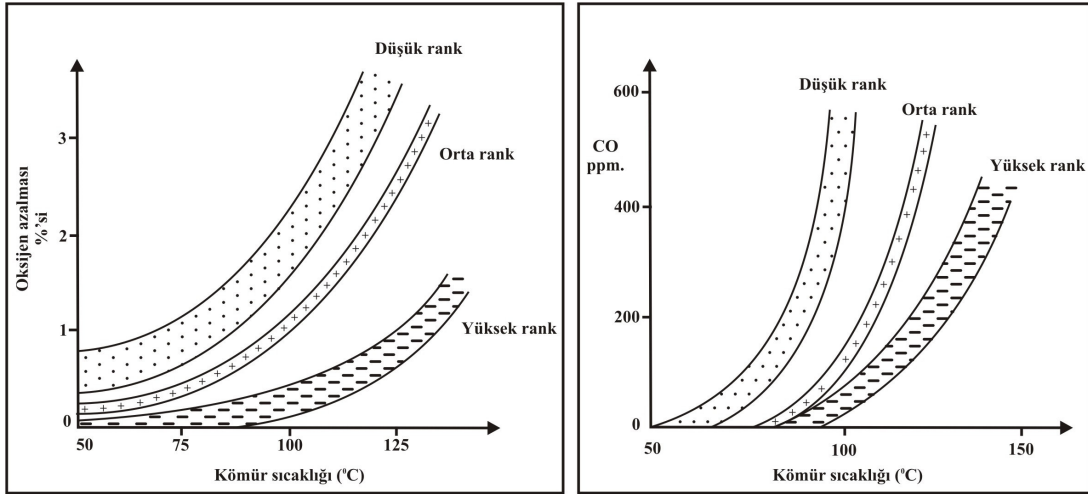
Kömürdeki metan konsantrasyonu mikro ve makro gözeneklerde durağan bir atmosfer ortamı yaratmakta ve özellikle yüksek gaz içeren kömürlerde düşük sıcaklıkta oksidasyonu yavaşlatmaktadır [20]. Kömürün yapısındaki metan içeriğinin kendiliğinden yanma sonucunda oluşabilecek ocak yangınlarını önlemede en iyi gösterge olacağı vurgulanmaktadır [47]. Metan içeriği 5 m³/t'dan daha az olan kömürlerin oksidasyon ve buna bağlı olarak ta kendiliğinden

yanmaya yatkınlıklarının, 8 m³/t ve üzeri metan içeren kömürlere oranla daha yüksek olduğu tespit edilmiştir [20].

5.3.1.11 Kömür sıcaklığı

Kömürün kendiliğinden yanmasını etkileyen ana etmenlerden birisi olarak kömürün sıcaklığı gösterilmektedir. Oksidasyon oranı her 10 °C’de iki kat artmaktadır [20].

Bu konuda incelemeler yapan Chamberlain, oksidasyon işleminin kritik sıcaklık adı verilen değere ulaşana kadar yavaş bir şekilde geliştiğini, bu değerden sonra gaz artış hızının yükseldiğini belirlemiştir. Bu kritik sıcaklık değeri, kömürün rankı ile bağlantılı olup her kömürde farklı bir değerde olabilmektedir. Genel olarak bu sıcaklığın değerinin 30 – 70 °C arasında değiştiği ifade edilmektedir [48]. Şekil 5.1’de sıcaklık artışıyla beraber oksijen azalması ve CO değişimi gösterilmektedir [49].



Şekil 5.1 Sıcaklık artışına bağlı olarak oksijen azalması ve CO derişimi

5.3.2 Jeolojik özellikler

5.3.2.1 Damar kalınlığı

Bir kömür damarının yangın riski sadece bünyesindeki özelliklere değil, aynı zamanda kömür damarının kalınlığına ve eğimine de bağlıdır. Damar kalınlığı 5 m'den daha büyük kalın damar madenciliğinde, özellikle eğer tek dilimli çalışılıyorsa yangın riski daha yüksek olmaktadır. Bundan dolayı kazı esnasında yüksek kömür kayıpları meydana gelmektedir [50].

Genel olarak kömür damarının kalınlığı arttıkça kömürün ısı iletkenliği azalmakta ve bunun sonucunda kömürdeki ısı birikimi fazlalaşmaktadır. Bazı durumlarda, tavan veya taban da kazılamadan bırakılan kömürler kızışmaya sebebiyet verebilmekte ve bu kızışan bölgelerin tespit edilebilmesi güçleşmektedir. Genellikle kalın damarların kazılması için uygulanan blok göçertmeli sistem sonrasında göçükte üretilmeden bırakılan kırık kömürler de kendiliğinden kızışmaya ortam hazırlamaktadır [51, 52, 53].

Kalın damarlarda katman kontrolü amacıyla tavan ve tabanda kömür bırakılabilmektedir. Üretimi tamamlanmış olan alanlarda, tavanın göçmesi veya tabanın kabarması gibi olaylar kendiliğinden yanmaya sebebiyet verebilmektedir. Ayrıca, yüzeye yakın üretim sahalarında hava kaçaklarının önlenememesi kendiliğinden yanma riskini arttırmaktadır [54].

5.3.2.2 Göçme özelliği

Kömür damarının üstündeki tabakaların çabuk ya da geç göçmesi kendiliğinden yanmayı etkileyen bir durumdur. Kendini tutamayan kayaçları tutmak amacıyla tavanda bırakılan kömür tabakası kendiliğinden yanmaya aktif bir ortam hazırlamaktadır [1].

5.3.2.3 Faylar ve çatlaklar

Kömür damarı ya da yan kayaçlarda bulunan fay ve çatlaklar sonrasında meydana gelen zonlar, kömürün hava ile temasını sağlayabilecek serbest bölgelerdir. Bu bölgelerde bulunan kömür tozları kolaylıkla hava ile temas edip oksidasyona neden olabilmektedir. Ayrıca bu

jeolojik arızalar aynı zamanda üretim hızını da düşürmekte ve kömürün hava ile temas etme zamanını fazlalaştırmaktadır. Bu da kendiliğinden yanma sürecini hızlandırmaktadır [1].

5.3.2.4 Damar eğimi

Damar eğiminin artması sonucunda kendiliğinden yanmanın arttığı gözlemlenmiştir. Gerek artan eğim sonrasında havanın sıcaklığı, yoğunluğu ve basıncında meydana gelen değişimler sonucunda oluşan kaçaklar gerekse de eğimi fazla olan kömür damarlarındaki üretim kayıpları kendiliğinden yanmayı tetiklemektedir [53]. Bunun dışında artan eğimle birlikte kömür damarı üstüne binen yüklerde artmakta, bu da kömürün kırılmasına ve kömür yüzeyinde serbest yüzeylerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu boşluklara sızan hava da kendiliğinden yanmaya neden olabilmektedir [55].

5.3.2.5 Derinlik

Derinliğin artmasıyla birlikte kömür tabakasının üstüne gelen kayaç basınçları artmaktadır. Artan bu basınç kömür tabakalarının kırılmasına ve kömür yüzey alanının büyüyerek kendiliğinden yanmasına ortam teşkil etmektedir. Bunun haricinde kömürün ve ortamın sıcaklığı da derinlere inildikçe artmaktadır [1].

5.3.2.6 Jeotermal gradyan

Jeotermal gradyan; sıcaklığın 1 °C artması için gerekli olan derinlik olarak tanımlanmaktadır [56]. Genel olarak jeotermal gradyan ile kendiliğinden yanma arasında direkt bir ilişkinin olmadığı söylenmekle beraber; gradyanı düşük olan çalışma bölgelerinde yüksek jeotermal gradyandan dolayı tabaka sıcaklıklarının artabileceği de vurgulanmaktadır [53].

5.3.3 Atmosferik koşullar

5.3.3.1 Ortam sıcaklığı

Kendiliğinden yanmada ortam sıcaklığının önemli bir etkisi olduğu kabul görmektedir. Özellikle çalışılan panolarda ortam sıcaklığı; jeotermal gradyan, sıcak su kaynakları ve komşu

yangın sahaları yüzünden artmaktadır [57]. Genel olarak bakıldığında 30 – 100 °C arasında, her 10 °C'lik sıcaklık artışı sonunda, kömürün oksidasyon hızı ortalama 2.2 kat artmıştır [58].

5.3.3.2 Havadaki nem miktarı

Havadaki nemin kısmi basıncının yüksek olması durumunda, kömür havadan nem almakta ve bunun sonucunda ortaya çıkan ısı oksitlenmeyi hızlandırmaktadır [59]. Genellikle rutubeti fazla olan ocaklarda yangınların daha sık görülmesi ve stok yığınlarında meydana gelen kızıışmanın yağmurlu havalardan sonra görülmesi bu teoriyi desteklemektedir [60].

5.3.3.3 Oksijen derişimi

Farklı kömürler üzerinde 100 °C'nin üzerinde yapılan deneyler, oksijen derişiminin %1 – 20 arasında değişen oranlarda oksijen adsorplama yeteneğinin oksijen derişimin 0.66 kuvveti ile doğru orantılı olduğunu gösterirken; bu oranın %20'lerin üzerine çıkması durumunda oksidasyon hızı azalmakta olduğunu belirtmektedir [29, 38].

5.3.4 Madencilik ile ilgili faktörler

5.3.4.1 Üretim yöntemi

Yeraltı kömür ocaklarında uygulanan üretim yönteminin kendiliğinden yanma ile doğrudan ilişkisinin bulunması, bu ocaklarda uygulanacak üretim yönteminin kömürün kızıışmaya yatkınlığı tespit edilerek proje aşamasında belirlenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır [61].

Yeraltı üretim yöntemlerinden dönümlü uzunayak yöntemi taban yollarının sağlam kömür damarı içerisinde kalması, ayağın hızlı bir şekilde ilerlemesi ve bunun sonucunda da kızıışma için gerekli olan zaman ve hava gelirinin yaratılmaması gibi nedenlerden dolayı, kendiliğinden yanmaya yatkın olan damarlarda avantaj sağlayabilen bir yöntem olabilmektedir [3]. Fakat göçüğe karışan kömür miktarının belirli ölçülerde olmasına dikkat edilmesi gerekmektedir [1].

İlerletimli uzunayak yönteminde ayak arkasında kalan göçük bölgesi sürekli olarak hava ile temas halinde olduğu için kızışma için uygun şartlar bu üretim yönteminde sağlanabilmektedir [1].

Oda – topuk yöntemi ile kazı yapan yeraltı ocaklarında bırakılan topukların, üst kayaç basıncı altında ezilmesi sonucunda kömür yapısında çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar da kömürün hava ile oksidasyona girmesini kolaylaştırmaktadır. Bu yüzden bu üretim yönteminin uygulanacağı ocaklarda topuk boyutunun dikkatli bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir [52]. Bunun dışında eğer topuklarda herhangi bir kırık veya çatlak meydana gelmiş ise; bu boşlukların dolgu malzemesi ile doldurulması gerekmektedir. Hidrolik dolgunun yangın riskini azaltmada pnömatik dolgudan daha etkili olduğu belirtilmektedir [41].

5.3.4.2 İlerleme hızı

Kendiliğinden yanma zamana bağlı olarak artabilen bir oksidasyon reaksiyonu olduğundan, kazı hızının mümkün olduğunca yüksek tutulması kendiliğinden yanmanın o derece riskinin azalmasına neden olmaktadır. Bu yüzden kazı hızının kömürün yanmadan üretilmesini sağlayacak şekilde optimum seçilmesi gerekmektedir [1].

5.3.4.3 Kömür kayıpları

Kömürün kendiliğinden yanmasının gelişebilmesi için, oksidasyon sonucu oluşan ısının birikmesi gerekmektedir. Genel olarak bu ısı birikimi de yeraltı ocaklarında oluşan göçüklerde kendini göstermektedir. Göçük altında kalan, üretim kaybı olarak nitelendirilen kömürler de tane boyutu küçük olan kömürler olduğundan dolayı kendiliğinden yanmanın oluşmasındaki ana etmen olarak üretim kayıpları gösterilmektedir. Göçükteki ısı birikimini ortadan kaldırabilecek derecede bir hava akımı olmadığından, damarın şartlar elverdiği sürece tamamının kazılabileceği üretim yöntemleri seçilmelidir [1, 22]. Çünkü genel olarak ocak yangınlarının çıktığı ocakların tek dilimle kazanılamayan ocaklar olduğu tespit edilmiştir [53].

5.3.4.4 Topuk koşulları

Yeraltı kömür madenciliğinde optimal topuk boyutlarının belirlenmesi kendiliğinden yanmanın önlenmesinde büyük bir etkidir. Topuk boyutu; kömürün sertlik, kazı derinliği ve

çevredeki diğer işletmelerin etkisine bağlıdır [51]. Çatlaklı yapıya sahip olan topukların hava ile teması daha kolay olmaktadır. Çatlaklar içerisinde bulunan kömür tozlarının yüzey alanlarının küçük olmasından dolayı oksijen adsorplama yetenekleri daha fazla olmakta ve bunun sonucunda da kendiliğinden yanma riski büyük oranda artmaktadır.

5.3.4.5 Hava kaçakları

Genel olarak hava kaçakları, ocak havalandırması sonucu oluşan basınç farklarından meydana gelmektedir. Meydana gelen bu hava kaçakları da göçük bölgesine, kömür damarındaki çatlaklara veya eskiden çalışılmış olan ocaklara nüfuz ettiğinde, özellikle toz halinde bulunan kömürlerin kendiliğinden yanmasına neden olabilmektedir [10].

5.3.4.6 Çalışılmış sahalar

Daha önceden üretimi yapılmış olan sahalar kendiliğinden yanma için büyük tehlike arz etmektedir. Bu üretim sahaları civarındaki panoların ortam sıcaklığını arttırabilmekte ve kaçak yollarından sızan gazlar ve sıcak hava, panodaki oksidasyonu hızlandırabilmektedir [1].

5.3.4.7 Taban yolu

Uzunayak yönteminin uygulandığı ocaklara kızışmanın ana kaynağı olarak gösterilen taban yollarında, ateşleme sonrasında kömür damarında meydana gelen çatlaklar hava ile temas ederek kızışmaya neden olmaktadır. Bu kızışma tehlikesi taban yollarının göçük tarafına bakan bölgelerine yapılacak şerit dolgu ile minimuma indirilebilir [1].

5.3.4.8 Havalandırma şartları

Hem havalandırma metodu hem de derecesi kendiliğinden yanmada büyük bir rol oynamaktadır. Çok az hava oksidasyonun oluşmasına izin vermemektedir. Çok fazla hava ise; havanın oksidasyonu sonucu olarak üretilen ısının birikmesine izin vermemektedir. Bu nedenle kendiliğinden yanmaya yetecek havanın optimum değerinin, belirli şartlar (hava basıncı, yüzey kırıklılığı vb.) ve hava kaçak alanlarının tespit edilmesi suretiyle belirlenmesi gerekmektedir [50].

Havalandırma işlemleri sırasında oluşan yüksek basınç farkları, gerek topuk gerekse de damarın içinde veya göçük bölgesinde hava kaçaklarına neden olmaktadır [60]. Genel olarak bu basınç farkları, vantilatörün değiştirildiği ya da ek olarak başka havalandırma ünitelerinin eklendiği kısımlarda ve hava kapıları ya da regülatör gibi kesit daralmalarına neden olan bölgelerde görülmektedir [1, 39, 62].

5.4 Kendiliğinden Yanma Belirtileri

Kömürün oksidasyonu sonucunda oluşacak kızışma olaylarının erken tespit edilmesi, kendiliğinden yanma sonucunda meydana gelebilecek zararları en aza indirmede oldukça büyük bir katkı sağlayacaktır [10]. Kendiliğinden yanmanın maden sahasında göstereceği belirtiler fiziksel ve kimyasal belirtiler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [22].

Genel olarak kızışmanın fiziksel belirtileri altı grupta toplanmaktadır [1, 50]:

- Kömür ve çevre kayaçlarda görülen terleme,
- Duman,
- Ses,
- Koku,
- Pus ve
- Sıcaklık artışıdır.

5.4.1 Kızışmanın fiziksel belirtileri

5.4.1.1 Kömür ve çevre kayaçlarda görülen terleme

Oksidasyon olayı sonucunda oluşan kömür sıcaklığının etkisiyle kömürde su buharı oluşmaktadır. Oluşan su buharının ortamdaki nem oranını aşmasıyla birlikte, gerek kömür üzerinde gerekse de yan kayaç ve tahkimatlarda terleme ve su buharı gözlemlenebilmektedir [51]. Genel olarak kuru ya da nem içeriği %5'ten küçük olan kömürlerin bulunduğu ocaklarda terleme gözükmesi, ciddi bir kızışma belirtisi olarak gösterilebilmektedir [63].

5.4.1.2 Duman

Duman sadece yangının başladığı, kömürün tutuşma sıcaklığını aştığı anda görülebilen bir olaydır [50]. Dumanın görüldüğü andan itibaren, çalışılan bölgenin tahliye edilmesi gerekmektedir [1].

5.4.1.3 Ses

Bazen kömür tabakasında, dolgularda ve yan kayaçlarda duyulabilen çatırdama sesleri yangın başlangıcını işaret edebilmektedir. Hatta sıcaklığın artmasıyla yeraltındaki hamamböceği gibi haşaratların çıkardığı sesler de yangın belirtisi olarak dikkate alınmalıdır [50].

5.4.1.4 Koku

Kızışma sonucu ortaya çıkan birçok yangın gazı ve ağır hidrokarbonların kendilerine özgü kokuları sayesinde kendiliğinden yanma zaman geçmeden tespit edilebilmektedir. Genellikle bu gazlar petrolümsü ve egzoz gazları şeklinde kokmaktadır [1].

Son yıllarda; Japon araştırmacılar Higuchi ve Ohga tarafından geliştirilen bir çeşit koku sensörü sayesinde de ocak gazlarının yoğunluğuna göre kendiliğinden yanma ve ocak yangınlarının erken tespiti üzerinde çalışmalar yapılmaktadır [64, 65].

5.4.1.5 Sıcaklık artışı

Kömürdeki oksidasyon olayı ekzotermik bir reaksiyon olduğundan dolayı, reaksiyonun ileri aşamalarında kömür sıcaklığı gitgide artmaktadır. Artan bu sıcaklık ortam sıcaklığının da artmasına neden olmaktadır. Açık yüzeylerdeki ve pano dönüş havasındaki sıcaklık artışı kızışmanın en önemli göstergelerinden birisidir [1].

5.4.2 Kızışmanın kimyasal belirtileri

Kademeli bir işlem olan kömür oksidasyonu sonrasında, CO, CO₂, CH₄, C₂H₆ ve H₂O gibi gaz ürünleri açığa çıkmaktadır. Bu gazların niteliği oksidasyonun aşamasını göstermektedir [20].

30 – 40 °C sıcaklıklarda bile ölçülebilmekte olan CO'nun sıcaklıkla logaritmik olarak artması nedeniyle yangın olayının en belirgin göstergesi olarak kabul edilmektedir. Fakat ocak içerisindeki dizel lokomotifler ve lağım atılması sonucunda oluşan gaz yayılımı ve de ocak içerisine verilen hava oranın sürekli olarak değişmesinden dolayı CO derişiminde oynamalar olabilmektedir [10].

Yeraltında gaz ölçümleri gaz dedektörleri sayesinde yapılmaktadır. Bu ölçümlerin doğru hassasiyette olması ve en iyi cihazların kullanılması ocak yangını olasılıklarına karşı oldukça büyük önem taşımaktadır.

Kendiliğinden yanmanın önceden kestirilmesini sağlayan dedektör gazlarının aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir [22]:

- Oksidasyonun başladığı en erken noktada ölçülebilecek yeterlilikte bir oran içermesi,
- Isınma boyunca duraylı bir eğilim göstermesi,
- Diğer gazlara dönüşmemesi,
- Herhangi bir şekilde bir patlatma kaynağından ya da dizel ekipmandan gelmiyor olması ve
- Erken uyarı sistemleriyle birlikte rahat bir şekilde kullanılması gerekmektedir.

5.5 Kendiliğinden Yanma ile Mücadele Yöntemleri

Kendiliğinden yanma riskini tahmin etmek ve ocak yangınlarına karşı önlem almak için kullanılabilir teknikler üç ana grupta toplanmaktadır [1]:

1. Planlama döneminde yapılabilecek çalışmalar,
2. Üretim çalışmaları sırasında alınabilecek önlemler ve
3. Kızıışma meydana geldiğinde uygulanabilecek mücadele yöntemleridir.

5.5.1 Planlama döneminde yapılabilecek çalışmalar

Herhangi bir damarda üretime geçilmeden önce, kömür damarının fiziksel, kimyasal ve petrografik analizleri yapılarak damarın kendiliğinden yanmaya karşı yatkınlığı saptanabilmektedir. Daha önce bu damarın üretilmesi için açılmış olan panolardaki deneyimler ilerde oluşabilecek bir ocak yangınına karşı gerekli önlemlerin alınması konusunda büyük fayda sağlayabilir. Üretimi yapılacak olan damarda eğer uzunayak yöntemi kullanılacaksa; üretim geri dönümlü yapılarak hava kaçaklarının alt seviyelere indirilmesi gerçekleştirilebilir. Bunun dışında üretim sonrasında oluşmuş boşlukların dolgu ile kapatılması, bu boşluklara girebilecek olan havanın geçişini büyük bir oranda minimize edecektir. Ayak ilerleme hızının yüksek, uzunluğunun az seçilmesi kömürün tutuşması için gerekli hava ve zamanı bulmasını engelleyebilecektir. Mekanize kazının uygulandığı ocaklarda kömürün çok ince boyutlara indirgenmesini önleyebilecek bir matkap ve makine teçhizat düzenin belirlenmesi gerekmektedir. Seçilecek üretim yönteminde mutlaka kömür kayıpları göz önünde bulundurulmalı; kayıp oranının fazla olduğu göçertme yöntemleri çok tercih edilmemelidir. Kendiliğinden yanmanın en önemli göstergelerinden biri yangın gazlarının tespiti olduğundan; ocak havasının düzenli bir şekilde kontrol edilmesi ve bu kontrol için gerekli olan ekipman ve donanımların mutlaka temin edilmesi gereklidir. Özellikle havalandırma tüm madencilik faaliyetlerinde büyük önem arz etmektedir. Yangın riskini ortadan kaldırmak için mutlaka havalandırma basınç farklarının minimuma indirilmesi gerekmektedir. Mümkün olduğunca kesit daralmalarına neden olan hava kapılarının ve regülatörlerin az kullanılmasına dikkat edilmelidir [1, 36, 50]. Hava akış hızının 0.1 – 0.9 m/dak ve oksijen içeriğinin %17'den fazla olduğu durumlar, havalandırma için en riskli periyodu oluşturmaktadır [54].

