

## ZONGULDAK KÖMÜRLERİNDE KENDİLİĞİNDEN YANMANIN ERKEN SAPTANMASI AMACIYLA YANMA ÜRÜNÜ GAZLARIN İNCELENMESİ

**The Investigation of Gaseous Combustion Products Aiming at the Early Detection of  
Spontaneous Combustion in Zonguldak Coals**

Nergiz ŞAHİNO  
Vedat DİDARİ(\*\*)

### ÖZET

Bu çalışma yanma ürünü gazların incelenmesini kapsamaktadır. Laboratuvar çalışmaları, Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK)'mm Karadon (Çay, Sulu, Acılık damarlarından) , Kozlu (Büyük, Acılık, Çay damarlarından) ve Amasra (Çınarlı damarından) Müesseselerinden alınan örnekler üzerinde " tutuşma sıcaklığı tekniği" esas alınarak yapılmıştır. Kendiliğinden yanma deneyleri devam ederken gaz analizleri de gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen gaz analizi verilerinin sıcaklıkla değişimleri istatistiksel olarak incelenmiştir. Bütün bu çalışmaların ışığında elde edilen sonuçlara göre; karbonmonoksit gazı ile  $C_2C_6$  alkan grubu gazların, 2,2 di metil propan ve 1-penten gazlarının değerlendirilmeye alınmasının erken tespit çalışmalarında yarar sağlayacağı söylenebilir. Gaz oranlarının da değerlendirilmesi sürekli gözlemlene çalışmalarında yararlı olacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Kömür, Kendiliğinden Yanma, Tutuşma Sıcaklığı, Yanma Ürünü Gazlar, Gaz kromatografisi

### ABSTRACT

in this study gaseous combustion products have been investigated. Laboratory studies, based on "crossing point" technique have been carried out on the coal samples taken from Karadon (Çay, Sulu and Acılık seams), Kozlu (Büyük, Acılık and Çay seams) and Amasra CoUeries (Çınarlı seam) of Turkish Hardcoal Enterprises (TTK). Combustion gases have been analysed during the spontaneous combustion tests. The relations between the combustion gases and temperature have been investigated in a statistical manner. The results obtained in these studies show that the evaluation of the  $C_2C_6$  alcane groups gases, 2,2 dimethyl propane and 1-pentene gases together with carbon monoxide will be useful for early detection. Evaluation of gas ratios will also be useful in continuous observations.

**Key Words:** Coal, Spontaneous Combustion, Ignition Temperature, Gases of Combustion, Gas Chromatography

(\*) Dr. Maden Müh., MTA Batı Karadeniz Bölge Müdürlüğü, 67100, Zonguldak

(\*\*) Prof.Dr., Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak

## 1.GİRİŞ

Kömür, havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen %55 ile %95 arasında değişen oranlarda, serbest veya bileşim halinde karbon içeren, yandığında değişik miktar ve bileşimde kül bırakan organik kökenli tortul bir kayadır (Nakoman, 1971).

Kömür, oksijen ile reaksiyona girebilmekte ve bünyesinde meydana gelen reaksiyonlar sonucu ısı üretilmektedir. Çeşitli faktörlerin etkisi ile üretilen bu ısının, ortam ısısından fazla olması durumunda, kömürde sıcaklık artışı meydana gelmektedir. Sıcaklığın belli bir değere ulaşması ile kömür ocaklarında ve depolama yerlerinde meydana gelen yangınlar gerek emniyet gerekse ekonomik açıdan ciddi problemlere yol açmaktadır. Bu nedenle, yanmanın erken belirlenmesi, kendiliğinden yanma ile mücadele için oldukça önemli olmaktadır.

Günümüzdeki kendiliğinden yanma çalışmaları çoğunlukla kimyasal reaksiyonların araştırılması, yeni indekslerin geliştirilmesi ve oksidasyonun erken tesbiti üzerine olmaktadır. Kendiliğinden yanmanın açık alevli bir yangına dönüşmesinden önce erken tesbit, önlemlerin çok geç kalınmadan alınmasına yardımcı olmaktadır. Gazların ve sıcaklığın izlenmesi, yangın sahalarındaki gelişmeleri anlamının yanı sıra erken tesbitin de önemli bir aracı olmaktadır. Kendiliğinden yanmanın erken belirlenmesi için yapılan çalışmalarda, kömürün oksidasyonu sonucunda açığa çıkan gaz ürünleri incelenmekte ve bu araştırmalarda gaz analiz teknikleri kullanılmaktadır. Araştırmaların çoğunda karbonmonoksit gazının kendiliğinden yanmanın erken belirlenmesinde bir gösterge olabileceği belirtilmekle birlikte (Güney vd., 1969, Chamberlain ve Hail, 1973, Chamberlain vd., 1976) , son yıllarda geliştirilen yeni ve daha hassas gaz analizi teknikleri ile belirleyici başka gazların bulunabileceği, yanma aşamalarının bu gazlar yardımıyla daha kesin tespit edilebileceği vurgulanmaktadır (Purshall ve Ghosh, 1965, Ayvazoğlu, 1978, Chakravorty ve Kolada, 1988, Hawenga, 1993, Suguçhu vd., 1993, Shu vd., 1996, Higuchi, 1999).

Bu çalışmada; kendiliğinden yanma sonucu açığa çıkan gazlar belirlenerek, kömürlerin

kendiliğinden yanmaya yatkınlığının saptanması ve erken tesbit çalışmalarına yardımcı olabilecek bulguların elde edilmesi amaçlanmıştır.

## 2. DENEY DÜZENEGİ VE ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Bu araştırma, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü bünyesinde yer alan Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM) Laboratuvarlarında kurulu Kendiliğinden Yanma Deney Seti'nde gerçekleştirilmiştir. Deneyler "Tutuşma Sıcaklığı (TS)" tekniğine uygun yapılmıştır. Deneyin özü, doğrusal olarak ısıtılan bir yatak (fırın) içine yerleştirilmiş olan bir reaktör içindeki kömür örneği üzerinden hava geçirilmesi ve zaman-sıcaklık ilişkisinin izlenmesidir. Deney setinin şematik görünüşü Şekil 1 'de gösterilmiştir.

### 2.2. Deneysel Çalışma

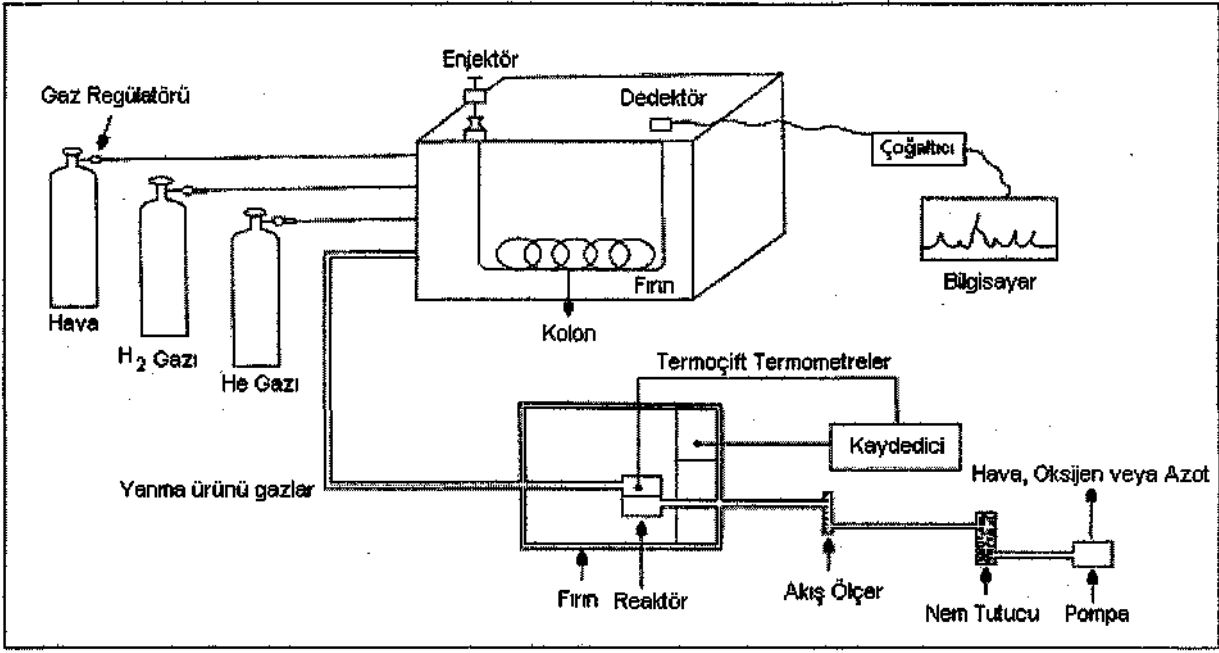
Deneyler için, Karadon Müessesesi'ne ait Çay, Sulu ve Acılık damarlarından toplam 21, Kozlu Müessesesi'ne ait Büyük, Çay ve Acılık damarlarından toplam 28 ve Amasra Müessesesi Çınarlı damarından 6 adet örnek alınmıştır. Kömür damarından alınan örnekler sistematik bir şekilde azaltılmış ve bir miktarı, kömür analizleri için ayrıca torbalanarak ayrılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Deney koşullarına uygun boyut ve miktardaki (-200 mesh, 35 g) kömür örneği reaktör içine konulmuştur. Daha sonra ağız sıkıca kapatılan reaktör firm içine yerleştirilmiştir. Hava giriş ve çıkış boruları reaktöre bağlandıktan sonra teflon bant ile sarılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Sistem çalıştırılarak fırın programlanmış (sıcaklık artışı 0,5 °C/dak) ve arzulan hava akışı (100 cc/dak) sağlanmıştır. İstenilen sıcaklık ve zamanda hava çıkış borusu gaz kromatografına bağlanarak gaz analizi yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bir zaman-sıcaklık grafiği örneği Şekil 2'de verilmiştir.