5.5.2 Üretim sırasında alınabilecek önlemler

Üretim çalışmalarının mümkün olduğunca hızlı yürütülmesi, kendiliğinden yanma sonucu oluşabilecek ocak yangın risklerini en aza indirebilmektedir.

Kazı arınının hızlı bir şekilde üretilmesi, ayak arkasında kalan özellikle ahşap tahkimatların zaman geçmeden sökülüp ayağın ilerletilmesi gerekmektedir. Genel olarak faylı bölgeler yeraltı madenciliğinde üretimin aksamasına ve içerdikleri düzensizlikler nedeniyle kömürün kızışmasına neden olan jeolojik bozukluklardır. Bu bölgelerde yapılacak olan üretimin titiz ve hızlı olması, kendiliğinden yanma etkinliğini azaltacaktır. Üretimi yapılan damarın tamamı alınmaya çalışılmalı, göçük içerisinde herhangi bir şekilde kömür ve tozlarının birikmesi engellenmelidir. Dönümlü çalışan ayaklarda; ayak arkasının doldurulması, göçük içerisindeki hava kaçaklarını engellemesi açısından dikkat edilmesi gereken bir husustur. Bunun dışında yeraltındaki gaz ölçümlerinin düzenli ve titiz bir şekilde yapılması gerekmektedir [1].

5.5.3 Kızışma meydana geldiğinde uygulanabilecek mücadele yöntemleri

Kızışma meydana geldiğinde uygulanabilecek en iyi yöntem; kömürün hava ile temasını keserek kızışmanın daha ileri aşamalara gitmesini önlemektir. Bunu gerçekleştirmek için aşağıda açıklanan yöntem ve tekniklerin uygulanması başarı sağlayacaktır [10].

5.5.3.1 Yanan kesimin izole edilmesi

Bu yöntemin temelini; taban yollarının göçük tarafındaki bölümlerinin ya da galeri yüzeylerinin sızdırmazlık özelliğine sahip çimento, jips ve köpük gibi maddelerle sıvanması oluşturmaktadır [10].

Ek olarak; kızışma tehlikesi görülebilecek yerlere 50 mm çapında, 10 m uzunluğundaki sondajlar vasıtasıyla, köpük, bentonit veya taş tozu enjekte edilebilmektedir [1, 66].

5.5.3.2 Yangın sahasının su ile doldurulması

Eğer çalışılan bölgede çok önemli makine veya teçhizat yoksa kızışan bölge su ile doldurulabilir. Burada dikkat edilecek husus; suyun yangın bölgesinin dışına çıkmamasıdır. Yöntemin dezavantajı; yangın bölgesinde su gazlarının ortaya çıkması ve yangın tehlikesi biten bölgedeki aşırı nemin tekrar kızışmaya neden olabilmesidir [1, 66, 67].

5.5.3.3 Yanan bölgenin kazılarak uzaklaştırılması

Yapılan gaz ölçümleri ve kızılötesi cihazların yardımıyla kızışan bölge tespit edilerek kazılmakta; kazıldıktan sonra ortaya çıkan yüzeyler sızdırmazlığı yüksek olan maddelerle sıvanmaktadır. Kazılan kömür ise ya suyla ya da köpük ile soğutulup üzeri kaplanarak en kısa zamanda dışarı çıkarılmalıdır [36].

5.5.3.4 İnert gazların kullanılması

Bu yöntem; azot, karbondioksit veya yanma gazlarının kızışan bölgeye enjekte edilerek oksijen derişiminin düşürülmesi esasına dayanır. Bu enjekte işlemi hacimsel ve bölgesel inertizasyon olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır.

Hacimsel inertizasyonda; yangın bölgesi baraj ile kapatılmakta ve bu baraj içerisine inert gazlar enjekte edilmektedir. Klasik barajlama tekniğine göre üstün olan bu yöntemde barajın sızdırmazlığının iyi olması dikkat edilmesi gereken bir husustur.

Bölgesel inertizasyonda ise; yangın merkezine hava akımı yerine inert gazlar pompalanarak kızışma önlenmeye çalışılır [68, 69].

6. KENDİLİĞİNDEN YANMANIN TESPİTİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Kömürlerin kendiliğinden yanmaya karşı yatkinliklarını saptamak amacıyla kullanılan yöntemleri iki grupta incelemek mümkündür [22, 70]:

- Laboratuar teknikleri
- Pratik metodlar

6.1 Laboratuar Teknikleri

Laboratuar ölçekli yapılan bu çalışmalarda esas; kömür numunesi üzerinden hava akımı geçirmek ve bunun sonucunda kömür üzerinde meydana gelen değişimleri gözlemeye dayanmaktadır. Bu yöntemlerin faydalı yönü; ekonomik, pratik ve kısa süreli olmalarıdır. Fakat yapılan deneyler her zaman ortam koşullarını yansıtamadığından sonuçlar üzerinde kesin bir yargıya varmak yanlış olmaktadır [3].

6.1.1 Statik izotermal yöntem (Oksijen tüketimi yöntemi)

Bu yöntemde bir yağ banyosu içerisine 100 gr kömür örneği konulur ve bu banyonun sıcaklığı saat başlarında 25 °C artırılır. 8 saatlik süre boyunca kömürün sıcaklığı 200 °C ve üstüne çıkartılır. Deney süresince kömürün ve de yağ banyosunun sıcaklıkları düzenli olarak kaydedilir ve ortaya çıkan gazları analiz etmek için bir gaz kromatografı kullanılır. Sonuçta kendiliğinden yanma yatkinliğini belirlemek amacıyla bir “S” indeksi hesaplanır.

$$S = \frac{h_1 + h_2}{2} (x_1) + \frac{h_2 - h_3}{2} (x_2)$$

Burada;

S : kendiliğinden yanma yatkinlik indeksi

h_1 : 125 °C’ deki oksijen tüketimi

h_2 : 150 °C’ deki oksijen tüketimi

h_3 : 175 °C’ deki oksijen tüketimi

x_1 : 125 – 150 °C arasındaki CO₂ artışı

x_2 : 150 – 175 °C arasındaki CO₂ artışı

S indeksi değerleri, 13'den 47'ye kadar numaralandırılmış ve 30'dan büyük değerlerin yanma riski bakımından tehlikeli olduğu saptanmıştır [71].

6.1.2 Dinamik oksidasyon yöntemi

Bu yöntem sabit sıcaklık altında kömürün oksidasyonu sonucunda açığa çıkan gazların değişimini belirlemek için kullanılmaktadır. 100 gr'lık kömür örneğinin bulunduğu reaksiyon tüpü sabit sıcaklığa sahip bir yağ banyosu içine batırılmaktadır. Kömür örneğinin sıcaklığını ortam sıcaklığı ile aynı seviyede tutmak için bir sıcaklık kontrol cihazı kullanılır. Kullanılan termociftler sayesinde numunenin sıcaklığı ölçülmektedir. Daha önceden ısıtılmış olan hava dakikada 15 ml'lik akış hızıyla örnek üzerinden geçirilmektedir. Yaklaşık bir saat sonra CO ve CO₂ gazlarının değişimi izlenir ve bu dakikadan itibaren gazların sabit bir değer aldığı ve değişim göstermediği gözlemlenir [72].

6.1.3 Kimyasal yöntem

Bu yöntem, oksidasyondan dolayı azalmış olan kömürün tutuşma noktasına dayanan bir yöntemdir. Tutuşma sıcaklığından yatkinlik indeksi ve oksidasyon şiddeti tespit edilir. Buna göre:

$$\text{Oksidasyon derecesi (\%)} = \frac{T_R - T}{T_R - T_0} * 100$$

$$\text{Yatkinlik indeksi } (\Delta T_R) = T_R - T_0$$

Burada;

T : Kömürün ocaktan geldiği parlama sıcaklığı (°C)

T_0 : Tamamen oksitlenmiş durum sıcaklığı (°C)

T_R : Tamamen indirgenmiş durum sıcaklığı (°C)

Bu denklemlerden yararlanılarak; ΔT_R değerinin 10'dan küçük olması durumunda kendiliğinden yanma riskinin olmadığı, bu değer 10 ile 25 arasında olması durumunda kömürün kendiliğinden yanmaya az yatkınlığı olduğu, 25'ten büyük olması durumunda ise çok yatkın olduğu şeklinde bir sınıflama yapılmıştır [20].

6.1.4 Adyabatik oksidasyon yöntemi

Bu yöntemde 100 gr'lık kömür örneği, dış ortam ile meydana gelebilecek ısı alışverişini engellemek amacıyla hava sızdırmaz bir kap içerisine konmakta ve bu kapta ısıtılmalı yağ banyosuna yatırılmaktadır. Bu kap içerisinden ön kurutması yapılmış hava 15 ml/dak hızla geçirilmekte ve zaman – sıcaklık ilişkileri eğrilerle ifade edilmektedir. Numune ve yağ banyosu arasındaki sıcaklık farkı termociftler yardımıyla ölçülmektedir. 15 dakika aralıklarla gaz örnekleri alınarak analiz yapılmaktadır [57, 73].

Adyabatik yöntem çok eski bir metot olup, yapılan çalışmalarda genel olarak kömürün kuluçka periyotlarının tespiti ve artan sıcaklıkla meydana gelen değişimler incelenmiştir. Kuluçka periyodunun tespitinde; kömür örneği kalorimetrenin içinde daha önceden belirlenmiş olan bir sıcaklığa ısıtılır. Kalorimetre bu sıcaklıkta sabit tutularak örneğin içinden hava geçirilir. Artan numune sıcaklığı ile kalorimetrenin sıcaklığındaki yükselme karşılaştırılır. Artan sıcaklık yöntemi ise; “Kesişim noktası metodu” ve “Diferansiyel Termal Analiz (DTA)” yöntemine benzer bir yöntemdir. Kömür örneği, fırında doğrusal olarak ısıtılmakta ve kömürün sıcaklıkla olan değişimleri gözlenmektedir [74]. Kömürlerin adyabatik oksidasyon tekniğine göre yanma riski sınıflaması Çizelge 6.1’de verilmiştir [27].

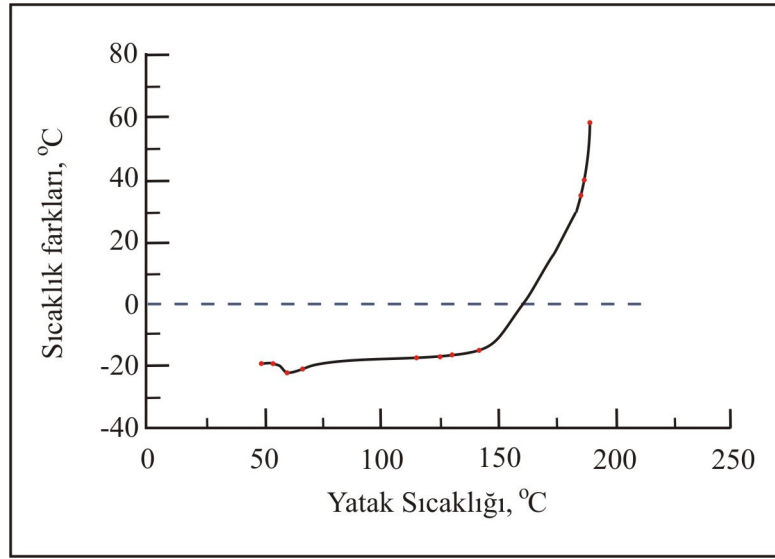
Çizelge 6.1 Adyabatik teste göre kömürlerin risk sınıflaması

Risk sınıflaması	Adyabatik oksidasyon test sonuçları		Risk oranı
	İlk sıcaklık değeri (°C/saat)	Toplam sıcaklık artışı (°C)	
Düşük risk	< 0.6	< 2.5	1
Orta risk	0.6 – 1.2	2.5 – 4.5	2
Yüksek risk	1.2 – 2.0	4.5 – 7.0	4
Çok yüksek risk	> 2.0	> 7.0	8

6.1.5 Diferansiyel termal analiz (DTA) yöntemi

Bu yöntemde, az miktardaki kömür örneği sabit bir ısınma oranında, nötr bir referans malzeme ile ısıtılarak, kömür ve referans malzeme arasındaki sıcaklık farkının (Δt), sıcaklığın bir fonksiyonu (T) olarak sürekli kaydedilmesine dayanmaktadır [50, 75].

Bu sıcaklık farkı değerinden yararlanılarak, test sıcaklığı değişimleri belirlenmektedir. Test sıcaklığı değişimleri vasıtasıyla da ekzotermik ve endotermik reaksiyon sıcaklıkları bulunmaktadır. Düşük sıcaklıkta yüksek tepe değerleri veren noktalar kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkın oldukları şeklinde yorumlanmaktadır [3]. Şekil 6.1'de tipik bir DTA eğrisi gösterilmiştir [54].



Şekil 6.1 Tipik bir DTA termogramı

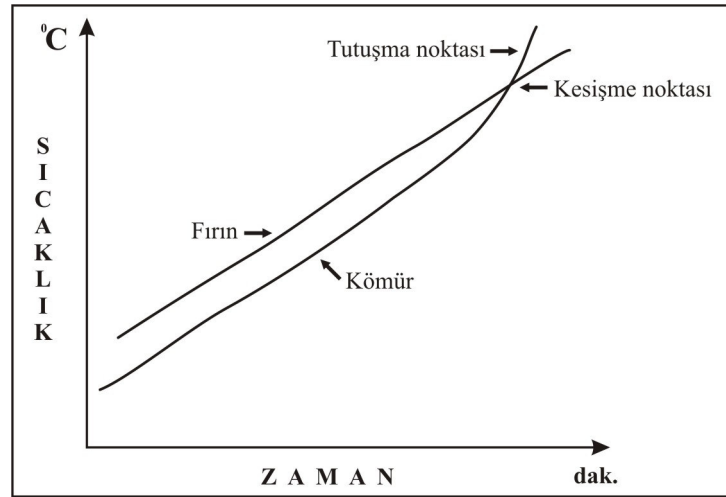
Hindistan kömürleri üzerinde yapılmış olan kendiliğinden yanma çalışmalarında, termogramlarda üç aşama gözlemlenmiştir. I. aşamada Δt değeri negatif bir değer almış yani kömürler endotermik bir nitelik göstermiştir. Bunun nedeni olarak kömür bünyesindeki nemin buharlaşması gösterilmektedir. II. aşamada ortam sıcaklığının gitgide artması sonucunda Δt değeri pozitif olmuştur. III. aşamada ise, termogramın ani artış gösterdiği tepe bölgesine

gelinmiştir. Bu aşamada meydana gelen aşırı eğimden; kömürün kendiliğinden yanmaya yatkın olduğu sonucu çıkartılmıştır [54].

6.1.6 Kesişim noktası metodu

Tutuşma sıcaklığı, yanabilir bir maddenin hava veya oksijen içeren bir ortam içinde yanabilmesi için gerekli olan en düşük sıcaklık olarak tanımlanmaktadır [27].

Deneyin esası, doğrusal olarak ısıtılan bir fırın içerisine yerleştirilmiş olan reaktör içindeki kömür numunesi üzerinden hava geçirilmesi ve zaman – sıcaklık ilişkilerinin izlenmesidir. Deney sırasında hem fırının hem de numunenin sıcaklıkları kaydedilmekte, numune sıcaklığının fırın sıcaklığını geçtiği ya da kestiği nokta “kesişim noktası” olarak adlandırılmaktadır [76]. Kendiliğinden yanmaya yatkınlığı yüksek olan kömürlerin kesişme noktası sıcaklıkları daha düşük olmaktadır [77]. Şekil 6.2’de tipik bir kesişim noktası grafiği gösterilmektedir [54].



Şekil 6.2 Kesişim noktası grafiği

Bu yöntemde kömürün kendiliğinden yanmaya olan yatkınlığını belirlemek amacıyla Feng ve ark. (1973) tarafından , “FCC (Feng, Chakravorty, Cochrane) indeksi” geliştirilmiştir. Bu indeksin geliştirildiği eşitlik aşağıda verilmektedir:

$$I_{(FCC)} = \frac{OSA}{\text{Tutuşma Sıcaklığı}} \times 1000$$

$I_{(FCC)}$ = Feng, Chakravorty, Cochrane indeksi, 1/dak

OSA = 110 – 220 °C arasındaki ortalama sıcaklık artışı, °C/dak

Ortalama sıcaklık artışı ise;

$$OSA = \frac{110 \text{ } ^\circ\text{C}}{t_2 - t_1}$$

Burada;

t_2 = Kömür numunesinin 220 °C'deki zamanı, dak

t_1 = Kömür numunesinin 110 °C'deki zamanı, dak

Bu indeksten de yararlanılarak kömürlerin kendiliğinden yanmaya olan yatkınlıkları belirlenmiştir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 FCC indeksine göre kendiliğinden yanmaya olan yatkınlık

Yatkınlık indeksi (FCC)	Kendiliğinden yanmaya yatkınlık
0 - 5	Düşük
5 - 10	Orta
> 10	Yüksek

Feng ve ark. (1973) tarafından yapılan kesişme noktası esaslı deneylerde; 100 gr'lık kömür numuneleri bir reaktör içine konarak, sıcaklığı 0.5 °C/dak hızla doğrusal olarak artan bir fırına yerleştirilir. Kömür numuneleri üzerinden aynı zamanda 40 ml/dak hava geçirilerek kömürün okside olması sağlanır. İlk etapta fırının sıcaklığından düşük olan kömür sıcaklığı oksidasyonun etkisiyle giderek artmaya ve fırın sıcaklığını aşmaya başlar. Numune sıcaklığının ortam sıcaklığını 1 °C geçtiği nokta kesişim noktası olarak yorumlanmaktadır.

Kömürün sadece kendi bünye özellikleri değil ayrıca çevre faktörleri de kızışmayı etkilediğinden dolayı, “çevre indeksi (EI)” adı verilen bir indeks daha geliştirilmiştir. Bu indeksin değişen parametrelere göre değerleri Çizelge 6.3’te verilmektedir [39, 52].

Çizelge 6.3 Çevre indeksi değerleri

Kömür kayıpları	Kırıklanma	Havalandırma basınç farkı	Çevre indeksi
Normal	Doğal	Düşük - orta	1 (düşük)
Orta - yüksek	Doğal	Düşük - orta	2 (orta)
Normal	Yüksek	Düşük - orta	2 (orta)
Normal	Doğal	Yüksek	2 (orta)
Normal	Yüksek	Yüksek	3 (yüksek)
Yüksek	Doğal	Yüksek	3 (yüksek)
Yüksek	Yüksek	Düşük - orta	3 (yüksek)
Yüksek	Yüksek	Yüksek	4 (yüksek)

Kömür kayıpları için : % 15 – 20 Normal
 % 20 – 30 Orta
 % 30 – Yüksek

Havalandırma basınç farkı için : 0 – 10 mm Düşük
 20 – 30 mm Orta
 30 – 40 mm Yüksek

Çevre indeksi ve yatkinlik indeksinden de yararlanılarak “risk indeksi (RI)” hesaplanmıştır. Buna göre;

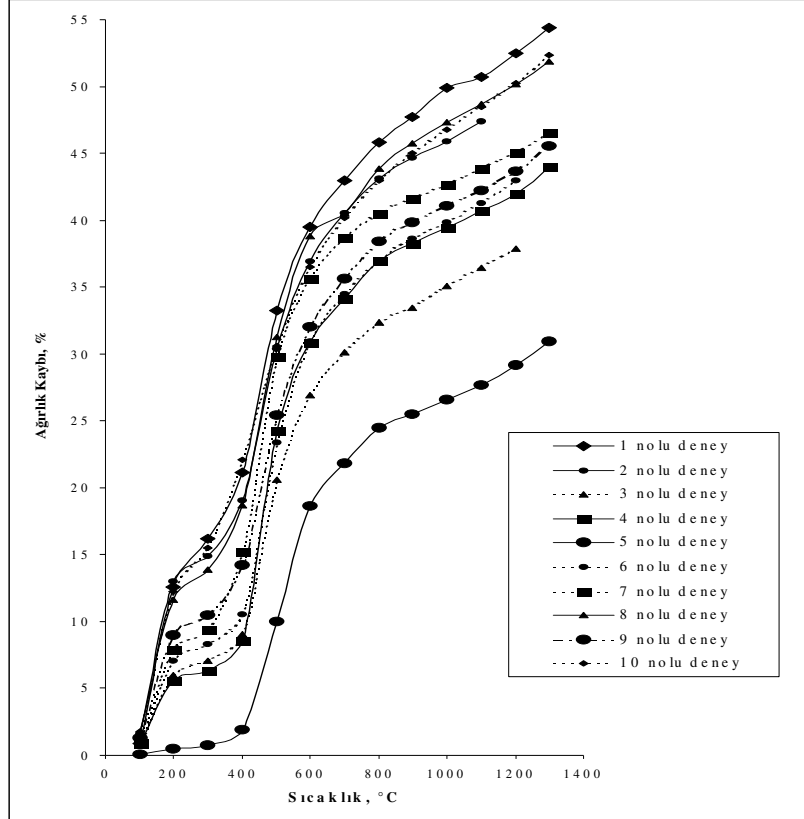
$$RI = I_{(FCC)} * EI \quad \text{olmaktadır.}$$

Hesaplanan bu indeks değeri eğer 0 – 10 arasında ise kendiliğinden yanma riski düşük, 10 – 20 arasında orta yatkinlikte, 20 – 40 arasında olması durumunda ise yüksek yatkinlik içerdiği şeklinde yorumlanmaktadır [20, 39, 52].

6.1.7 Termogravimetrik analiz (TGA) metodu

Termogravimetrik analizde kontrol edilen bir atmosferdeki bir numunenin kütlesi, sıcaklığın veya zamanın fonksiyonu olarak artan sıcaklığa (zamanla doğrusal olarak) karşı kaydedilir. Kütlenin veya kütle yüzdesinin zamana karşı grafiği termogram veya termal bozunma eğrisi olarak adlandırılır [78]. Sıcaklık artışı sonucunda meydana gelen kütle kayıpları genel olarak su gibi uçucu bileşiklerin yapıdan ayrılması veya maddenin ayrışmasıdır [79].

Bu eğriler vasıtasıyla numune ağırlığının ısı enerjisi ile nasıl değiştiğini saptamak mümkün olmaktadır. TGA eğrilerinde genellikle üç bölge göze çarpmaktadır. Bu bölgeleri ağırlık artış bölgesi, ağırlık azalma bölgesi ve ağırlığın sabit kaldığı yatay bölge olarak söylemek mümkündür [80]. Tipik bir TGA eğrisi Şekil 6.3'te gösterilmektedir [81]. Kütle değişimi sonucu oluşturulan bu termogramlar sayesinde kömürün kendiliğinden kızışma değerleri saptanmaktadır [3].



Şekil 6.3 TGA eğrisi

6.2 Pratik Yöntemler

Bu yöntemler daha önceden edinilmiş deneyimlere, çevre koşullarına ve yanma olaylarının sıklıklarına göre sınıflandırılırlar.

6.2.1 Kuluçka sınıflaması

Kuluçka periyodu, bir panoda kömürün kazılmaya başlamasından sonra ilk kızışma belirtilerinin gözlenmeye başladığı zamana dek geçen süre olarak tanımlanmaktadır [82]. Düşük kaliteli kömürler için kuluçka periyodu 3 – 6 ay, yüksek kalitedeki kömürler için ise 9 – 18 ay arasındadır. Kuluçka periyoduna kömürlerin kendiliğinden yanma risk tablosu Çizelge 6.4’te verilmiştir [83].

Çizelge 6.4 Kuluçka periyoduna göre risk sınıflaması

Kuluçka periyodu (ay)	Risk indeksi	Damar sınıflandırması
0 – 3	>40	Çok yüksek riskli
3 – 9	20 – 40	Yüksek risk
9 – 18	10 – 20	Orta risk
> 18	1 – 10	Düşük risk

6.2.2 Düzeltilmiş Bystron – Urbanski yöntemi

Bystron ve Urbanski tarafından bulunan bu yöntem daha sonraları Nottingham Üniversitesi araştırma ekiplerince düzeltilmiş ve pratiğe uygun bir hale getirilmiştir. Yöntem kömürün üretim koşulları ve çevre şartları gibi etkenlerini göz önüne almakta ve Çizelge 6.5’te gösterilen faktör gruplarının puanlarının toplanması esasına dayanmaktadır. Bu toplam sonuç Çizelge 6.6’ya göre karşılaştırılıp bir risk sınıflaması yapılmaktadır [71].

Çizelge 6.5 Uzunayak yöntemi için düzeltilmiş kendiliğinden yanma faktör sınıflaması [83]

Faktör numarası	Faktör sınıflaması		Faktör puanı
	Kömür grubu	Isınma hızı	
1	Düşük hassasiyet (antrasit ve yarı antrasit)	< 0.4 °C/h	+1
	Orta hassasiyet (kok kömürü)	0.4 – 0.8 °C/h	+2
	Yüksek hassasiyet (taşkömürü, bitümlü kömür)	0.8 – 1.5 °C/h	+4
	Çok yüksek hassasiyet (linyit, az bitümlü kömür)	> 1.5 °C/h	+8
	Kömürün derecesi		
2	İnce		0
	Tavanda terk edilen ince kömür		+2
	Tavanda terk edilen kalın kömür		+5
3	Kül miktarı (%)		
	< 20		0
	21 – 30		-1
	> 30		-2
4	Göçük tahkimat sistemi		
	Göçertmeli (iyi kapanan tavan)		0
	Göçertmesiz (göçmeyen tavan)		+4
5	Madencilik metodu		
	Konvensiyonel rambleli uzunayak		+8
	Tabanyolu rambleli uzunayak (zayıf taban için +3 ekleme yapılır)		+4
	Dönümlü uzunayak		+1
	Dönümlü uzunayak, yardımcı yollar		+8
6	Damarın alınması		
	Damarın hepsinin alınması		0
	0.2 – 0.5 m. tavan kömürü bırakılmış		+5
	> 0.5 m. tavan kömürü bırakılmış		+8
7	Damar kalınlığı		
	< 1.5 m.		-1
	1.5 – 3.0 m.		+2
	> 3.0 m.		+3
	Kalın damar dilim metodu		+8
8	Havalandırma sistemi		
	Konvensiyonel		0
	Üst taban yolunda fan ve metan kontrolü için hava borusu		+4
9	Günlük ilerleme		
	< 1.0 m.		+5
	1.5 – 2.5 m.		+2
	> 2.5 m.		0
10	Monitör		
	Monitör yok		+5
	Alışılmış monitör		-2
	Sürekli monitör		-7

Çizelge 6.6 Risk sınıflaması

Toplam risk oranı	Risk sınıfı
0 veya daha az	Riskli değil
1 – 10	Düşük riskli
11 – 25	Orta riskli
25 – 40	Yüksek riskli
> 40	Çok yüksek riskli

6.2.3 Olpinski yöntemi

Olpinski tarafından S_1 'den S_7 'e kadar isimlendirilen yedi farklı temel madencilik parametrelerini içeren formül aşağıda verilmektedir [36]:

$$P_s = S_z b + (S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 + S_6 + S_7)$$

Burada;

P_s : Sistemdeki muhtemel yangın riski

$S_z b$: Kömürün kendiliğinden ısınma hassasiyeti

S_1 : Göçükte terk edilen kömür

S_2 : Çalışma metodu

S_3 : Havalandırma metodu

S_4 : Hava kaçakları (göçükte)

S_5 : Kömür damarını nemi

S_6 : Damarın derinliği

S_7 : Havalandırma yoğunluğu / derecesi

Bulunan P_s değerinden de kendiliğinden yanma riski tahmin edilmektedir [22]. Buna göre;

P_s	<u>Risk tahmini</u>
< 120	kendiliğinden yanma riski yoktur
> 120	kendiliğinden yanma riski yüksektir

6.2.4 Deneyimlere dayalı yapılan sınıflama

Uzun yıllar çalışılan havzalarda kızışma olaylarının sıklığı, yangın sonrası ortaya çıkan gaz ürünleri, kuluçka süreleri ve kızışma belirtileri gibi belirgin özelliklerden yararlanılarak kazanılan deneyimler sonrasında o bölgeye ait bir sınıflandırma yapılabilmektedir.

7. ÜLKEMİZ KÖMÜRLERİNİN KENDİLİĞİNDEN YANMA KARAKTERİSTİKLERİ

Ülkemiz kömürleri üzerinde yapılan birçok çalışmada kömürlerin kendiliğinden yanmaya yatkınlıkları değişik metotlarla belirlenmeye çalışılmıştır. Bu çalışmalardan elde edilen veriler ile çalışılan bölgelerdeki kömürlerin kendiliğinden yanmaya müsait olup olmadıkları, kendiliğinden yanma konusunda eğilimi olan bölgelerde ne gibi iyileştirmelerin yapılabileceği ve tutuşma olayının hangi parametreler ile ilgili olduğu üzerinde durulmuştur. Yapılan bu çalışmalar kronolojik sırasına uygun bir şekilde aşağıda açıklanmaktadır:

Ayvazoğlu [84] tarafından dinamik oksidasyon metodu kullanılarak Zonguldak kömür havzasında bulunan Çay ve Acılık damarlarının kendiliğinden yanma yatkınlıkları araştırılmış, Çay damarı için 90 °C olan tutuşma sıcaklığı, Acılık damarı için 86 °C olarak belirlenmiştir.

Karpuz ve ark. [85] GAL – Silopi bölgesi Harbol ve Üçkardeşler asfaltit filonları üzerinde kesişme noktası metodunu kullanmışlardır. Üçkardeşler asfaltiti için tutuşma sıcaklığı 185 – 190 °C, Harbol asfaltiti için ise 180 – 200 °C arasında bulunmuştur. Bu değerlere göre; Üçkardeşler damarının kendiliğinden yanma risk indeksi “8 – 9 orta riskli” bulunurken, Harbol için “10 – 12 yüksek riskli” sınıflaması yapılmıştır. Ayrıca söz konusu asfaltitlerin gaz analizleri de yapılmıştır.

Ermişoğlu ve ark. [86] tarafından GLİ Ömerler yeraltı işletmesinde yapılan kendiliğinden yanma çalışmalarında, düzeltilmiş Bystron – Urbanski sınıflama metodu kullanılmış ve bu sınıflama sonucunda kendiliğinden yanma riski 27 olarak hesaplanmıştır. Buna göre Ömerler kömürü kendiliğinden yanma açısından yüksek riskli kömür grubuna dahil edilmiştir.

Karaçam ve ark. [37] Zonguldak kömür havzasındaki beş müesseseye (Armutçuk, Kozlu, Karadon, Amasra ve Üzülmöz) ait toplam 22 adet kesişim noktası deneyi uygulamışlardır. Yapılan bu çalışmada kesişme noktası sıcaklıkları 170 – 186 °C arasında değişmektedir. Beş müessese içinde en yüksek indekse Amasra müessesesi sahiptir. Bunun nedeni olarak ise yüksek nem içermesi gösterilmiştir. Genel olarak yatkınlık indeksleri 4.4 –

10.2 dak⁻¹ arasında değerler almaktadır. Bu değerlere göre yapılan yorumda çalışılan kömürler orta derecede yatkın kabul edilmiştir.

Yılmaz ve ark. [82] Armutçuk müessesesi Büyük damarı üzerinde gerçekleştirdikleri kesişme noktası çalışmalarında kömür oksidasyonu için farklı hava miktarlarında üzerinde denemeler yapmışlardır. Dört ayrı kömür numunesi üzerinde farklı hava miktarlarının kullanıldığı toplam 62 deney yapılmıştır. Sonuç olarak Büyük damarın yanma riski orta riskli olarak belirlenmiştir.

Kaymakçı vd. [76] tarafından Zonguldak Üzülmüş müessesesi Sulu ve Nasufoğlu, Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Ömerler yeraltı ocağından alınan numuneler üzerinde her bir numune için kesişim noktası ve aynı zamanda DTA metodu uygulanmış ve I(FCC), I(MR), I(WS) yatkınlık indeksleri hesaplanarak karşılaştırılmalar yapılmıştır. Bu karşılaştırmada MR indeksinin pratikteki durum ile uyum göstermediği saptanmıştır.

Saraç vd. [87] tarafından GLİ Tunçbilek ve Ömerler yeraltı ocağı kömürleri üzerinde yapılan çalışmalarda kesişim noktaları 138 – 146 °C arasında, yatkınlık indeksleri de 8.5 – 26 dak⁻¹ arasında değişmektedir. Bu iki ocak kömürü yanmaya yatkınlık bakımından yüksek riskli kömür sınıfına dahil edilmişlerdir.

Saraç [88] Soma ve Çayırhan kömürlerinin tutuşma sıcaklıklarını Soma için 110 – 127 °C, Çayırhan için ise 125 – 126 °C arasında bir değer aldığını ortaya koymuş ve bu kömürleri kendiliğinden yanma açısından yüksek risk içeren kömürler olarak sınıflamıştır.

Didari vd.'nin [77] Zonguldak Üzülmüş müessesesi Sulu ve Nasufoğlu damarları, GLİ Tunçbilek ve Ömerler damarları, Muğla – Milas linyitleri Sekköy ve Karaağaç bölgelerinde yaptığı kendiliğinden yanma çalışmaları sonucunda Sulu damarı için ortalama tutuşma sıcaklığının 171.6 °C, Nasufoğlu damarı için ortalama tutuşma sıcaklığının 166.0 °C, Tunçbilek için ortalama tutuşma sıcaklığının 141.6 °C, Ömerler için 140.6 – 142 °C arasında değiştiği, Sekköy için ortalama tutuşma sıcaklıklarının 176.7 °C, Karaağaç bölgesi için ortalama tutuşma sıcaklığı 160.5 °C olarak belirlenmiştir.

Kaymakçı [54] Zonguldak havzası kömür damarlarından alınan numunelerden yaklaşık olarak 350 kesişim noktası deneyi yapmış ve havza kömürleri için kesişim noktası sıcaklık aralığını 150 – 215 °C arasında tespit etmiştir.

Şensöğüt [89] tarafından Ilgın linyitleri üzerine yapılan çalışmalarda tutuşma sıcaklıklarının 180 – 184 °C arasında değiştiği, yatkinlik olarak ise orta yatkinliktaki damarlar olduğu belirtilmiştir.

Çınar [14] tarafından Konya – Ermenek bölgesinde bulunan üç ayrı özel işletmeden (Polat, Akpınar ve Turab Madencilik) alınan numunelerden toplam 12 ayrı kesişim noktası deneyi yapılmış ve tutuşma sıcaklıklarının 151 – 160 °C arasında olduğu, yatkinlik indekslerinin de 4.4 – 7.3 dak⁻¹ arasında değer aldığı belirtilmiştir. Bu değerlere göre bu üç ayrı özel şirkete ait kömürler düşük – orta risk sınıfında gösterilmiştir.

Yılmaz [61] tarafından Eyzek kömürleri üzerinde yapılan kesişme noktası deneyleri beş kömür numunesi (1., 2., 3., 4., ve 5. katman) ile gerçekleştirilmiştir. 1. katman için kesişim noktası sıcaklığı 153 °C, 2. katman için 155 °C, 3. katman için 152 °C, 4. katman için 153 °C, 5. katman için 157 °C olarak belirlenmiştir. Risk sınıflaması ise orta – düşük olarak saptanmıştır.

Şahin vd. [4] Zonguldak havzası Amasra, Kozlu ve Karadon Müesseselerinden toplam 55 adet numune alınarak kendiliğinden yanma sıcaklıkları ve yanma sonucundan oluşan gaz ürünleri incelenmiştir. Karadon müessesesinden alınan numunelerin tutuşma sıcaklığı değerleri 172 – 186 °C, indeks değerleri 2.64 – 4.98 dak⁻¹ arasında değişmekte olup, yanma riskleri düşük olarak belirlenmiştir. Kozlu müessesesinden alınan numunelerde ise , tutuşma sıcaklıkları 162 – 177 °C, indeks değerleri 4.37 – 6.08 dak⁻¹ olup risk durumu orta olarak ifade edilmiştir. Yine aynı şekilde Amasra müessesesi için bu değerler 141 – 144 °C, indeks değerleri ise 4.15 – 6.92 dak⁻¹ arasında olup risk durumu orta olarak yorumlanmıştır.

Kadioğlu ve ark. [34] Aşkale ve Balkaya linyitlerinin tutuşma sıcaklıkları üzerinde nemin ve kurutulmuş havanın etkilerini incelemiş, nem içeriğinin tutuşma sıcaklığı değerlerini

arttırdığını, kuru havadan geçirilmiş kömürlerin ise tutuşma sıcaklıklarının azaldığını belirtmiştir.

Küçük ve ark. [90] tarafından Aşkale linyitleri üzerinde yapılan kendiliğinden yanma çalışmalarında kendiliğinden yanma üzerinde etkili olabilecek birkaç parametre incelenmiş, kömürlerin tutuşma sıcaklıkları 138 – 160 °C olarak saptanmıştır.

Özşen [80] 28 ayrı kömür ocağından aldığı numuneler üzerinde uyguladığı termogravimetrik analiz metoduyla kömürlerin yanma profillerini ve her numune için üç farklı boyut fraksiyonunun tutuşma sıcaklıklarını hesaplamıştır. Tutuşma sıcaklıklarının 197.308 – 221.094 °C arasında değiştikleri gözlemlenmiştir.

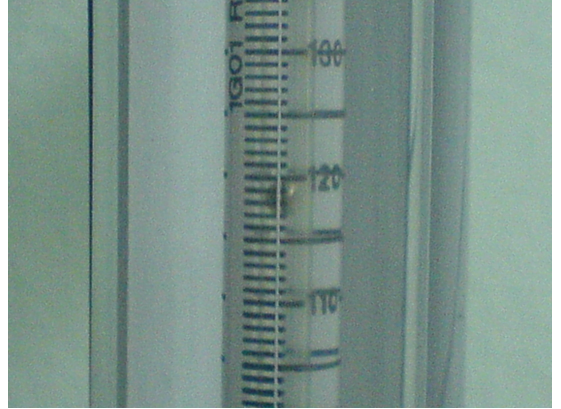
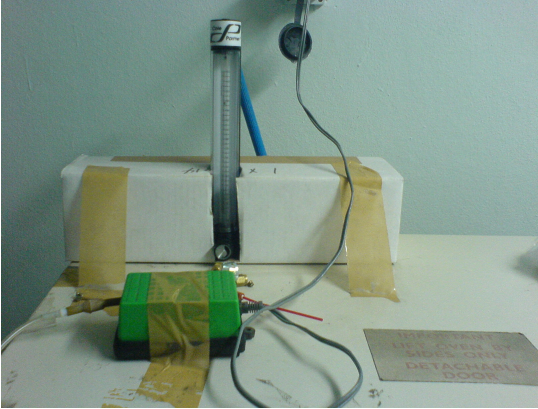
8. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1 Deney Düzeneginin Tanıtımı

Alınan numuneler üzerinde yapılan kendiliğinden yanmaya yatkınlık çalışmaları, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi bünyesinde kurulan Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM) Kendiliğinden Yanma Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kullanılan deney düzenegi; mini kompresör, ortam sıcaklığını doğrusal olarak arttırmaya yarayan programlanabilen bir etüv, numune sıcaklığını ölçmek için kullanılan bir kaydedici ve kömürlerin içine konulduğu bir reaktörden ibarettir.

8.1.1 Mini kompresör

Deney düzeneginde kömürün oksidasyonu için gerekli olan hava, Şekil 8.1'de gösterilen mini kompresörden temin edilmektedir. Bu kompresör vasıtasıyla kömür örnekleri üzerinden 100 cc/dak hızla hava geçirilmek suretiyle deneyler gerçekleştirilmiştir. Gönderilen hava miktarı Cole Parmer marka akış ölçer yardımıyla ayarlanmaktadır.



Şekil 8.1 Mini kompresör ve akış ölçer

8.1.2 Etüv

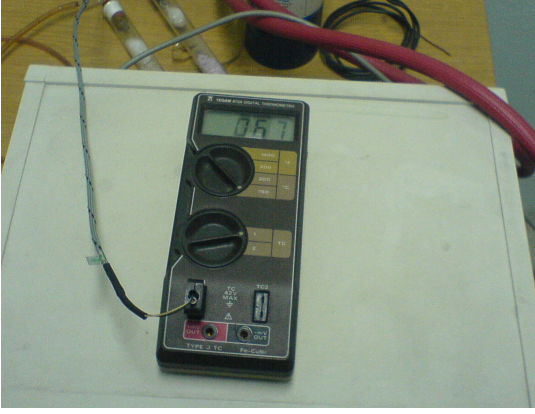
Kendiliğinden yanma deneylerinde gerekli olan ısınma yatağının oluşturulması amacıyla, Euroterm 818 P tipi programlanabilen bir etüv kullanılmıştır. Kullanılan bu etüvün sıcaklığı maksimum 300 °C'ye kadar çıkabilmektedir. Şekil 8.2'de gösterilen etüvde, üç aşamalı bir program izlenmiştir. İlk aşamada, etüv oda sıcaklığından itibaren 50 °C'ye kadar ısıtılmakta, ikinci aşamada bu sıcaklık altında 6 dakika bekletilmektedir. Üçüncü aşamada ise, etüvün sıcaklığı 0.5 °C/dak'lık doğrusal bir artışla 220 °C'ye kadar ısıtılarak deney sonlandırılmaktadır.



Şekil 8.2 Programlanabilen etüv

8.1.3 Kaydedici

Kömür örneklerinin sıcaklıklarını ölçmek için Şekil 8.3'te gösterilen kaydedici kullanılmaktadır. Reaktör içerisindeki bir ucu numune içerisinde, diğer ucu kaydediciye bağlı olan termočift sayesinde numunenin sıcaklık değişimi kaydediciye aktarılmaktadır. Kömür numunesinin ve etüvün sıcaklık değişimleri, etüvün ve kaydedicinin üzerindeki göstergeler vasıtasıyla her 10 dakikada bir kaydedilmiştir.



(a)

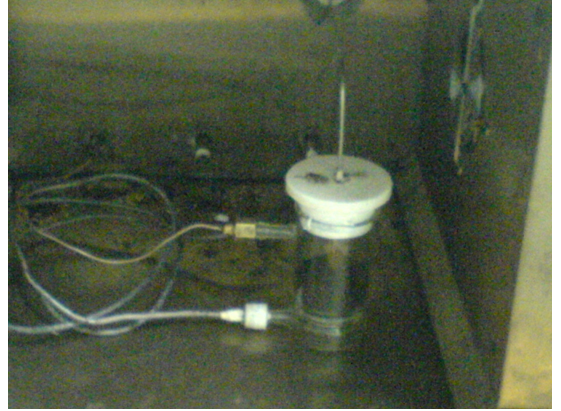


(b)

Şekil 8.3 Kaydedici (a) ve etüv göstergesi (b)

8.1.4 Reaktör

Şekil 8.4'te kömür numunelerinin konulduğu ısıya dayanıklı camdan yapılmış olan reaktör görülmektedir. Reaktörün içerisine tabandan 2.5 cm yükseklikte, kalınlığı 0.5 cm ve gözenek açıklığı 20 – 30 μ olan bir silika filtre yerleştirilmiştir. Bunun dışında reaktörde hava girişinin sağlandığı bir alt giriş ve oksidasyon sonucu oluşan gazların çıkması için bir üst çıkış bulunmaktadır [77].