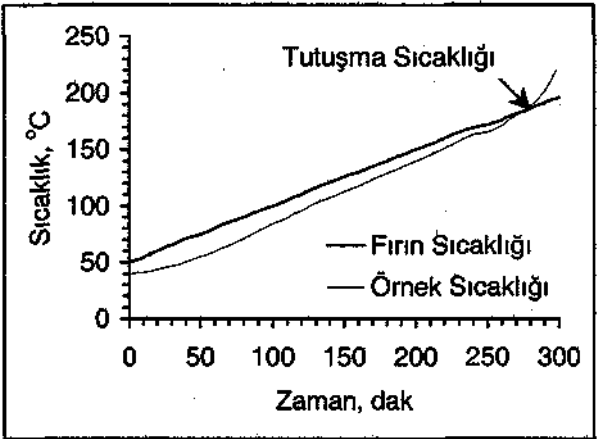
Çizelge 1. Kömür Öfneklerinin Orjinal Bazda Analiz Sonuçları (Şahin, 2002)\*

ÖRNEK NO		NEM %	KUL %	UM %	SK %	C %	H %	N %	O %	ST %	
Z O Q K U L Z O K A M A S R A	<	IV. Kılavuz 7. Pet	2,33	20,79	19,12	57,76	70,57	3,46	0,83	1,43	0,59
		IV. Kılavuz 6. Pet	1,14	8,16	19,71	70,99	78,46	4,00	0,86	6,78	0,60
		IV. Kılavuz 5. Pet	1,26	7,26	21,56	69,92	81,60	4,06	1,08	4,17	0,57
		IV. Kılavuz 4. Pet	1,90	12,00	18,85	67,25	79,25	4,00	0,86	1,22	0,77
		IV. Kılavuz 3. Pet	1,62	7,78	22,21	38,39	79,64	4,04	0,63	5,78	0,51
		IV. Kılavuz 2. Pet	1,62	16,04	16,66	65,68	74,32	4,13	0,76	2,73	0,40
		IV. Kılavuz 1. Pet,	1,63	11,77	20,63	65,97	80,87	4,02	0,70	0,72	0,30
		10. Sarma 4. Pet	0,66	6,35	21,33	71,66	80,85	3,96	0,62	6,70	0,86
		10. Sarma 3. Pet	0,69	6,07	22,72	70,52	75,73	3,74	0,69	12,54	0,54
		10. Sarma 2. Pet	0,70	13,60	17,22	68,48	74,56	3,58	0,58	6,90	0,38
		10. Sarma 1. Pet	0,62	6,05	25,53	67,80	79,62	3,92	0,60	8,86	0,33
		21. Sarma 4. Pet	0,85	7,94	20,16	71,05	79,85	4,00	0,55	5,90	0,91
		21. Sarma 3. Pet	0,70	16,50	20,96	61,84	76,82	3,97	0,61	0,99	0,41
		21. Sarma 2. Pet	0,51	11,04	19,33	69,12	77,45	3,67	0,50	6,43	0,40
		21. Sarma 1. Pet	0,60	6,62	22,62	70,16	75,43	3,99	0,48	12,54	0,34
		12. Sarma 3. Pet	1,96	14,57	20,02	63,45	73,12	2,43	0,25	7,35	0,32
		12. Sarma 2. Pet	1,31	9,97	19,04	69,68	74,70	3,07	0,48	10,16	0,31
		12. Sarma LPet	1,30	17,61	18,96	62,13	75,09	3,75	0,42	1,56	0,27
	20. Sarma 3. Pet	0,75	6,92	21,57	70,76	77,96	3,52	0,68	9,73	0,44	
	20. Sarma 2. Pet	0,79	9,41	21,82	67,98	78,87	3,88	0,74	5,91	0,40	
	20. Sarma 1. Pet	0,70	11,50	18,63	69,17	69,57	3,26	0,66	13,97	0,34	
	I. Kılavuz 5. Pet	0,48	9,59	27,74	62,19	67,66	3,84	0,88	16,83	0,72	
	I. Kılavuz 4. Pet	0,60	11,11	25,81	62,48	68,70	3,45	0,70	14,82	0,62	
	I. Kılavuz 3. Pet	0,78	22,42	22,88	53,92	68,14	3,64	0,57	3,95	0,50	
	I. Kılavuz 2. Pet	0,46	12,06	24,12	63,36	71,61	4,00	0,66	10,75	0,46	
	I. Kılavuz 1. Pet	0,54	13,50	24,70	61,26	78,86	4,27	0,68	1,65	0,50	