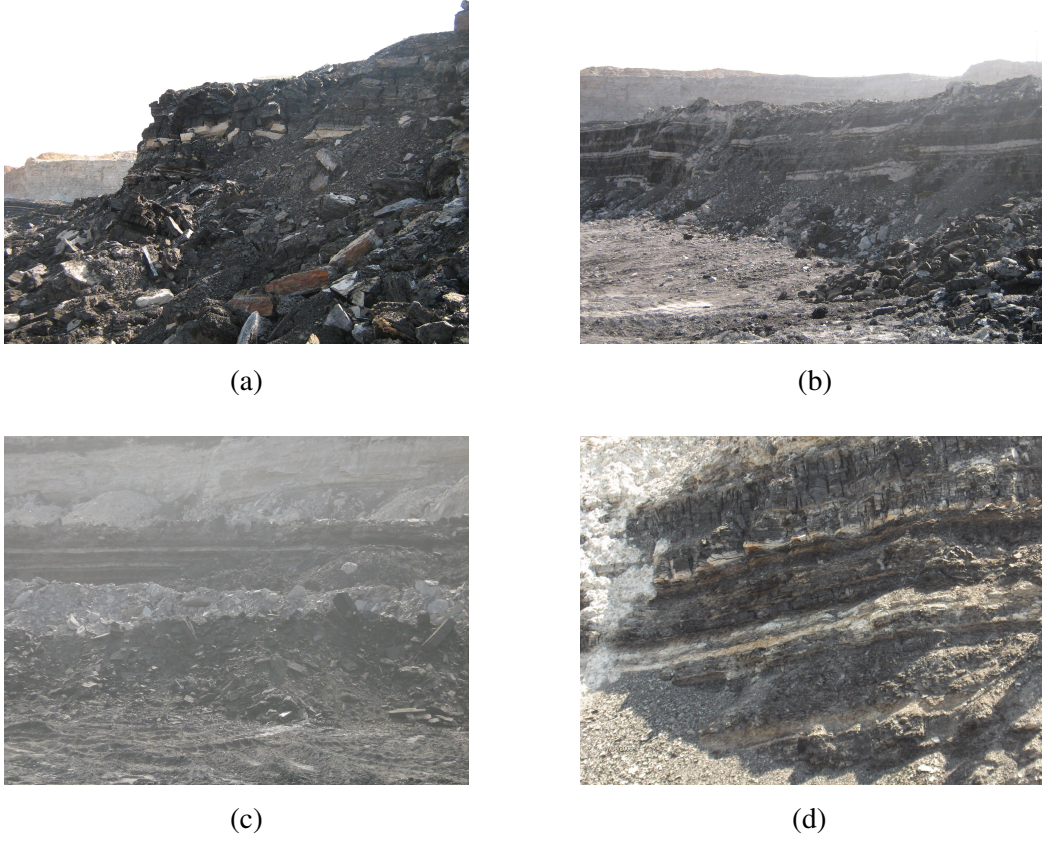


Şekil 8.4 Reaktör

8.2 Deneyleerde Kullanılan Kömürlerin Hazırlanma Aşamaları

8.2.1 Numunelerin alınması

Deneyleerde kullanılmak amacıyla Seyitömer Linyit İşletmesi (SLİ), Değirmisaz, Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) Ömerler ve açık ocaklarından, her biri için yaklaşık 10 kg'lık numuneler alınmıştır. Numunelerin alınışında numune alma yöntemlerine bağlı kalınmıştır. Damardan alınan örneklerde oluk yöntemi kullanılırken, stoktan numune alma işleminde çukur açma yöntemi uygulanmıştır. SLİ ve GLİ İşletmelerinden temin edilen numuneler, direk olarak kömür stampından alınırken; Değirmisaz İşletmesi'nden alınan kömürler üretime son verildiğinden dolayı stoklardan temin edilmiştir. Numune alınan kömür stamp ve stokları Şekil 8.5, 8.6, 8.7'de gösterilmektedir.



Şekil 8.5 Seyitömer S-30 panosu B1 (a), B2 (b), B3 (c) ve S-44 panosu B2 (d) damarları



(a)



(b)



(c)

Şekil 8.6 GLİ Beke – Yörgüç (a), BY – H (b) ve 48 C – 5 (c) panoları



Şekil 8.7 Değirmisaz kömür stoğu

8.2.2 Numunelerin kırılması ve öğütülmesi

Üç ayrı işletmeden her biri için yaklaşık olarak 10 kg'lık kömür numuneleri alınmıştır. Daha sonra bu numuneler Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında 100 gr'lık – 200 mesh boyutuna indirilerek deneyler için kullanıma hazır hale getirilmiştir. Numuneleri azaltmak için konileme – dörtleme yöntemi kullanılmıştır. Kömür numunelerinin kırma ve öğütülmesi için kullanılan laboratuvar aletleri Şekil 8.8'de görülmektedir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 8.8 Çeneli kırıcı (a), merdaneli kırıcı (b), numune bölücü (c) ve bilezikli değirmen (d)

8.3 Deneylerde Kullanılan Kömürlerin Kimyasal Analiz Sonuçları

Deney için hazırlanan numunelerin kimyasal analizleri Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Laboratuvarlarında yapılmıştır. Kömürlerin kimyasal analiz sonuçları Çizelge 8.1’de verilmektedir.

Çizelge 8.1 Deneyleri yapılan kömürlerin kimyasal analiz sonuçları

Numune adı	Nem (%)	Kül (%)	Kükürt (%)	Karbon (%)	Üst ısı değeri (kcal/kg)	Alt ısı değeri (kcal/kg)
SLİ S30 panosu B1 damarı	35.00	11.62	2.18	52.04	5728	5465
SLİ S30 panosu B2 damarı	38.49	15.74	1.15	46.42	5113	4862
SLİ S30 panosu B3 damarı	38.91	9.25	1.42	51.27	5749	5479
SLİ S44 panosu B2 damarı	29.18	22.45	2.44	44.15	4318	4087
GLİ Ömerler M5 pano damarı	13.36	27.41	2.04	63.44	6468	6252
GLİ Beke – Yörgüç pano damarı	19.56	13.54	3.17	59.77	6116	5859
GLİ BY – H pano damarı	7.86	16.15	1.05	66.24	6744	6494
GLİ 48 C – 5 pano damarı	10.11	21.82	1.94	64.68	6632	6399
Değirmisaz stok kömürü	1.32	11.62	4.44	56.88	5912	5649

8.4 Deneylerin Yapılması

Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM), Kendiliğinden Yanma Laboratuvarında, S44 panosu B2 damarının dışında her bir numune için 4 farklı deney yapılmak suretiyle toplam olarak 33 adet kesişim noktası deneyi gerçekleştirilmiştir.

İlk olarak – 200 mesh (75 μ) boyutuna indirgenmiş olan kömür numunelerinden 35 gr’lık kısmı cam reaktör içine konulmuştur. Etüvün program aşamaları ayarlandıktan sonra reaktörün teflon kapağı kapatılıp mini kompresörden alınan 100 cc/dak’lık hava ile deney başlatılmıştır. Deney boyunca hem fırının hem de numunenin sıcaklıkları 10 dakikada bir ölçülmüştür. Gözlemler sonucunda kömürün tutuşma noktası tespit edilmiştir. Ayrıca kömürün 110 °C ve 220 °C’deki sıcaklık dakikaları da kaydedilerek kendiliğinden yanma risk indeksi

hesaplanmıştır. Bazı deneylerde, etüvün rezistansından ve soğutma sisteminden kaynaklanan teknik problemlerden dolayı etüvün sıcaklığı daha geç sürelerde doğrusallığa ulaşmıştır.

8.5 Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yapılan deneylerden kömür numunelerinin relatif tutuşma sıcaklıkları, ortalama sıcaklık artışları ve yatkınlık indeksleri hesaplanmış ve bu indekse göre bir risk sınıflaması yapılmıştır. Her bir numuneye ait deney sonuçları ve zaman – sıcaklık eğrileri, Ek.1 – 3’te verilmiştir. Ancak örnek olarak seçilen SLİ S30 panosu B1, B2 ve B3, S44 panosu B2, GLİ Ömerler ve açık ocak ve Değirmisaz damar numunelerine ait (a) deneyi sonuçları Çizelge 8.2 – 10’da ve zaman – sıcaklık eğrileri Şekil 8.9 – 17’de görülmektedir. Ayrıca deneylerde kullanılan tüm numunelere ait sonuçlar toplu olarak Çizelge 8.11’de verilmiştir.

Çizelge 8.2 SLİ S30 panosu B1 damarı (a) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	190	134	97	37
20	50	44	*ramp	200	139	100	39
30	67	48	19	210	144	104	40
40	60	53	7	220	149	108	41
50	64	54	10	230	154	113	41
60	69	56	13	240	159	118	41
70	74	60	14	250	164	124	40
80	79	64	15	260	169	133	36
90	84	67	17	270	174	149	25
100	89	70	19	280	179	172	7
110	94	74	20	290	184	208	-24
120	99	77	22	300	189	228	-29
130	104	80	24	310	194	235	-41
140	109	82	27	320	199	241	-42
150	114	85	29	330	204	247	-43
160	119	88	31	340	209	251	-42
170	124	91	33	350	214	256	-42
180	129	94	35				

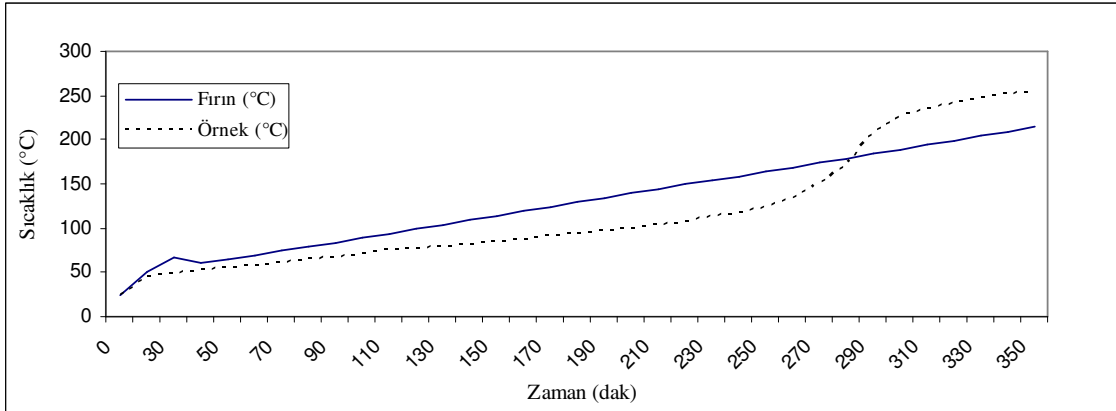
* Bu noktadan sonra fırının sıcaklığı 0.5 °C/dak'lık doğrusal hızla artırılmıştır.

SLİ B1 damarı üzerinde yapılan (a) deneyinde, numune sıcaklığının genel olarak 250. dakikaya kadar normal olarak seyrettiği, bu dakikadan sonra yükselişe geçerek 181 °C'de fırın sıcaklığını geçip, kömürün yanmaya başladığı görülmektedir. Bu numune 8.44 dak⁻¹ indeks değeri ile yanma riski bakımından “orta” sınıfta değerlendirilmiştir.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 181 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.527 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 8.44 dak⁻¹



Şekil 8.9 SLİ S30 panosu B1 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.3 SLİ S30 panosu B2 damarı (a) deneyi sonuçları

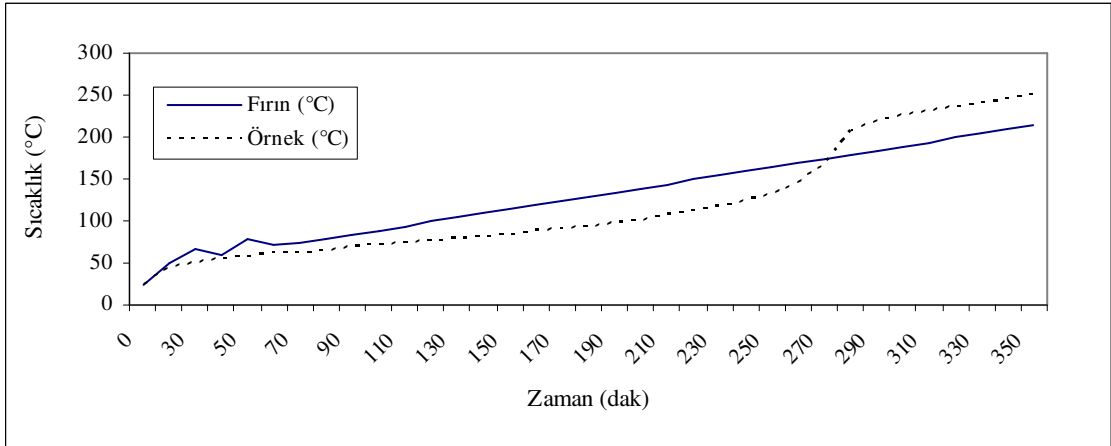
Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	25	25	-	190	134	98	36
20	50	45	ramp	200	139	101	38
30	67	49	18	210	144	106	38
40	60	54	6	220	149	111	38
50	78	56	22	230	154	117	37
60	72	62	10	240	159	123	36
70	74	62	12	250	164	131	33
80	79	65	14	260	169	145	24
90	84	68	16	270	174	170	4
100	89	71	18	280	179	208	-29
110	94	74	20	290	184	220	-36
120	99	77	22	300	189	226	-37
130	104	79	25	310	194	231	-37
140	109	82	27	320	199	236	-37
150	114	84	30	330	204	241	-37
160	119	87	32	340	209	245	-36
170	124	90	34	350	214	249	-35
180	129	94	35				

B2 kömürünün sıcaklığı da B1 gibi yaklaşık olarak 250. dakikada yükselişe geçmiş, 176 °C'den sonra yanmış ve deney sonuna kadar sıcaklığı doğrusal olarak artmıştır. Bulunan değerler ile yatkinlik indeksi “orta” olarak tespit edilmiştir.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 176 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.527 °C/dak

Yatkinlik indeksi = 8.68 dak⁻¹



Şekil 8.10 SLİ S30 panosu B2 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.4 SLİ S30 panosu B3 damarı (a) deneyi sonuçları

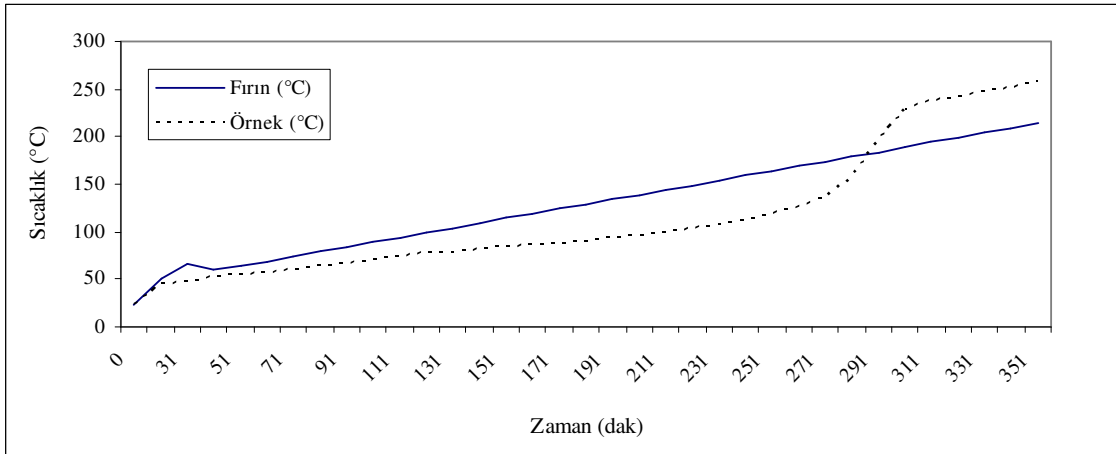
Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	191	134	93	41
21	50	44	ramp	201	139	96	43
31	67	47	20	211	144	99	45
41	60	53	7	221	149	103	46
51	64	54	10	231	154	108	46
61	69	56	13	241	159	112	47
71	74	61	13	251	164	118	46
81	79	64	15	261	169	126	43
91	84	67	17	271	174	136	38
101	89	71	18	281	179	156	23
111	94	74	20	291	184	196	-12
121	99	77	22	301	189	228	-39
131	104	78	26	311	194	237	-43
141	109	81	28	321	199	242	-43
151	114	83	31	331	204	248	-44
161	119	86	33	341	209	252	-43
171	124	88	36	351	214	257	-43
181	129	90	39				

B3 damarı kömürünün diğer iki kömür damarına paralel olarak ısınma hızı 250. dakikadan itibaren artmaya başlamıştır. 184 °C’de yanan bu kömürün, 291 – 301. dakikalar arasında sıcaklığı büyük bir oranda artmaktadır. Risk bakımından “orta” yatınlıktadır.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 184 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.803 °C/dak

Yatınlık indeksi = 9.80 dak⁻¹



Şekil 8.11 SLİ S30 panosu B3 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.5 SLİ S44 panosu B2 damarı deney sonuçları

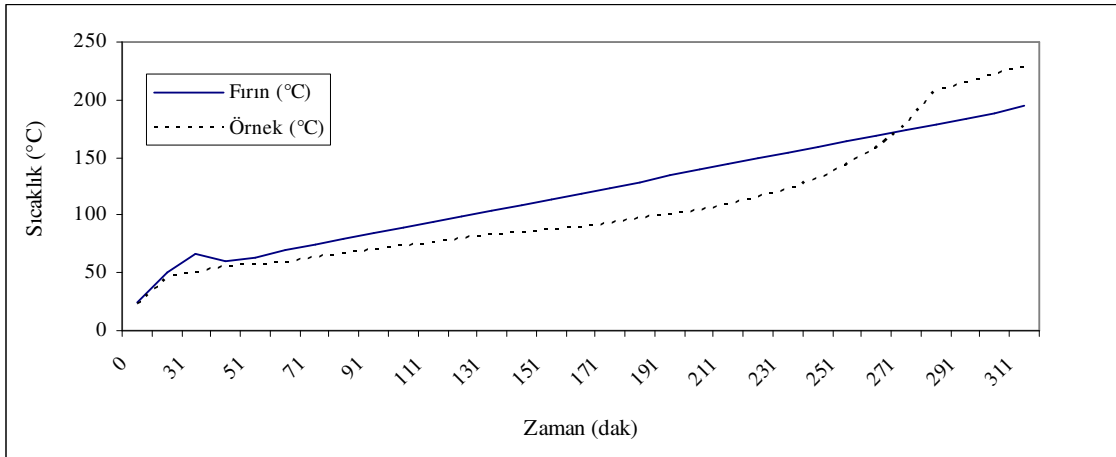
Zaman (dak)	Fırın (C°)	Örnek (C°)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (C°)	Örnek (C°)	Fark
0	25	23	-	171	124	93	31
21	50	46	ramp	181	129	97	32
31	67	51	16	191	134	100	34
41	60	56	4	201	139	104	35
51	64	57	7	211	144	109	35
61	69	59	10	221	149	115	34
71	74	63	11	231	154	122	32
81	79	66	13	241	159	132	27
91	84	70	14	251	164	143	21
101	89	73	16	261	169	157	12
111	94	76	18	271	174	179	-5
121	99	79	20	281	179	207	-28
131	104	82	22	291	184	215	-31
141	109	85	24	301	189	222	-33
151	114	87	27	311	194	228	-34
161	119	89	30				

Farklı panodan alınan B2 damarı üzerinde yapılan deneyde, numune sıcaklığının 221. dakikadan itibaren artmaya başladığı görülmektedir. S30 panosunda olduğu gibi tutuşma sıcaklığı aynı damar için birbirine yakın değerlerdedir. Yatkinlik sınıflamasında “orta” olarak belirlenmiştir.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 174 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.294 °C/dak

Yatkinlik indeksi = 7.44 dak⁻¹



Şekil 8.12 SLİ S44 panosu B2 damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.6 GLİ Ömerler M5 pano damarı (a) deneyi sonuçları

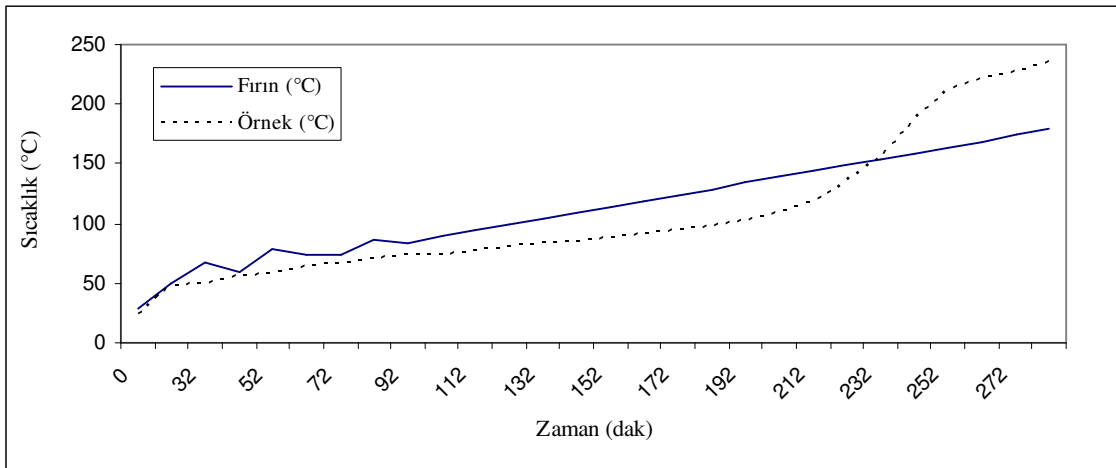
Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	29	24	-	152	114	88	26
22	50	48	ramp	162	119	91	28
32	68	50	18	172	124	94	30
42	60	56	4	182	129	98	31
52	78	57	21	192	134	103	31
62	73	64	13	202	139	109	30
72	74	65	9	212	144	119	25
82	87	71	16	222	149	135	14
92	84	73	11	232	154	156	-2
102	89	74	15	242	159	188	-29
112	94	77	17	252	164	211	-47
122	99	80	19	262	169	221	-52
132	104	83	21	272	174	228	-54
142	109	85	24	282	179	235	-56

Görüldüğü üzere, numune sıcaklığı 202. dakikaya kadar doğrusal olarak artmış, fakat bu noktadan sonra çok önemli bir sıcaklık artışı olmuş ve kömür aniden yanmıştır. Bu haliyle Ömerler M5 kömürü kendiliğinden yanma açısından “yüksek riskli” olarak saptanmıştır. Diğer deneylere göre fırın sıcaklığı bu deneyde daha geç bir sürede doğrusallığa ulaşmıştır.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 155 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.929 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 12.45 dak⁻¹



Şekil 8.13 GLİ Ömerler M5 pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.7 GLİ Beke – Yörgüç pano damarı (a) deneyi sonuçları

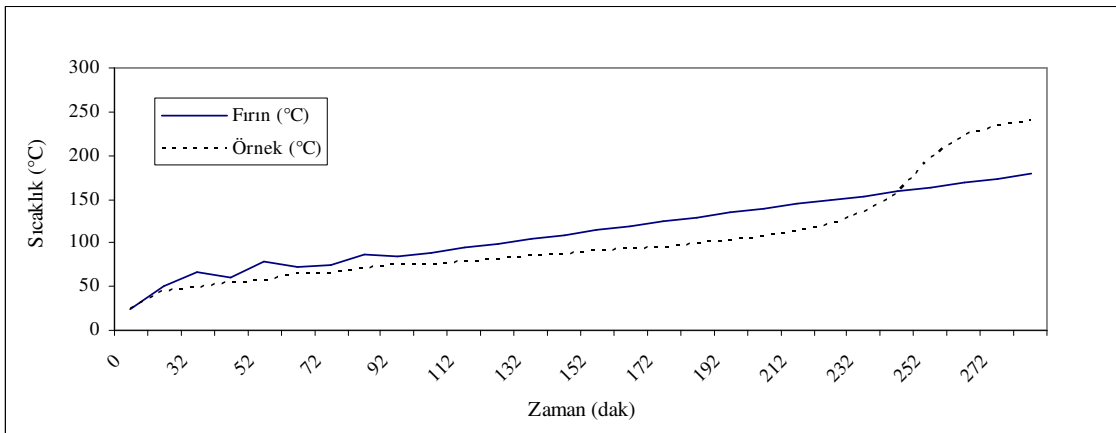
Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	152	114	90	24
22	50	45	ramp	162	119	92	27
32	67	49	18	172	124	95	29
42	60	55	5	182	129	99	30
52	78	57	21	192	134	102	32
62	72	64	8	202	139	107	32
72	74	65	9	212	144	113	31
82	87	71	16	222	149	121	28
92	84	74	10	232	154	134	20
102	89	75	14	242	159	158	1
112	94	78	16	252	164	197	-33
122	99	81	18	262	169	223	-54
132	104	84	20	272	174	233	-59
142	109	87	22	282	179	240	-61

Bu deneyde de fırın sıcaklığı ancak 92. dakikada dengeye gelebilmiştir. 212. dakikadan itibaren artan sıcaklık artışı sonucunda kömür 161 °C’de yanmaya başlamıştır. Yatkinlık indeksi 12.89 dak⁻¹ olarak bulunmuştur. Bu haliyle Beke – Yörgüç kömürü “yüksek” yanma riskine sahip bir kömür olarak yorumlanmıştır.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 161 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.075 °C/dak

Yatkinlik indeksi = 12.89 dak⁻¹



Şekil 8.14 GLİ Beke – Yörgüç pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.8 GLİ BY – H pano damarı (a) deneyi sonuçları

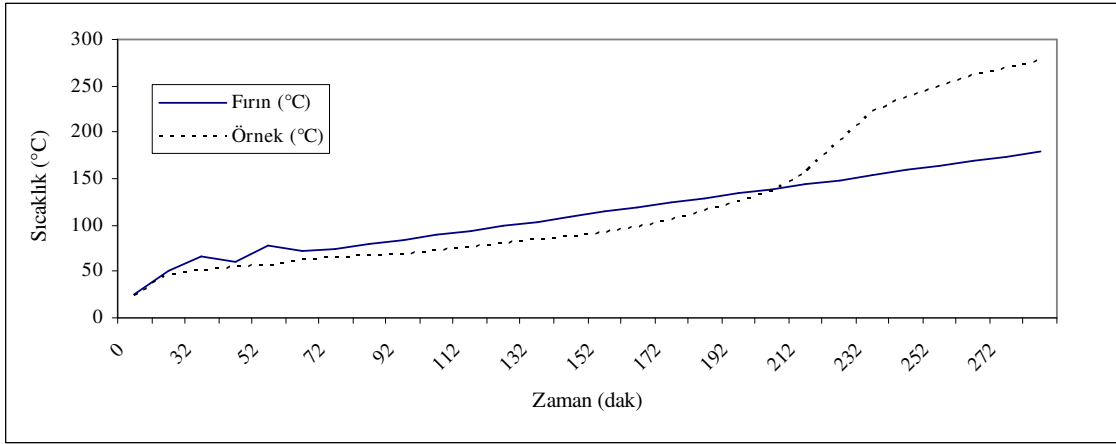
Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	25	23	-	152	114	92	22
22	50	47	ramp	162	119	97	22
32	67	50	17	172	124	105	19
42	60	55	5	182	129	114	15
52	78	56	22	192	134	125	9
62	72	63	9	202	139	137	2
72	74	64	10	212	144	155	-11
82	79	66	13	222	149	191	-42
92	84	69	15	232	154	223	-69
102	89	73	16	242	159	237	-78
112	94	76	18	252	164	249	-85
122	99	79	20	262	169	261	-92
132	104	83	21	272	174	269	-95
142	109	87	22	282	179	277	-98

Yapılan deneyler sonucunda en düşük tutuşma noktası değerlerine sahip olan BY – H pano kömürünün bu deneyde tutuşma sıcaklığı 141 °C olarak hesaplanmıştır. 2.075 °C/dak ısınma hızı ile BY – H kömürü “yüksek riskli” kömür grubuna girmektedir.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 141 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.075 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 14.72 dak⁻¹



Şekil 8.15 GLİ BY – H pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.9 GLİ 48 C – 5 pano damarı (a) deneyi sonuçları

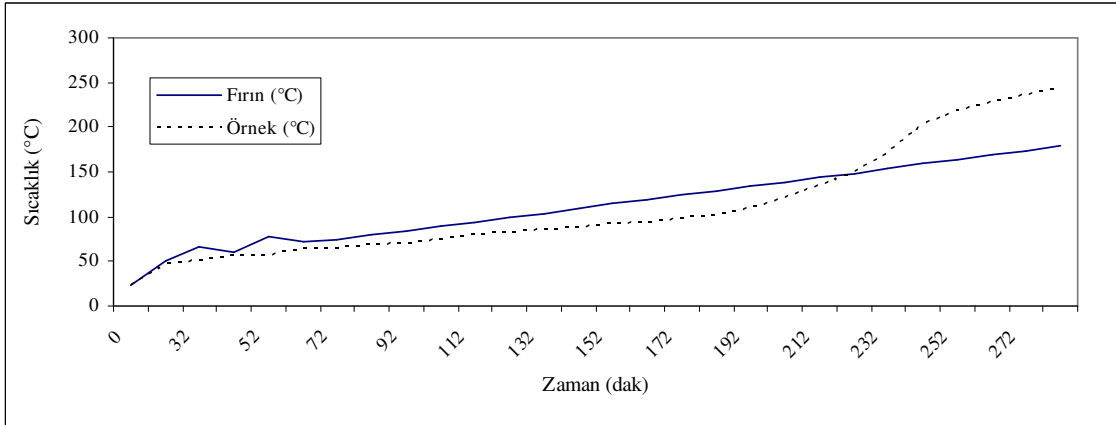
Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	23	23	-	152	114	91	23
22	50	46	ramp	162	119	94	25
32	67	50	17	172	124	98	26
42	60	56	4	182	129	102	27
52	78	57	21	192	134	110	24
62	72	64	18	202	139	121	18
72	74	65	9	212	144	134	10
82	79	68	11	222	149	150	-1
92	84	71	13	232	154	172	-18
102	89	75	14	242	159	202	-43
112	94	79	15	252	164	218	-54
122	99	82	17	262	169	227	-58
132	104	85	19	272	174	235	-61
142	109	88	21	282	179	244	-65

48 C – 5 panosundan alınan kömür numunesi yaklaşık olarak 222. dakikada yanmaya başlamış ve bu dakikadan sıcaklığı doğrusal olarak artmıştır. Özellikle 232 ve 242. dakikalar arası ısınma hızı en üst seviyesine ulaşmıştır. Deney sonucunda 48 C – 5 kömürü kendiliğinden yanma açısından “yüksek riskli” olarak bulunmuştur.

Relatif tutuşma sıcaklığı = 150 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.774 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 11.83 dak⁻¹



Şekil 8.16 GLİ 48 C – 5 pano damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.10 Değirmisaz damarı (a) deneyi sonuçları

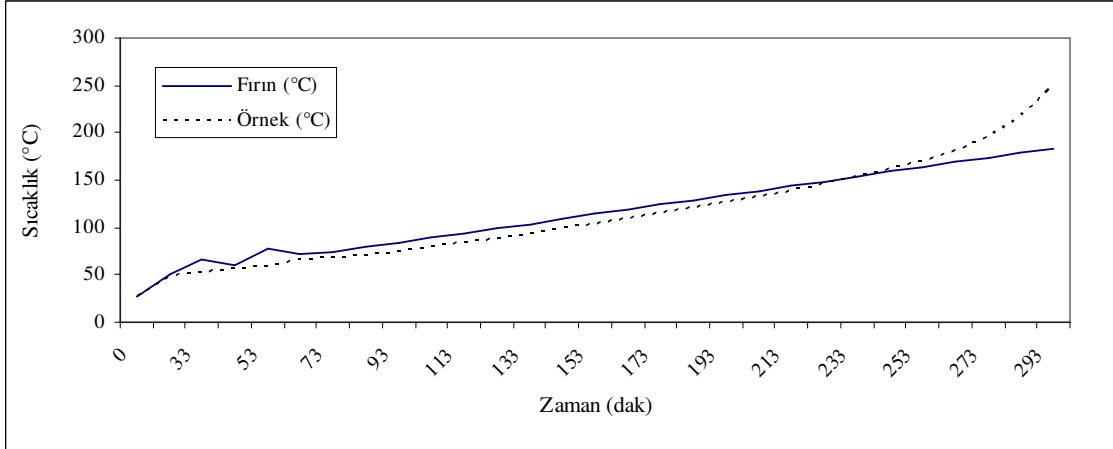
Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	27	27	-	163	119	110	9
23	50	49	Ramp	173	124	115	9
33	67	52	15	183	129	121	8
43	60	57	3	193	134	127	7
53	78	58	20	203	139	133	6
63	72	66	6	213	144	139	5
73	74	68	6	223	149	146	3
83	79	70	9	233	154	154	0
93	84	74	10	243	159	162	-3
103	89	79	10	253	164	170	-6
113	94	84	10	263	169	181	-12
123	99	88	11	273	174	195	-21
133	104	93	11	283	179	216	-37
143	109	99	10	293	184	249	-65
153	114	104	10				

Deney sonucunda bulunan değerler ile Değirmisaz kömürü en düşük ısınma hızı ve yatkinlik indeksine sahip kömür olarak belirlenmiştir. $0.909\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$ ve 5.87 dak^{-1} değerleri ile Değirmisaz kömürü yanmaya yatkinlik bakımından “orta risk” içermektedir.

Relatif tutuşma sıcaklığı = $155\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ortalama sıcaklık artışı = $0.909\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{dak}$

Yatkinlik indeksi = 5.87 dak^{-1}



Şekil 8.17 Değirmisaz damarı (a) deneyi zaman – sıcaklık eğrisi

Çizelge 8.11 Deney sonuçları

Örnek – Deney no	Relatif tutuşma Sıcaklığı (°C)	Ort. sıcaklık artışı (°C/dak)	Yatkınlık indeksi (dak ⁻¹)	Risk sınıflaması
SLİ S-30 B1 damarı (a)	181	1.527	8.44	orta
SLİ S-30 B1 damarı (b)	181	1.864	10.30	yüksek
SLİ S-30 B1 damarı (c)	180	1.803	10.02	yüksek
SLİ S-30 B1 damarı (d)	183	1.774	9.69	orta
SLİ S-30 B2 damarı (a)	176	1.527	8.68	orta
SLİ S-30 B2 damarı (b)	188	1.594	8.48	orta
SLİ S-30 B2 damarı (c)	183	1.666	9.10	orta
SLİ S-30 B2 damarı (d)	188	1.692	9.00	orta
SLİ S-30 B3 damarı (a)	184	1.803	9.80	orta
SLİ S-30 B3 damarı (b)	185	1.746	9.44	orta
SLİ S-30 B3 damarı (c)	186	1.774	9.54	orta
SLİ S-30 B3 damarı (d)	185	1.897	10.25	yüksek
SLİ S-44 B2 damarı	174	1.294	7.44	orta
GLİ Ömerler M5 (a)	155	1.929	12.45	yüksek
GLİ Ömerler M5 (b)	150	1.897	12.65	yüksek
GLİ Ömerler M5 (c)	151	2.619	17.34	yüksek
GLİ Ömerler M5 (d)	153	2.075	13.56	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç (a)	161	2.075	12.89	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç (b)	160	2.075	12.97	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç (c)	162	2.075	12.80	yüksek
GLİ Beke – Yörgüç (d)	159	2.619	16.47	yüksek
GLİ BY – H (a)	141	2.075	14.72	yüksek
GLİ BY – H (b)	142	1.833	12.91	yüksek
GLİ BY – H (c)	142	1.896	13.35	yüksek
GLİ BY – H (d)	141	1.896	13.45	yüksek
GLİ 48 C-5 (a)	150	1.774	11.83	yüksek
GLİ 48 C-5 (b)	147	2.115	14.39	yüksek
GLİ 48 C-5 (c)	146	1.964	13.45	yüksek
GLİ 48 C-5 (d)	147	1.506	10.25	yüksek
Değirmisaz (a)	155	0.909	5.87	orta
Değirmisaz (b)	155	0.909	5.87	orta
Değirmisaz (c)	155	0.894	5.78	orta
Değirmisaz (d)	154	0.901	5.85	orta

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1 SONUÇLAR

Ülkemizdeki çeşitli kömürler üzerinde yıllardır yapılan kendiliğinden yanmaya yatkinlik çalışmaları sonucunda, kömürlerimizin kendiliğinden yanma karakteristikleri belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan bu çalışma ile önceki çalışmalarda incelenmemiş olan Seyitömer ve Değirmisaz bölgesi kömürlerinin kendiliğinden yanmaya olan yatkinlikleri tespit edilmiştir. Bu iki bölgemize ek olarak Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) yeraltı ve açık ocaklarından alınan numuneler ile birlikte Kütahya Bölgesi kömürlerinin tutuşma sıcaklıkları ve risk indeksleri hesaplanmıştır.

Yapılan deneylere göre; Seyitömer Linyit İşletmesi (SLİ) S30 panosuna ait B1 damarının tutuşma sıcaklıkları 180 ile 183 °C arasında değişmektedir. Isınma hızları 1.527 – 1.864 °C/dak olup, yatkinlik indeksleri 8.44 – 10.30 dak⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Bundan dolayı; B1 damarı kendiliğinden yanma açısından “orta – yüksek” risk sınıfına dahil olmaktadır. Aynı panoya ait B2 ve B3 damarları üzerinde yapılan çalışmalarda, B2 damarının tutuşma sıcaklıklarının 176 – 188 °C, B3 damarının ise 184 – 186 °C arasında olduğu gözlemlenmiştir. 1.527 – 1.692 °C/dak ısınma hızlarına sahip olan B2 damarı, 8.48 – 9.10 dak⁻¹ indeks değerleriyle “orta riskli” kömür damarı grubuna girmektedir. B3 damarı 1.746 – 1.897 °C/dak değerleri ile diğer iki damara oranla daha yüksek ısınma hızlarına sahip olup, yatkinlik bakımından “orta – yüksek” risk sınıfındadır.

Yine aynı şekilde SLİ'ye ait S44 panosundan alınan B2 damarı üzerinde yapılan deneyde; tutuşma sıcaklığı 174 °C, ortalama sıcaklık artışı 1.294 °C/dak ve yatkinlik indeksi 7.44 dak⁻¹ şeklinde bulunmuştur. Bu sonuçlar ile damarın risk indeksi “orta” olarak hesaplanmış ve aynı damarın farklı bölümlerinin değişik değerler alabileceği görülmüştür.

Garp Linyitleri İşletmesi, Ömerler yeraltı ocağı M5 panosundan alınan kömür örnekleri üzerinde yapılan deneyler, tutuşma sıcaklıklarının 150 – 155 °C, ısınma hızlarının 1.897 – 2.619 °C/dak ve yatkinlik indekslerinin 12.45 – 17.34 dak⁻¹ olduğunu göstermiştir. Risk sınıflamasında kömürün yanma riski “yüksek” olarak tespit edilmiştir.

Aynı işletmenin açık ocaklarından alınan numunelerde, 2.075 – 2.619 °C/dak ısınma hızları ile Beke – Yörgüç panosu, deneyleri yapılan tüm damarlara oranla en yüksek değerleri almıştır. Bu pano damarının tutuşma noktası da 159 – 162 °C değerleri ile GLİ açık işletmesindeki diğer panolardan yüksektir. Yatkinlık indeksleri de buna bağlı olarak 12.89 – 16.47 dak⁻¹ değerleri ile diğer açık ocak panolarına göre daha yüksek bir risk sınıfındadır. Başka bir açık ocak panosu olan BY- H panosunun tutuşma noktası değerleri diğer iki açık ocak panosuna göre daha düşüktür. Tutuşma noktası değerleri 141 – 142 °C arasında değişmektedir. Isınma hızları 1.833 – 2.075 °C/dak ve indeks değerleri 12.91 – 14.72 dak⁻¹ arasındadır. Beke – Yörgüç gibi “yüksek riskli” damar grubunda yer almaktadır. Çalışılan son açık ocak panosu olan 48 C – 5 pano damarı değerler açısından diğer iki damara paralel bir yapı göstermektedir. Tutuşma sıcaklıkları 146 – 150 °C, ısınma hızları 1.506 – 2.115 °C/dak ve yatkinlık indeksi 10.25 – 14.39 dak⁻¹ arasındadır. Kendiliğinden yanma açısından “yüksek” bir risk teşkil etmektedir.

Değirmisaz numuneleri, yeraltı işletmeciliğine ekonomik olmadığından dolayı son verildiğinden stoklardan temin edilmiştir. Bundan dolayı diğer kömürlere göre nem değerleri daha düşük değerlerde seyretmektedir. Tutuşma sıcaklıkları 154 – 155 °C arasında olan bu kömürlerin, ısınma hızları 0.894 – 0.909 °C/dak ve yatkinlık indeksleri 5.78 – 5.87 dak⁻¹ olarak ölçülmüştür. Deneyleri yapılan bütün kömürlere göre en düşük ısınma hızı ve yatkinlık indeks değerlerine sahip olan bu kömür, “orta” risk sınıfında kabul edilmiştir.

9.2 ÖNERİLER

Elde edilen yatkinlık verileri ile açığa çıkan gazlara ait sonuçlarında beraber değerlendirilebildiği bir çalışma, yatkinlık verilerine olumlu yönde katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Saraç, S., 1992, Yeraltı kömür ocaklarında kendiliğinden yanma, Anadolu Üniversitesi Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Yayınları, 106, 118 s.
- [2] Sensogut, C., Cinar, İ., 2000, A research on the tendency of Ermenek district coals to spontaneous combustion, Mineral Resources Engineering, 9, 4, 421 – 427
- [3] Özdeniz, A.H., 2003, Kömür stoklarındaki kendiliğinden yanma olayının incelenmesi – Garp Linyitleri İşletmesi (GLİ) örneği, Doktora tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 185 s.
- [4] Şahin, N., Didari, V., 2002, Zonguldak kömürlerinde kendiliğinden yanmanın erken saptanması amacıyla yanma ürünü gazların incelenmesi, Madencilik, 41, 4, 37 – 51 s.
- [5] Dokuz Eylül Üniversitesi, 1989, Seyitömer bölgesi kribraj tesislerinin optimizasyonu ve kapasite arttırabilme imkânlarının etüdü, Ara rapor
- [6] Değirmisaz Kömür İşletmesi raporları, 2006
- [7] Çelik, R., 2005, GLİ Ömerler mekanize ocakta yürüyen tahkimatın taşınmasının geliştirilmesi, Doktora tezi Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 145 s.
- [8] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA), 1989, TKİ Kurumu Kütahya – Tavşanlı – Tunçbilek – Domaniç (D:805, İ:69) kömür sahaları jeoloji raporu
- [9] Kural, O., 1991, Kömür, Kurtiş Matbaası, 976 s.
- [10] Kural, O., 1998, Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri, Özgün Ofset Matbaacılık A.Ş., 785 s.
- [11] Nakoman, E., 1971, Kömür, MTA Yayını Eğitim Serisi, 8, 3 – 10
- [12] Ateşok, G., 1986, Kömür hazırlama, Kurtiş Matbaası, 190 s.
- [13] Ateşok, G., 2004, Kömür hazırlama ve teknolojisi, Beril Yayıncılık Matbaacılık Ltd.Şti, 376 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [14] Çınar, İ., 1999, Ermenek bölgesi kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması, Yüksek Lisans tezi Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 57 s.
- [15] Yildirim, O.S., Sensogut, C., Gokay, M.K., 2006, Effects of electrical resistance on the spontaneous combustion tendency of coal and interaction matrix concept, Journal of University of Science and Technology Beijing, 13, 1 – 6
- [16] Kural, O., 1994, Coal resources, properties, utilization, pollution, Özgün A.Ş., 491 s.
- [17] Juranek, G., 1982, Glückhauf, 118, 1320 p.
- [18] Kemal, M., Arslan, V., 1999, Kömür teknolojisi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 33, 373 s.
- [19] Stach, E., Mackowsky, M.Th., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., Teichmüller, R., 1982, Stach's textbook of coal petrology, Third edition, Gebrüder Borntraeger, Berlin
- [20] Ramlu, M.A., 1991, Mine disasters and mine rescue, A.A. Balkema, Rotterdam, 397 p.
- [21] Kaymakçı, E., Didari, V., 2000, Kömür özellikleri ile kendiliğinden yanma parametreleri arasındaki ilişkiler, Türkiye 12. Kömür Kongresi, 147 – 156
- [22] Sensogut, C., 1997, A general outlook on spontaneous combustion in underground coal mines, German Academic Exchange Service, Aachen, Germany, 90 p.
- [23] Wang, H., Dlugogorski, B.Z., Kennedy, E.M., 2003, Coal oxidation at low temperatures: oxygen consumption, oxidation products, reaction mechanism and kinetic modelling, Progress in Energy and Combustion Science, 487 – 513
- [24] Jones, R.E., Townend, D.T.A., 1949, Oxidation of coal, Journal Society of Chemical Industry, 68
- [25] Küçük, A., Kadioğlu, Y., Gülaboğlu, M., Bayrakçeken, S., 1996, Aşkale linyitlerinin kendiliğinden yanma eğiliminin incelenmesi, II. Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 1343 – 1347