	II. Kılavuz 5. Pet	0,70	12,78	25,22	61,30	79,76	4,18	0,72	1,09	0,77	
	II. Kılavuz 4. Pet	0,58	11,25	24,42	63,75	80,89	4,27	0,75	1,64	0,62	
	n. Kılavuz 3. Pet	0,62	13,00	22,90	63,48	79,72	4,27	0,79	1,08	0,52	
	II. Kılavuz 2. Pet	0,45	13,72	21,80	64,03	79,82	3,92	0,75	0,86	0,48	
	n. Kılavuz 1. Pet	0,70	14,28	23,78	61,24	60,07	2,55	2,26	19,43	0,71	
	2. Sarma 5. Pet	0,29	8,25	21,88	69,58	78,77	3,84	1,24	7,13	0,48	
	2. Sarma 4. Pet	0,38	3,50	24,11	72,01	83,60	4,37	0,57	7,07	0,51	
	2. Sarma 3. Pet	0,42	3,62	23,66	72,30	84,49	4,41	0,85	5,80	0,41	
	2. Sarma 2. Pet	0,46	3,28	23,62	72,64	83,86	4,41	0,58	6,96	0,45	
	2. Sarma 1. Pet	0,96	10,08	22,64	66,32	70,76	3,90	0,82	13,00	0,48	
	6. Sarma 5. Pet	0,49	8,66	22,65	68,20	79,65	4,14	1,02	5,13	0,51	
	6. Sarma 4. Pet	0,58	6,17	25,80	67,45	83,70	4,43	0,68	3,97	0,47	
	6. Sarma 3. Pet	0,62	11,44	24,69	63,25	77,20	4,08	0,76	5,44	0,46	
	6. Sarma 2. Pet	0,71	3,94	25,55	69,80	84,27	4,43	0,87	5,36	0,42	
	6. Sarma 1. Pet	0,24	3,58	25,43	70,75	85,06	4,52	0,77	5,37	0,46	
	11. Sarma 5. Pet	0,43	13,41	23,94	62,22	79,60	4,23	0,84	1,18	0,31	
	11. Sarma 4. Pet	0,87	13,33	23,62	62,18	78,42	4,15	0,85	2,07	0,31	
	11. Sarma 3. Pet	0,71	14,04	23,79	61,46	75,82	4,82	0,82	3,40	0,39	
	11. Sarma 2. Pet	0,54	13,27	23,38	62,81	60,82	3,26	1,03	19,88	1,20	
	11. Sarma 1. Pet	0,42	10,55	23,01	66,02	73,56	4,27	0,92	9,87	0,41	
	15. Sarma 3. Pet	0,53	10,98	23,50	64,99	80,85	4,26	0,86	2,20	0,32	
	15. Sarma 2. Pet	1,18	10,52	24,14	64,16	71,80	3,94	0,99	11,26	0,31	
	15. Sarma 1. Pet	0,96	20,71	22,30	56,03	67,41	3,64	0,77	6,06	0,45	
	7. Sarma 3. Pet	3,5	11,28	33,54	51,68	62,73	4,14	0,41	17,22	0,72	
	7. Sarma 2. Pet	3,7	14,70	34,56	47,04	60,53	4,16	0,35	15,86	0,70	
	7. Sarma 1. Pet	3,9	10,18	35,34	50,58	61,04	4,31	0,38	19,52	0,67	
	17. Sarma 3. Pet	3,0	8,32	35,08	53,60	68,60	4,47	0,47	14,48	0,66	
	17. Sarma 2. Pet	2,8	9,97	31,73	55,50	67,39	4,39	0,45	14,37	0,63	
	17. Sarma 1. Pet	3,5	11,87	34,04	50,59	63,67	4,41	0,43	15,47	0,65	