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [26] Sevenster, P.G., 1961, Studies on the interaction of oxygen with coal in temperature range (0 – 90 °C), Fuel, 40
- [27] Demirbilek, S., 1986, The development of a spontaneous combustion risk classification system for coal seams, PhD. Thesis, University of Nottingham, Department of Mining Engineering, 263 p.
- [28] Coward, H.F., 1957, Research on spontaneous combustion of coal in mines – a review, NCB Res. Report, 142
- [29] Guney, M., 1968, Certain factors affecting the oxidation and spontaneous combustion of coal, University of Nottingham, Mining Department Magazine, 20, 71 – 80
- [30] Eroğlu, H.N., Gouws, M.J., Phillips, H.R., 1991, Spontaneous combustion liability contours, 12. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 41 – 51
- [31] Bhattacharyya, K.K., 1982, D system classification of coals in respect of spontaneous combustion, Journal of Mines, Metals and Fuels, 185 – 186
- [32] Morris, R., Atkinson, T., 1988, Seam factor and spontaneous heating of coal, Mining and Science and Technology, 7, 149 – 159
- [33] Chamberlain, E.A.C., Hall, D.A., 1973a, The liability of coals to spontaneous combustion, Colliery Guardian, 65 – 72
- [34] Kadioglu, Y., Varamaz, M., 2003, The effect of moisture content and air – drying on spontaneous combustion characteristics of two Turkish lignites, Fuel, 1685 – 1693
- [35] Nordon, P., Young, B.C., Bainbridge, N.W., 1979, The rate of oxidation of char and coal in relation to their tendency to self – heat, Fuel, 58, 443 – 449
- [36] Banerjee, S.C., 1985, Spontaneous combustion of coal and mine fires, A.A. Balkema, Rotterdam, 165 p.
- [37] Karaçam, E., Didari, V., Atalay, T., 1988, Zonguldak kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması, Türkiye 6. Kömür Kongresi, 91 – 100

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [38] Kröger, C., Beier, E., 1962, Die verwitterung von steinkohlen, Brennstoff – chemie, 11, 43
- [39] Feng, K.K., Chakravorty, R.N., Cochrane, T.S., 1973, Spontaneous combustion – a coal mining hazard, The Canadian Mining and Metallurgical Journal
- [40] Francis, W., 1961, Coal: its formation and composition, Edward Arnold publication, London
- [41] Durucan, Ş., Güyagüler, T., 1985, Yeraltı madencilğinde çevre sorunları ve kontrol yöntemleri, Genel Maden İşçileri Yayını
- [42] Münzner, H., 1973, Der einfluss von fremdstoffen auf das selbstentzündungsverhalten von steinkohle,
- [43] Haldane, J.S., Makgill, R.H., 1924, The spontaneous combustion of hay, Fuel in Science and Practice, 2, 380 – 387
- [44] Graham, J.I., 1914 – 1915, The adsorption of oxygen by coal – part VII (the influence of moisture upon the rate of adsorption, and the question of bacterial oxidation), Transactions of Ins. Mining Eng., 49, 35 – 43
- [45] Sinnatt, F.S., Macpherson, H., 1924, Thermal conductivity and spesific heat of coal, Fuel, 3, 12 p.
- [46] Yıldırım, Ö.S., Gökay, M.K., Şensögüt, C., 1994, Elektriksel yalıtkanlığın kendiliğinden yanmaya yatkınlıktaki yeri ve interaksiyon matrisi (I), Türkiye 9. Kömür Kongresi, 27 -38
- [47] Vinogradova, L.P., Surnatchev, B.A., Terpigorava, E.A., 1972, How gas in seams affects heatings and susceptibility to spontaneous combustion, Ugol, 9
- [48] Chamberlain, E.A., et. al., 1976, Gases evolved and possible reactions during low temperature oxidation of coal, Fuel, 217 – 222

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [49] Chamberlain, E.A., et. al., 1970, The ambient temperature oxidation of coal in relation to the early detection of spontaneous heating, *Min. Eng.*, 121, 1 – 16
- [50] Banerjee, S.C., 2000, Prevention and combating mine fires, A.A. Balkema, Rotterdam, 376 p.
- [51] Gill, F., Browning, E., 1971, Spontaneous combustion in coal mines, *Colliery Guardian*, 79 – 85
- [52] Mahadevan, V., Ramlu, M., 1985, Fire risk rating of coal mines due to spontaneous heating, *Journal of Mines, Metal, Fuel*, 357 – 362
- [53] Morris, R., Atkinson, T., 1986, Geological and mining factors affecting spontaneous heating of coal, *Mining Science and Technology*, 3, 217 – 231
- [54] Kaymakçı, E., 1998, Zonguldak havzası kömür damarlarına uygulanabilecek bir kendiliğinden yanmaya doğal yatkınlığı değerlendirme tekniğinin geliştirilmesi, Doktora tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- [55] Evsew, V., 1985, New methods for the prevention of spontaneous fires in underground coal mines, *Proceedings of the 21 st International Conference of Safety in Mines Research Institues*, A.A. Balkema, Rotterdam, 481 – 483
- [56] Altınlı, I.JE., 1986, Yerbilimleri sözlüğü, MTA Genel Müdürlüğü Yayınları, 195
- [57] Banerjee, S.C., Chakravorty, R., 1972, Heating in coal mines, *Colliery Guardian*, 230 – 232
- [58] Erkan, H., 1964, Kömürün depolanması, *Madencilik*, 3, sayı 12 – 13
- [59] Beier, E., 1973, Einfluss von feuchtigkeit, eisensalzen und mikroorganismen auf die atmosphaerische oxydation von kohle und pyrit, *Glückauf – Forschungshefte*, heft I
- [60] Didari, V., 1986, Yeraltı ocaklarında kömürün kendiliğinden yanması ve risk indeksleri, *Madencilik*, 25, 4, 29 – 34

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [61] Yılmaz, A.I., 2002, Eynez yeraltı ocağı havalandırma sisteminin ocak yangınlarına etkisi, Doktora tezi Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 174 s.
- [62] Saltoğlu, S., 1974, Madenlerde havalandırma ve emniyet işleri, İTÜ Yayınları, 316 s.
- [63] Fusamura, N., 1967, Mine fire in Japan, paper meeting at CMRS (India)
- [64] Higuchi, K., Ohga, K., 1997, Early detection system of mine fire using smell sensors, 27 th International Conference and Safety in Mines Research Institute, New Delhi
- [65] Ohga, K., et. al., 1997, Fundamental studies on early detection of spontaneous combustion of coal using smell sensors, Solid Fuels, 113, 2, 121 – 125
- [66] Fritzsche, C.H., 1962, Lehrbuch der bergbaukunde, Zweiter Band, Springer Verlag
- [67] Ayvazoğlu, E., 1984, Madenlerde havalandırma ve emniyet, İTÜ Maden Fakültesi, Ofset Matbaası, 303 s.
- [68] Both, W., Müller, R., 1979, Grubenbrandbekaempfung mit stickstoff in Deutschen steinkohlenbergbau, Glückauf, 115, 19
- [69] Tatar, Ç., 1991, OAL' de olası bir yangında azot enjeksiyonu uygulanabilirliği, 12. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi
- [70] Soytürk, T., 1992, Tunçbilek kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması, Yüksek Lisans tezi Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 77 s.
- [71] Eroglu, H.N., 1992, Factors affecting the spontaneous combustion of coal, PhD thesis, Department of Mining Engineering, University of Witwatersrand, Johannesburg
- [72] Feng, K.K., 1985, Spontaneous combustion of Canadian coals, CIM Bulletin, 78, 877, 71 – 75
- [73] Singh et. al., 1984, Application of spontaneous combustion risk index to mine planning, safe storage and shipment of coal, Journal of Mines, Metals and Fuels, 347 – 355

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [74] Gouws, M.J., Wade, L., 1989, The self – heating liability of coal, Predictions Based on Simple Indices Min. Sci. Technol., 81 – 85
- [75] Gouws, M.J., Wade, L., 1990, Coals liable to self heating, Colliery Guardian, 83 – 84
- [76] Kaymakçı, E., Didari, V., 1992, Kömürün kendiliğinden yanmaya yatkınlığının belirlenmesinde kullanılan indeksler, Türkiye 8. Kömür Kongresi, 129 – 140
- [77] Didari, V., Kaymakçı, E., Toroğlu, İ., 1993, Kendiliğinden yanmanın araştırılmasında kullanılabilecek bir laboratuvar deney düzeneği, Türkiye 13. Madencilik Kongresi, 69 – 78
- [78] Skoog, A.D., Holler, F.J., Nieman, A.T., 1998, Enstrümantal analiz ilkeleri, (Çev. E.Kılıç, F.Köseoğlu, H.Yılmaz), Bilim Yayıncılık, 850 s.
- [79] www.kimyaevi.com
- [80] Özşen, H., 2003, Bazı Türk kömürlerin termogravimetrik özelliklerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 269 s.
- [81] Şensöğüt, C., Yıldırım, Ö.S., Çınar, İ., Özdeniz, A.H., 2002, Bazı yerli kömürlerin termogravimetrik karakteristiklerine istatistiksel yaklaşım, Türkiye 13. Kömür Kongresi, 147 – 150 s.
- [82] Yılmaz, A.O., Atalay, T., 1990, TTK Armutçuk Müessesesinde kendiliğinden yanma olayının araştırılması, Türkiye 7. Kömür Kongresi, 399 – 410
- [83] Singh, R.N., Demirbilek, S., Turney, M., 1984, Kömürün kendiliğinden yanma risk indeksinin maden dizaynı, depolama ve deniz nakliyatına uygulanması, Türkiye 4. Kömür Kongresi, 203 – 221
- [84] Ayvazoğlu, E., 1978, EKİ Kozlu bölgesi Çay ve Acılık kömürlerinin oksidasyonunun erken tespiti yönünden incelenmesi, Türkiye 1. Kömür Kongresi, 539 – 563
- [85] Karpuz, C., Bölükbaşı, N., Paşamehmetoğlu, A.G., Gürhan, A., 1986, GAL – Silopi asfaltitlerinin gaz içeriği, kendiliğinden yanma riski ve kesilebilirliğinin araştırılması, Türkiye 5. Kömür Kongresi, 379 – 391

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- [86] Ermişoğlu, N., Yeşiltaş, A., Özerdem, S., 1987, GLİ Tunçbilek bölgesi Ömerler yeraltı işletmesinde kendiliğinden yanma olayları ile mücadele ve alınan önlemler, Türkiye 10. Madencilik Bilimsel ve Teknik Kongresi, 473 – 491
- [87] Saraç, S., Soytürk, T., 1992, Tunçbilek kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlıklarının araştırılması, Türkiye 8. Kömür Kongresi, 141 – 152
- [88] Saraç, S., 1993, Spontaneous combustion tendency of Turkish lignites, Çukurova Üniversitesi Yerbilimleri Dergisi, 22, 39 – 43
- [89] Şensöğüt, C., 1999, Türk kömürlerinin kendiliğinden yanmaya yatkınlığı – İlgın linyitleri örneği, Madencilik, 38, 1, 45 – 52
- [90] Kucuk, A., Kadioglu, Y., Gulaboglu, M.S., 2003, A study of spontaneous combustion characteristics of a Turkish lignite: particle size, moisture of coal, humidity of air, Combustion and Flame, 255 – 261

**EK 1. SLİ S-30 PANO DAMARINA AİT DENEY SONUÇLARI VE
ZAMAN – SICAKLIK EĞRİLERİ**

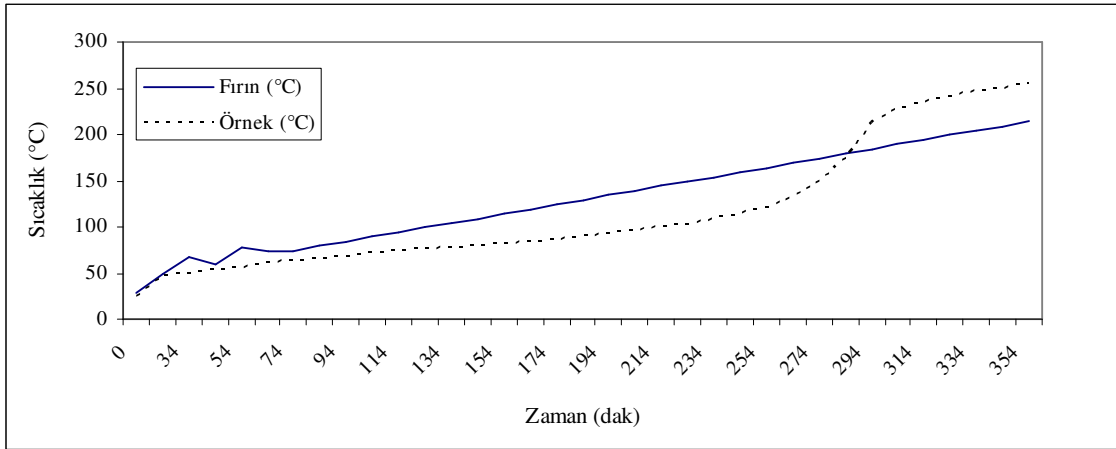
Ek.1.1 SLİ S30 panosu B1 damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	28	25	-	194	134	92	42
24	50	47	ramp	204	139	96	43
34	68	50	18	214	144	99	45
44	60	54	6	224	149	103	46
54	77	55	22	234	154	108	46
64	73	62	11	244	159	114	45
74	74	63	11	254	164	121	43
84	79	65	14	264	169	133	36
94	84	67	17	274	174	149	25
104	89	71	19	284	179	173	6
114	94	74	20	294	184	213	-29
124	99	76	23	304	189	227	-38
134	104	78	26	314	194	234	-40
144	109	80	29	324	199	240	-41
154	114	82	32	334	204	246	-42
164	119	84	35	344	209	250	-41
174	124	86	38	354	214	255	-41
184	129	89	40				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 181 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.864 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 10.30 dak⁻¹



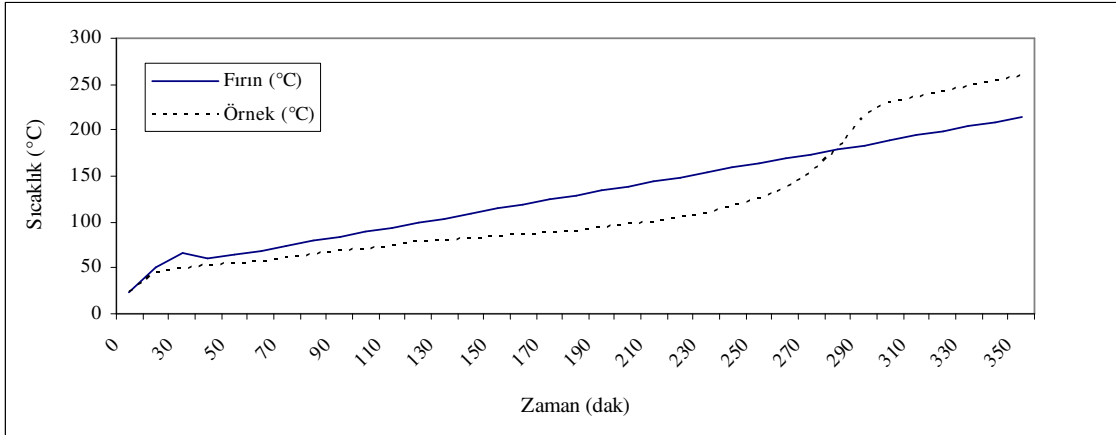
Ek.1.2 SLİ S30 panosu B1 damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	23	23	-	190	134	93	41
20	50	44	ramp	200	139	97	42
30	67	48	19	210	144	100	44
40	60	53	7	220	149	105	44
50	64	54	10	230	154	110	44
60	69	57	9	240	159	116	43
70	74	60	14	250	164	124	40
80	79	64	15	260	169	136	33
90	84	68	16	270	174	153	21
100	89	71	18	280	179	179	0
110	94	74	20	290	184	217	-33
120	99	77	22	300	189	230	-41
130	104	79	25	310	194	236	-42
140	109	82	27	320	199	242	-43
150	114	84	30	330	204	248	-44
160	119	85	34	340	209	254	-45
170	124	88	36	350	214	259	-45
180	129	90	39				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 180 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.803 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 10.02 dak⁻¹



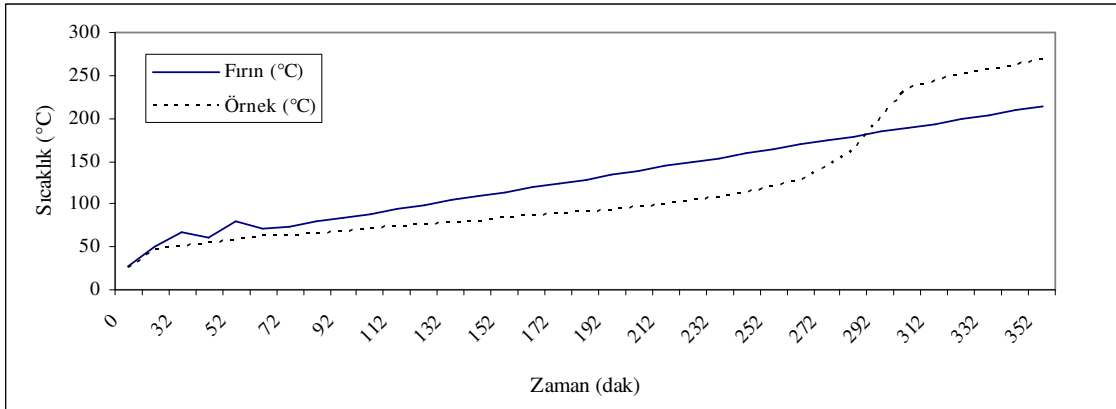
Ek.1.3 SLİ S30 panosu B1 damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	28	26	-	192	134	92	42
22	50	46	ramp	202	139	96	43
32	68	50	18	212	144	99	45
42	60	55	5	222	149	104	45
52	79	56	23	232	154	108	46
62	71	63	8	242	159	114	45
72	74	62	12	252	164	120	44
82	79	64	15	262	169	128	41
92	84	68	16	272	174	142	32
102	89	72	17	282	179	163	16
112	94	74	20	292	184	201	-17
122	99	76	22	302	189	235	-46
132	104	78	26	312	194	244	-50
142	109	80	29	322	199	251	-52
152	114	83	31	332	204	256	-32
162	119	85	34	342	209	263	-54
172	124	88	36	352	214	268	-54
182	129	90	39				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 183 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.774 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 9.69 dak⁻¹



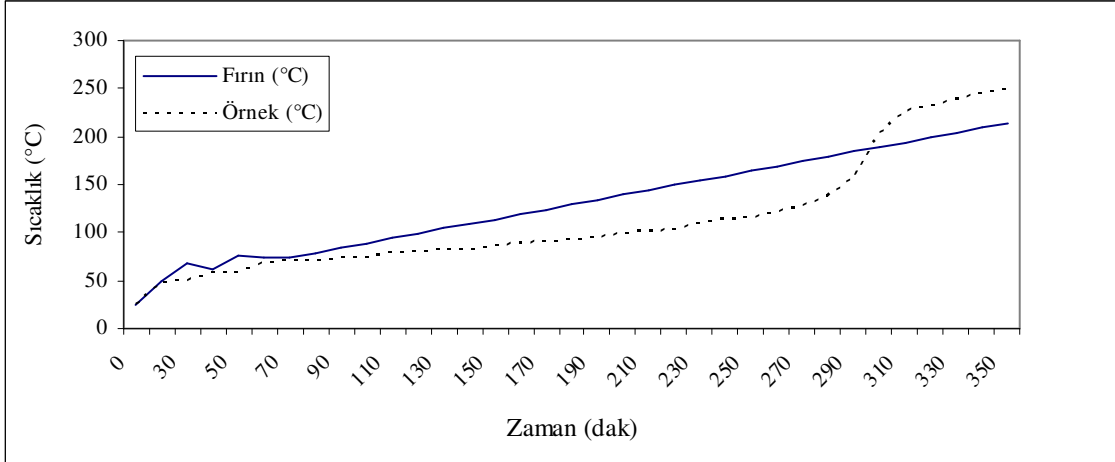
Ek.1.4 SLİ S30 panosu B2 damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	190	134	94	40
20	50	47	ramp	200	139	98	41
30	68	49	19	210	144	100	44
40	61	58	3	220	149	103	46
50	76	58	18	230	154	108	46
60	73	67	6	240	159	112	47
70	74	69	5	250	164	115	49
80	79	70	9	260	169	121	48
90	84	73	11	270	174	128	46
100	89	75	14	280	179	138	41
110	94	78	16	290	184	158	26
120	99	80	19	300	189	204	-15
130	104	82	22	310	194	226	-32
140	109	83	26	320	199	233	-34
150	114	86	28	330	204	239	-35
160	119	88	31	340	209	244	-35
170	124	90	34	350	214	249	-35
180	129	92	37				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 188 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.594 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 8.48 dak⁻¹



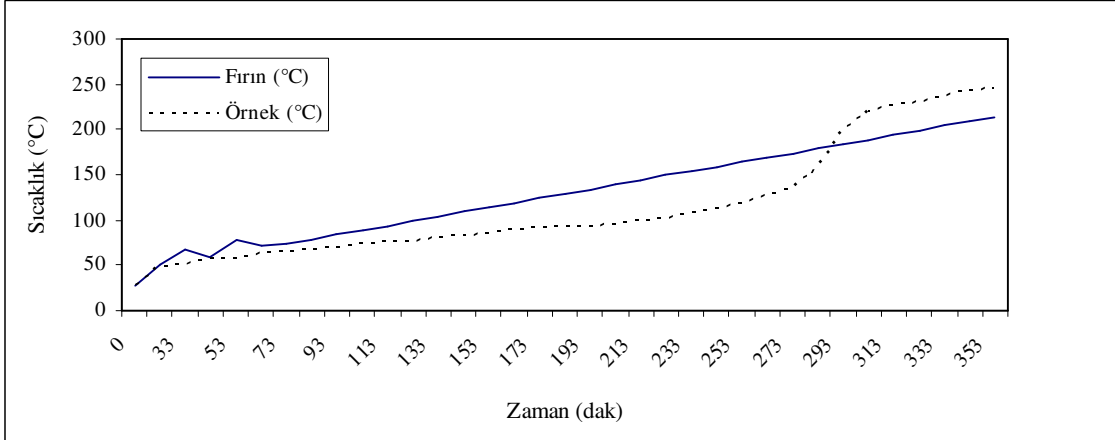
Ek.1.5 SLİ S30 panosu B2 damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	28	28	-	193	134	94	40
23	50	49	ramp	203	139	96	43
33	67	51	16	213	144	100	44
43	60	57	3	223	149	102	47
53	79	58	21	233	154	107	46
63	72	64	8	243	159	112	47
73	74	65	9	253	164	118	46
83	79	67	12	263	169	126	43
93	84	70	14	273	174	136	38
103	89	73	16	283	179	158	21
113	94	76	18	293	184	198	-14
123	99	77	22	303	189	219	-30
133	104	80	24	313	194	226	-32
143	109	82	27	323	199	231	-32
153	114	85	29	333	204	237	-33
163	119	88	31	343	209	242	-33
173	124	90	34	353	214	246	-32
183	129	92	37				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 183 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.666 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 9.10 dak⁻¹



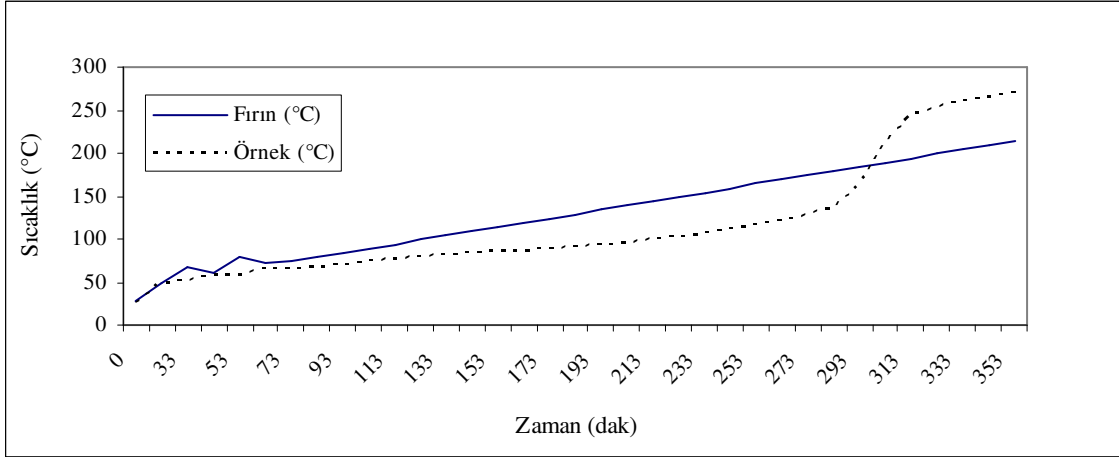
Ek.1.6 SLİ S30 panosu B2 damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	29	25	-	193	134	93	41
23	50	49	ramp	203	139	96	43
33	67	52	15	213	144	100	44
43	60	57	3	223	149	102	47
53	78	59	19	233	154	106	48
63	72	65	7	243	159	112	47
73	74	66	8	253	164	116	48
83	79	68	11	263	169	122	47
93	84	70	14	273	174	128	46
103	89	74	15	283	179	138	41
113	94	77	17	293	184	162	22
123	99	79	20	303	189	212	-23
133	104	81	23	313	194	244	-50
143	109	83	26	323	199	253	-54
153	114	85	29	333	204	260	-56
163	119	87	32	343	209	266	-57
173	124	89	35	353	214	270	-56
183	129	91	38				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 188 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.692 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 9.00 dak⁻¹



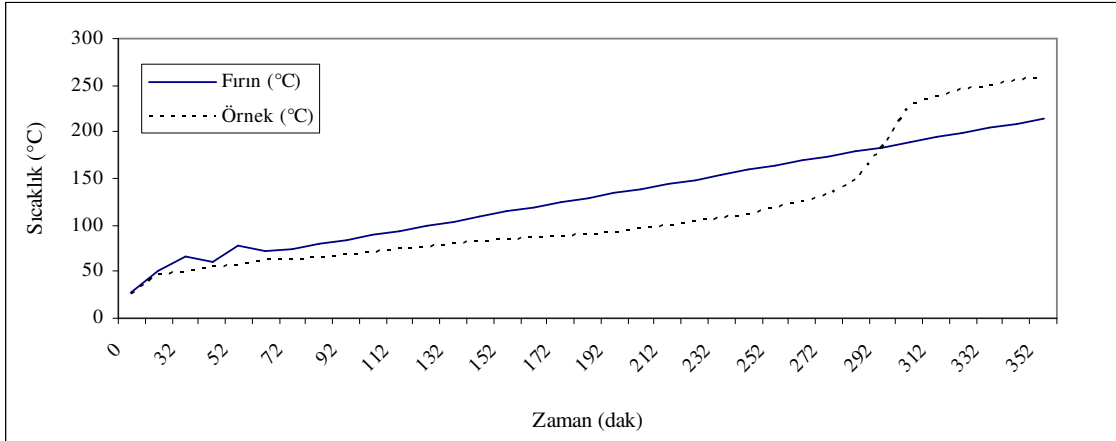
Ek.1.7 SLİ S30 panosu B3 damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	27	25	-	192	134	92	42
22	50	46	ramp	202	139	95	44
32	67	49	18	212	144	99	45
42	60	54	6	222	149	103	46
52	78	56	22	232	154	107	47
62	72	62	10	242	159	112	47
72	74	63	11	252	164	118	46
82	79	64	15	262	169	124	45
92	84	68	16	272	174	132	42
102	89	71	18	282	179	149	30
112	94	74	20	292	184	184	0
122	99	76	23	302	189	227	-38
132	104	79	25	312	194	238	-44
142	109	81	28	322	199	245	-46
152	114	83	31	332	204	250	-46
162	119	85	34	342	209	256	-47
172	124	87	37	352	214	260	-46
182	129	90	39				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 185 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.746 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 9.44 dak⁻¹



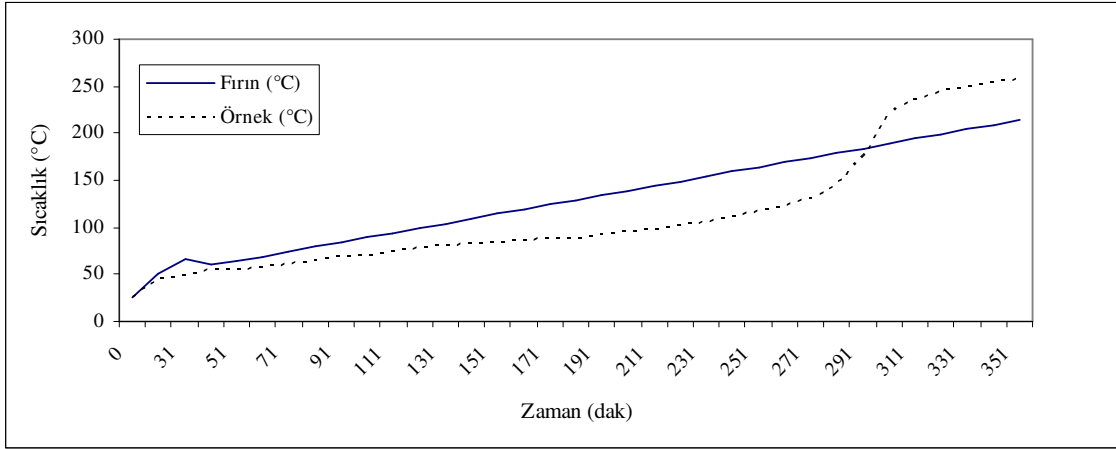
Ek.1.8 SLİ S30 panosu B3 damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	25	25	-	191	134	92	42
21	50	45	ramp	201	139	95	44
31	67	48	19	211	144	98	46
41	60	54	6	221	149	102	47
51	64	55	9	231	154	106	48
61	69	57	12	241	159	111	48
71	74	60	14	251	164	116	48
81	79	65	14	261	169	123	46
91	84	68	16	271	174	131	43
101	89	71	17	281	179	144	35
111	94	75	19	291	184	175	11
121	99	77	22	301	189	221	-32
131	104	79	25	311	194	236	-42
141	109	81	28	321	199	244	-45
151	114	83	31	331	204	249	-45
161	119	85	34	341	209	254	-45
171	124	87	37	351	214	258	-44
181	129	88	41				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 186 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.774 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 9.54 dak⁻¹



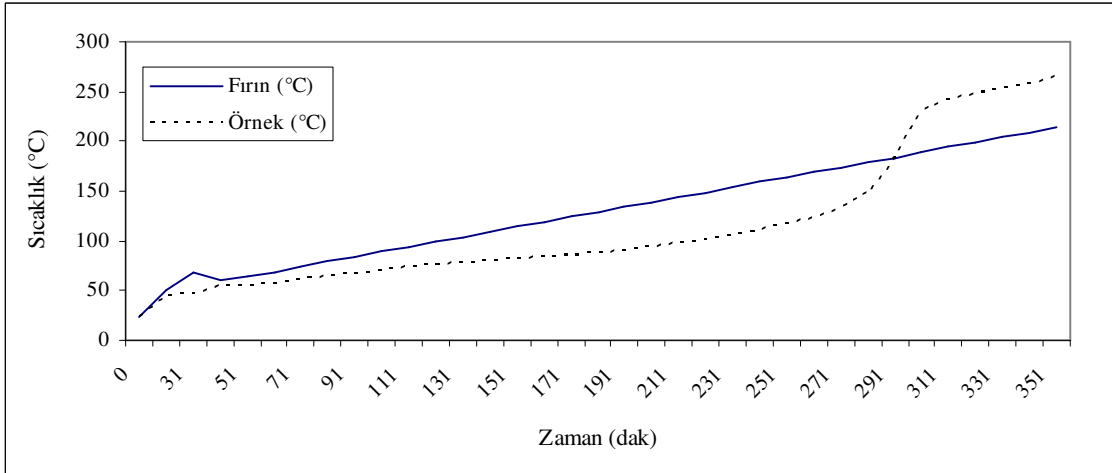
Ek.1.9 SLİ S30 panosu B3 damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	191	134	90	44
21	50	44	ramp	201	139	94	45
31	68	47	21	211	144	98	46
41	60	54	6	221	149	102	47
51	64	55	9	231	154	106	48
61	69	57	12	241	159	111	48
71	74	60	14	251	164	117	47
81	79	64	15	261	169	123	46
91	84	67	17	271	174	133	41
101	89	70	19	281	179	148	31
111	94	74	20	291	184	184	0
121	99	76	23	301	189	230	-41
131	104	78	26	311	194	241	-47
141	109	79	30	321	199	248	-49
151	114	82	32	331	204	253	-49
161	119	83	36	341	209	258	-49
171	124	86	38	351	214	264	-50
181	129	88	41				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 185 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.897 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 10.25 dak⁻¹



**EK 2. GLİ M5, BEKE – YÖRGÜÇ, BY – H VE 48 C – 5 PANO DAMARLARINA AİT
DENEY SONUÇLARI VE ZAMAN – SICAKLIK EĞRİLERİ**

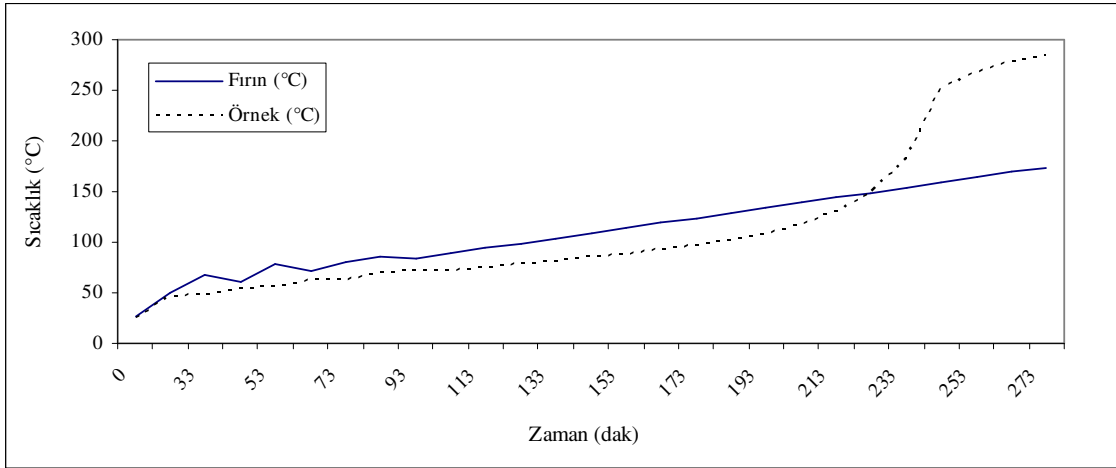
Ek.2.1 GLİ Ömerler M5 pano damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	26	25	-	153	114	88	26
23	50	46	ramp	163	119	92	27
33	67	49	18	173	124	96	28
43	60	54	6	183	129	101	28
53	78	56	22	193	134	107	27
63	72	62	10	203	139	117	22
73	81	63	18	213	144	131	13
83	85	69	16	223	149	149	0
93	84	71	13	233	154	183	-29
103	89	72	17	243	159	252	-93
113	94	75	19	253	164	268	-104
123	99	78	21	263	169	279	-110
133	104	81	23	273	174	284	-110
143	109	85	24				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 150 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.897 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 12.65 dak⁻¹



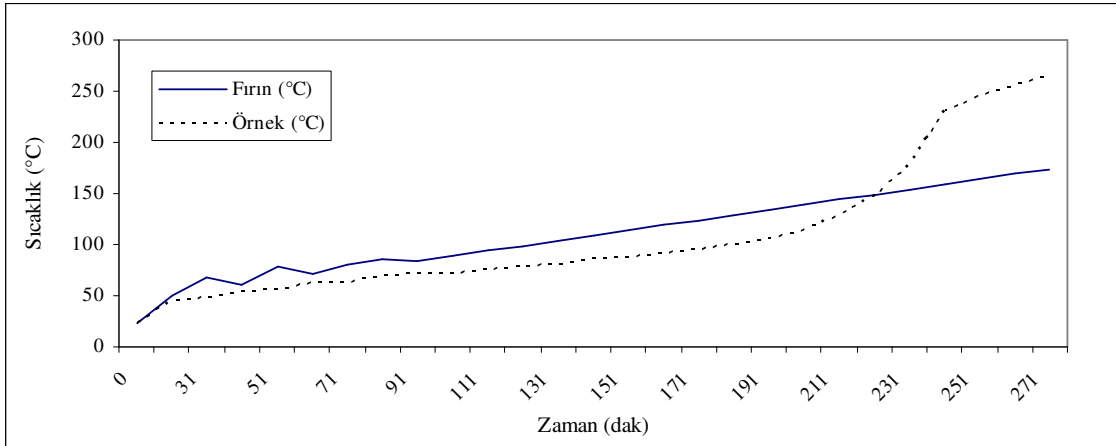
Ek.2.2 GLİ M5 pano damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	151	114	88	26
21	50	45	ramp	161	119	91	28
31	67	48	19	171	124	95	29
41	60	54	6	181	129	100	29
51	78	55	23	191	134	106	28
61	72	62	10	201	139	115	24
71	80	63	17	211	144	129	15
81	86	70	16	221	149	147	2
91	84	71	13	231	154	179	-25
101	89	72	17	241	159	231	-72
111	94	75	19	251	164	245	-81
121	99	78	21	261	169	255	-86
131	104	81	23	271	174	265	-91
141	109	85	24				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 151 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.619 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 17.43 dak⁻¹



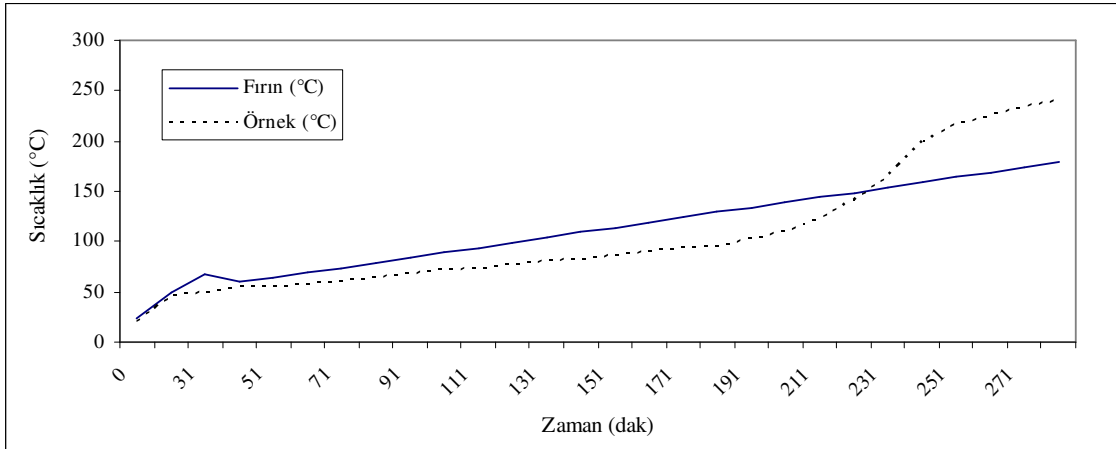
Ek.2.3 GLİ M5 pano damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	23	21	-	151	114	86	28
21	50	45	ramp	161	119	89	30
31	67	49	18	171	124	93	31
41	60	54	6	181	129	96	33
51	64	55	9	191	134	102	32
61	69	57	12	201	139	110	29
71	74	61	13	211	144	123	21
81	79	64	15	221	149	140	9
91	84	68	16	231	154	164	-10
101	89	71	18	241	159	200	-41
111	94	74	20	251	164	216	-52
121	99	77	22	261	169	225	-56
131	104	80	24	271	174	234	-60
141	109	83	26	281	179	240	-61

Relatif tutuşma sıcaklığı = 153 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.075 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 13.56 dak⁻¹



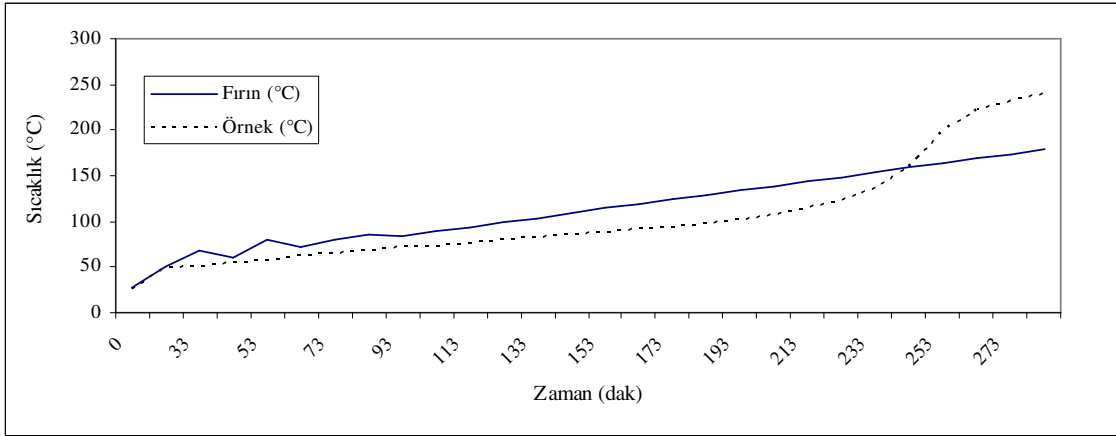
Ek.2.4 GLİ Beke – Yörgüç pano damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	28	25	-	153	114	88	26
23	50	48	ramp	163	119	91	28
33	68	50	18	173	124	94	30
43	60	55	5	183	129	98	31
53	79	57	22	193	134	102	32
63	72	63	9	203	139	107	32
73	80	64	16	213	144	114	30
83	86	69	17	223	149	123	26
93	84	72	12	233	154	136	18
103	89	73	16	243	159	159	0
113	94	76	18	253	164	199	-35
123	99	79	20	263	169	223	-54
133	104	81	23	273	174	232	-58
143	109	85	24	283	179	239	-60

Relatif tutuşma sıcaklığı = 160 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.075 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 12.97 dak⁻¹



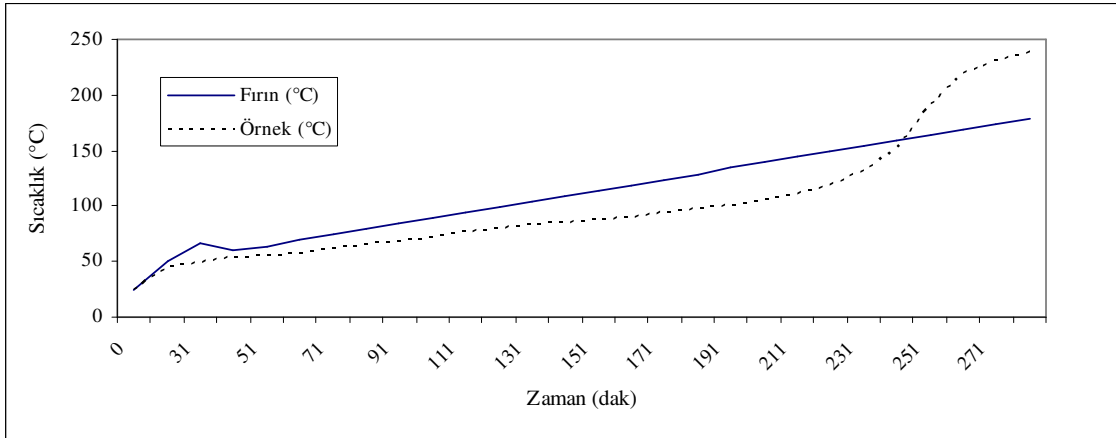
Ek.2.5 GLİ Beke – Yörgüç pano damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	151	114	88	26
21	50	45	ramp	161	119	90	29
31	67	48	19	171	124	94	30
41	60	54	6	181	129	97	32
51	64	55	9	191	134	101	33
61	69	57	12	201	139	105	34
71	74	61	13	211	144	111	33
81	79	65	14	221	149	119	30
91	84	68	16	231	154	131	23
101	89	72	17	241	159	151	8
111	94	76	18	251	164	192	-28
121	99	79	20	261	169	219	-50
131	104	82	22	271	174	230	-56
141	109	85	24	281	179	238	-59