Pet = Petrografik band, UM = Uçucu madde, SK = Sabit karbon, C= Karbon, H ±= Hidrojen, N = Azot, O=Oksijen, ST = Toplam küllük



Şekil 1. Kendiliğinden yanma deney seti



Şekil 2. Zaman-sıcaklık grafiği.

Bu grafikte, fırın ısınma eğrisinin, kömür ısınma eğrisi ile kesişme noktası (crossing point) saptanmış ve bu değere 1 eklenerek kömürün tutuşma sıcaklığı bulunmuştur. Kömürün 110 °C sıcaklıkta olduğu zaman ile 220 °C 'ye ulaştığı zaman belirlenerek, 110-220 °C arasındaki ortalama sıcaklık artışı (OSA) 1 nolu eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$OSA = \frac{220 - 110}{220 - 110} \times 1000 \quad d)$$

OSA = Ortalama sıcaklık artışı, °C/dak  
= 220 °C 'ye karşılık gelen zaman, dak  
ti = 110 °C 'ye karşılık gelen zaman, dak

Deney verilerinden elde edilen bu bilgiler doğrultusunda, yanabilirlik indeksi 2 nolu eşitlikle hesaplanmıştır (Feng vd., 1973).

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

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

Bu indekse göre yapılacak olan yorumlar Çizelge 2'deki gibidir.

Çizelge 2. FCC Yanabilirlik İndeksi, (Feng vd., 1973).

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

Çizelge 3, Karadon Taşkömürü İşletme Müessesesi'nden Alınan Kömür Örneklerinin Kendiliğinden Yanma Denev Sonuçları (Şahin, 2002)\*