Relatif tutuşma sıcaklığı = 162 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.075 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 12.80 dak⁻¹



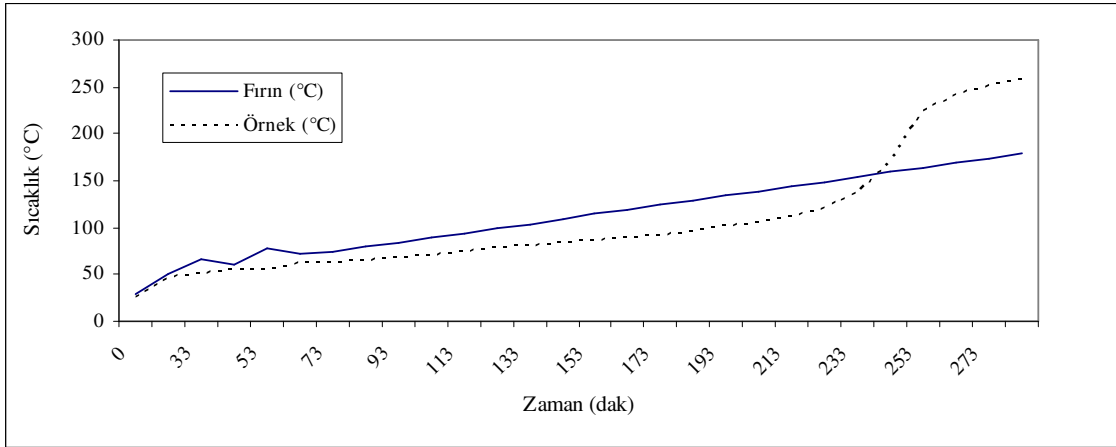
Ek.2.6 GLİ Beke – Yörgüç pano damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	29	26	-	153	114	86	28
23	50	47	ramp	163	119	89	30
33	67	50	17	173	124	92	32
43	60	54	6	183	129	96	33
53	78	55	23	193	134	101	33
63	72	62	10	203	139	105	34
73	74	63	11	213	144	111	33
83	79	65	14	223	149	120	29
93	84	68	16	233	154	136	18
103	89	71	18	243	159	169	-10
113	94	74	20	253	164	224	-60
123	99	77	22	263	169	241	-72
133	104	80	24	273	174	251	-77
143	109	83	26	283	179	257	-78

Relatif tutuşma sıcaklığı = 159 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.619 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 16.47 dak⁻¹



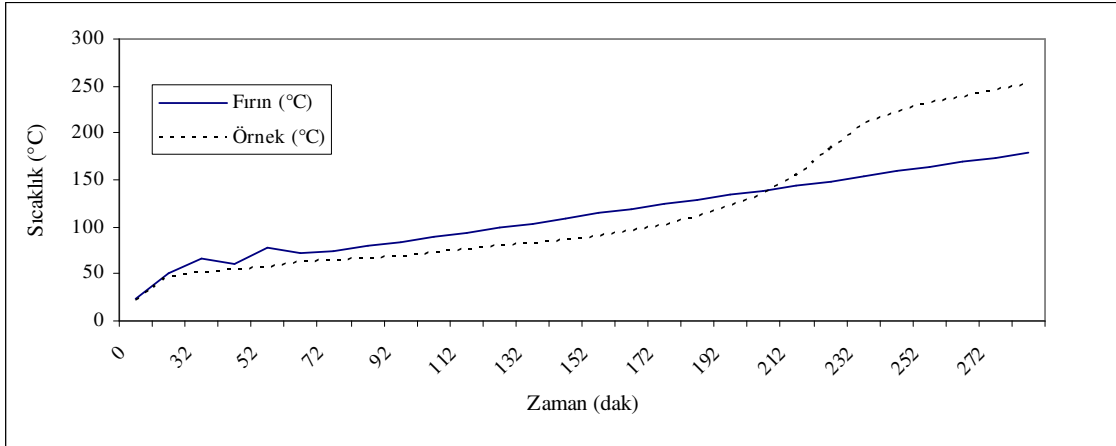
Ek.2.7 GLİ BY – H pano damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	22	-	152	114	90	24
22	50	47	ramp	162	119	95	24
32	67	50	17	172	124	102	22
42	60	55	5	182	129	112	17
52	78	56	22	192	134	123	11
62	72	63	9	202	139	135	4
72	74	64	10	212	144	153	-9
82	79	66	13	222	149	183	-34
92	84	69	15	232	154	211	-57
102	89	72	17	242	159	222	-63
112	94	76	18	252	164	231	-67
122	99	79	20	262	169	237	-68
132	104	82	22	272	174	245	-71
142	109	86	23	282	179	251	-72

Relatif tutuşma sıcaklığı = 142 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.833 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 12.91 dak⁻¹



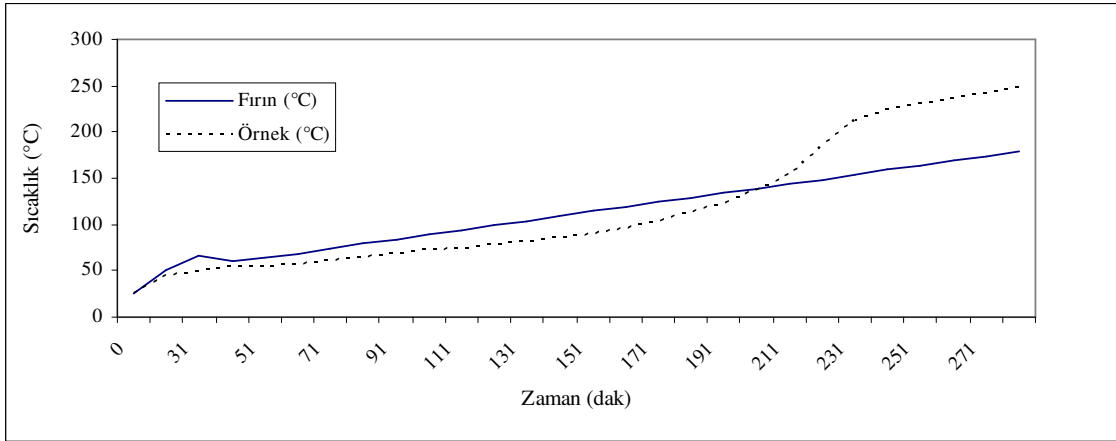
Ek.2.8 GLİ BY – H pano damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	25	25	-	151	114	89	25
21	50	45	ramp	161	119	95	24
31	67	49	18	171	124	103	21
41	60	54		181	129	113	16
51	64	55	9	191	134	123	13
61	69	57	12	201	139	136	3
71	74	61	13	211	144	153	-9
81	79	65	14	221	149	185	-36
91	84	68	16	231	154	213	-59
101	89	72	17	241	159	224	-65
111	94	75	19	251	164	230	-66
121	99	78	21	261	169	236	-67
131	104	81	23	271	174	242	-68
141	109	85	24	281	179	248	-69

Relatif tutuşma sıcaklığı = 142 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.896 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 13.35 dak⁻¹



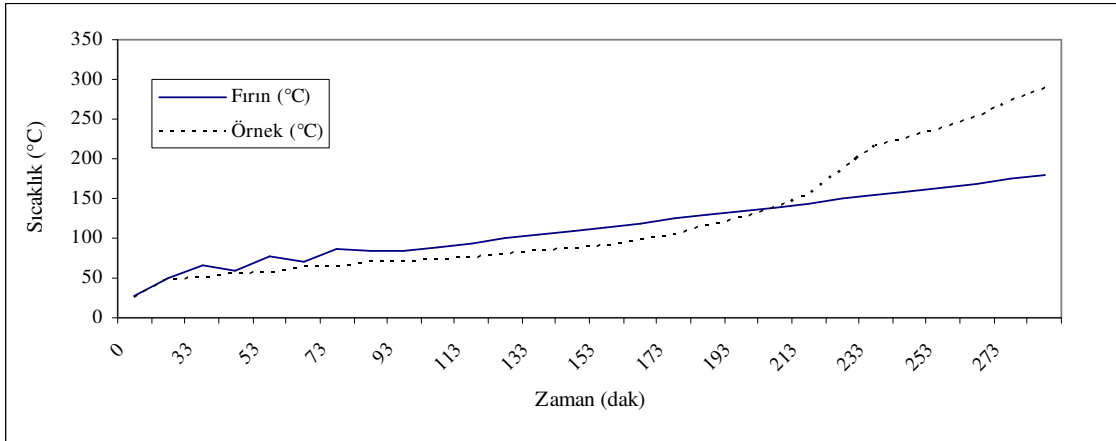
Ek.2.9 GLİ BY – H pano damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	27	24	-	153	114	91	23
23	50	48	ramp	163	119	97	22
33	67	50	17	173	124	105	19
43	60	55	5	183	129	115	14
53	78	57	22	193	134	125	9
63	71	63	8	203	139	138	1
73	86	64	22	213	144	154	-10
83	85	70	15	223	149	187	-38
93	84	71	13	233	154	216	-62
103	89	73	16	243	159	227	-68
113	94	76	18	253	164	239	-75
123	99	79	20	263	169	252	-83
133	104	83	21	273	174	272	-98
143	109	87	22	283	179	289	-110

Relatif tutuşma sıcaklığı = 141 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.896 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 13.45 dak⁻¹



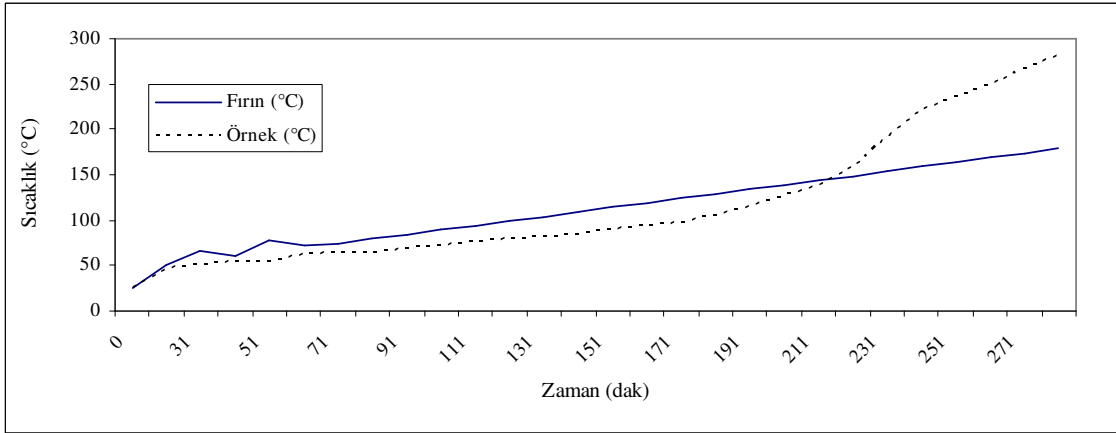
Ek.2.10 GLİ 48 C – 5 pano damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	25	25	-	151	114	89	25
21	50	46	ramp	161	119	93	26
31	67	50	17	171	124	98	26
41	60	54	6	181	129	105	24
51	78	55	23	191	134	114	20
61	73	63	10	201	139	126	13
71	74	64	10	211	144	139	5
81	79	65	14	221	149	158	-9
91	84	69	15	231	154	191	-37
101	89	72	17	241	159	223	-64
111	94	76	18	251	164	236	-72
121	99	79	20	261	169	250	-81
131	104	82	22	271	174	267	-93
141	109	84	25	281	179	280	-101

Relatif tutuşma sıcaklığı = 147 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 2.115 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 14.39 dak⁻¹



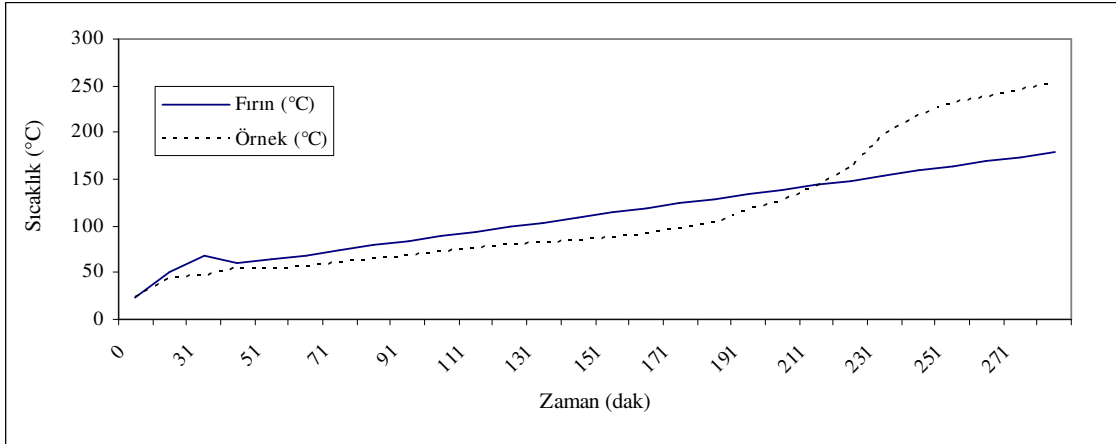
Ek.2.11 GLİ 48 C – 5 pano damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	23	23	-	151	114	88	26
21	50	45	ramp	161	119	92	27
31	68	47	21	171	124	97	27
41	60	54	6	181	129	104	25
51	64	55	9	191	134	116	18
61	69	57	12	201	139	127	12
71	74	61	13	211	144	142	2
81	79	65	14	221	149	162	-13
91	84	69	15	231	154	199	-45
101	89	72	17	241	159	219	-60
111	94	76	18	251	164	231	-67
121	99	79	20	261	169	238	-69
131	104	81	23	271	174	246	-72
141	109	84	25	281	179	254	-75

Relatif tutuşma sıcaklığı = 146 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.964 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 13.45 dak⁻¹



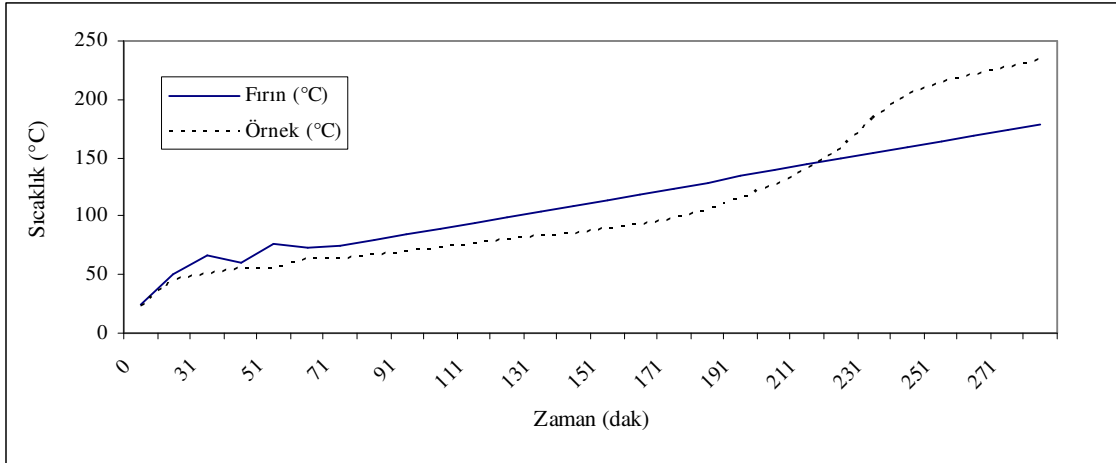
Ek.2.12 GLİ 48 C – 5 pano damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	22	-	151	114	89	25
21	50	46	ramp	161	119	93	26
31	67	50	17	171	124	98	26
41	60	55	5	181	129	105	24
51	76	56	20	191	134	115	19
61	73	63	10	201	139	126	13
71	74	64	10	211	144	140	4
81	79	66	13	221	149	157	-8
91	84	69	15	231	154	184	-30
101	89	73	16	241	159	205	-46
111	94	76	18	251	164	215	-51
121	99	79	20	261	169	221	-52
131	104	82	22	271	174	227	-53
141	109	85	24	281	179	234	-55

Relatif tutuşma sıcaklığı = 147 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 1.506 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 10.25 dak⁻¹



**EK 3. DEĞİRMİSAZ KÖMÜR DAMARINA AİT DENEY SONUÇLARI VE
ZAMAN – SICAKLIK EĞRİLERİ**

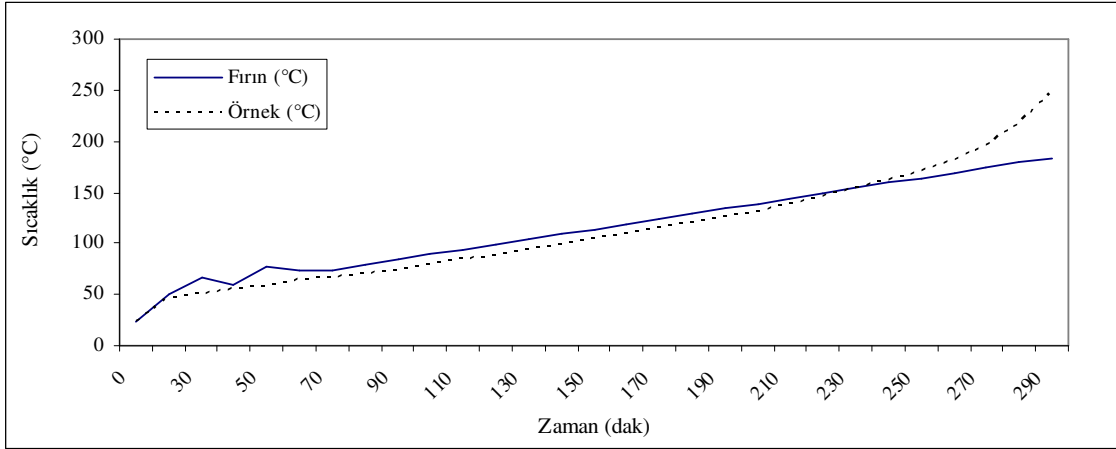
Ek.3.1 Değirmisaz kömür damarı (b) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	24	24	-	160	119	110	9
20	50	46	ramp	170	124	115	9
30	67	50	17	180	129	120	9
40	60	56	4	190	134	126	8
50	78	58	20	200	139	132	7
60	73	65	8	210	144	139	5
70	74	67	7	220	149	146	3
80	79	70	9	230	154	154	0
90	84	74	10	240	159	161	-2
100	89	79	10	250	164	170	-6
110	94	84	10	260	169	182	-13
120	99	88	11	270	174	196	-22
130	104	93	11	280	179	218	-39
140	109	99	10	290	184	248	-64
150	114	104	10				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 155 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 0.909 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 5.87 dak⁻¹



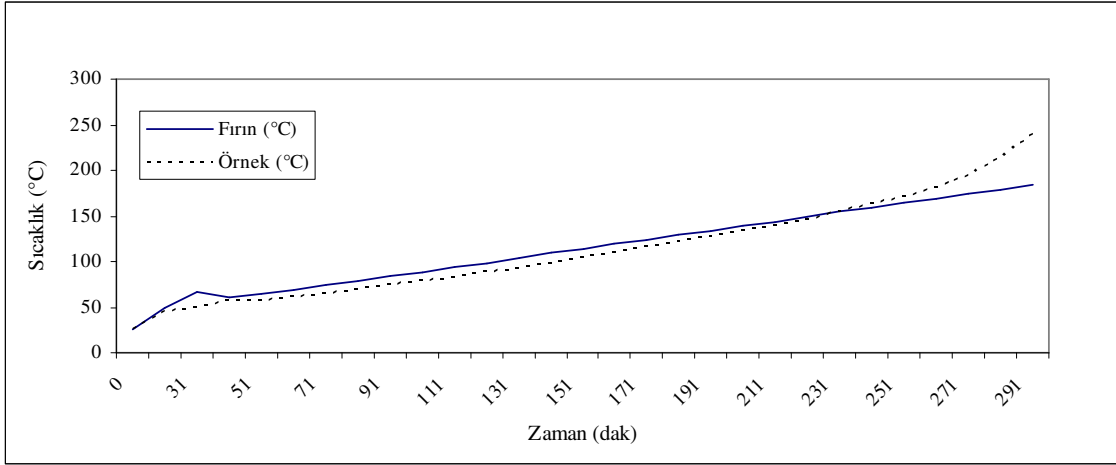
Ek.3.2 Değirmisaz kömür damarı (c) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	25	25	-	161	119	110	9
21	50	46	ramp	171	124	116	8
31	67	50	17	181	129	121	8
41	60	56	4	191	134	127	7
51	64	57	7	201	139	133	6
61	69	60	9	211	144	139	5
71	74	64	10	221	149	146	3
81	79	69	10	231	154	154	0
91	84	74	10	241	159	162	-3
101	89	78	11	251	164	170	-6
111	94	83	11	261	169	181	-12
121	99	88	11	271	174	194	-20
131	104	93	11	281	179	213	-34
141	109	99	10	291	184	239	-55
151	114	104	10				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 155 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 0.894 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 5.78 dak⁻¹



Ek.3.3 Değirmisaz kömür damarı (d) deneyi sonuçları

Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark	Zaman (dak)	Fırın (°C)	Örnek (°C)	Fark
0	27	25	-	161	119	110	9
21	50	46	ramp	171	124	115	9
31	68	50	18	181	129	121	8
41	60	56	4	191	134	126	8
51	78	58	20	201	139	133	6
61	72	65	7	211	144	139	5
71	74	66	8	221	149	146	3
81	79	70	9	231	154	154	0
91	84	74	10	241	159	162	-3
101	89	78	11	251	164	171	-7
111	94	82	12	261	169	182	-13
121	99	87	12	271	174	196	-22
131	104	93	11	281	179	215	-36
141	109	98	11	291	184	239	-55
151	114	104	10				

Relatif tutuşma sıcaklığı = 154 °C

Ortalama sıcaklık artışı = 0.901 °C/dak

Yatkınlık indeksi = 5.85 dak⁻¹