ÖRNEK NO		TS °C	OSA' °C/dak	FCC l/dak	RİSK DURUMU		
K A R A D O N	>	IV. Kılavuz 7. Pet	184	0,719	3,91	Düşük	
		IV. Kılavuz 6. Pet	184	0,636	3,46	Düşük	
		IV. Kılavuz 5. Pet	180	0,827	4,60	Düşük	
		IV. Kılavuz 4. Pet	182	0,724	3,97	Düşük	
		IV. Kılavuz 3. Pet	179	0,786	4,39	Düşük	
		IV. Kılavuz 2. Pet	183	0,724	3,95	Düşük	
		IV. Kılavuz 1.Pet	182	0,683	3,75	Düşük	
	D	10. Sarma 4. Pet	179	0,608	3,39	Düşük	
		10. Sarma 3. Pet	178	0,611	3,43	Düşük	
		10. Sarma 2. Pet	185	0,753	4,07	Düşük	
		10. Sarma 1.Pet	178	0,470	2,64	Düşük	
		21. Sarma 4. Pet	172	0,873	5,08	Orta	
		21. Sarma 3. Pet	179	0,839	4,69	Düşük	
		21. Sarma 2. Pet	180	0,709	3,94	Düşük	
	21. Sarma 1.Pet	175	0,853	4,87	Düşük		
	<	12. Sarma 3. Pet	186	0,733	3,94	Düşük	
		12. Sarma 2. Pet	180	0,809	4,49	Düşük	
		12. Sarma 1.Pet	182	0,759	4,17	Düşük	
		20. Sarma 3. Pçt	175	0,873	4,98	Düşük	
		20. Sarma 2. Pet	176	0,873	4,96	Düşük	
		20. Sarma 1.Pet	177	0,839	4,74	Düşük	
K O Z L U	O	I. Kılavuz 5. Pet	171	0,948	5,51	Orta	
		I. Kılavuz 4. Pet	171	0,833	4,87	Düşük	
		I, Kılavuz 3. Pet	171	0,909	5,31	Orta	
		I. Kılavuz 2. Pet	168	0,948	5,60	Orta	
		I. Kılavuz 1. Pet	166	1,100	6,63	Orta	
		II. Kılavuz 5. Pet	167	0,991	5,93	Orta	
		II. Kılavuz 4. Pet	167	1,000	5,99	Orta	
		II. Kılavuz 3. Pet	168	0,948	5,64	Orta	
		II. Kılavuz 2, Pet	165	0,991	6,00	Orta	
		II, Kılavuz 1.Pet	164	0,965	5,88	Orta	
	U	iki	2. Sarma 5. Pet	170	0,902	5,27	Orta
			2. Sarma 4. Pet	170	0,940	5,53	Orta
			2. Sarma 3. Pet	167	0,973	5,83	Orta
			2. Sarma 2. Pet	166	1,009	6,08	Orta
			2. Sarma 1.Pet	167	0,932	5,58	Orta
		U	6. Sarma 5. Pet	170	0,924	5,44	Orta
			6. Sarma 4. Pet	165	1,009	6,12	Orta
			6. Sarma 3. Pet	166	0,965	5,81	Orta
			6. Sarma 2. Pet	162	1,028	6,35	Orta
			6, Sarma 1. Pet	164	1,009	6,15	Orta
			>	11. Sarma 5. Pet	171	0,894	5,23
11. Sarma 4-Pet	170	0,880		5,18	Orta		
11. Sarma 3. Pet	170	0,924		5,43	Orta		
11. Sarma 2. Pet	180	0,786		4,37	Düşük		
11. Sarma 1.Pet	168	0,973		5,79	Orta		
<	15. Sarma 3. Pet	169	0,909	5,37	Orta		
	15. Sarma 2. Pet	170	0,940	5,53	Orta		
	15. Sarma 1.Pet	177	0,846	4,77	Düşük		
A M A S R A	Z/Ş	7. Sarma 3. Pet	143	0,982	6,92	Orta	
		7. Sarma 2. Pet	143	0,714	4,99	Düşük	
		7. Sarma 1.Pet	144	0,598	4,15	Düşük	
		17. Sarma 3. Pet	141	0,753	5,37	Orta	
		17. Sarma 2. Pet	143	0,738	5,16	Orta	
		17. Sarma 1.Pet	140	0,846	6,04	Orta	

Pet = Petrografik band, TS = Tutuşma sıcaklığı, OSA = Ortalama sıcaklık artışı, FCC = Yanabilirlik indeksi

Tüm bu hesaplamalar ile ilgili sonuçlar Çizelge 3'de verilmiştir.

Gaz analizleri HP 5890 Series II marka gaz kromatografmda gerçekleştirilmiştir. Kromatografda FID (Flame Ionisation Dedector-Alev İyonlaşma Dedektörü) ve TCD (Thermal Conductivity Dedector-Isı İletme Dedektörü) ile 3 tip kapiler kolon kullanılmıştır.

Kendiliğinden yanma deneyleri devam ederken istenilen sıcaklıklarda kromatograf devreye sokularak yanma ürünü gazların analizi gerçekleştirilmiştir.

Gaz analizlerinin 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180 ve 200 °C sıcaklıklarda yapılması hedeflenmiştir. Fakat belirlenmesi istenen gazların kromatografda tespit edilmesi (gaz analiz süresi) 20 dakika sürmektedir. Kömür örneklerinin sıcaklık artışlarındaki değişikliklerden (özellikle kömür örneğinin sıcaklığı kesişme noktasına ulaştıktan sonra sıcaklık artışının hızlanmasından) dolayı bu sıcaklıkların dışına çıkılması zorunluluğu doğmuştur.

Kromatografda C<sub>1</sub>-C<sub>6</sub> alkan grubu (metan, etan, propan, n-bütan, n-pentan, n-hekzan), dallara ayrılmış alkanlar (izo-bütan, 2,2 di metil propan, 2 metil bütan, 2 metil pentan), C<sub>2</sub>-C<sub>6</sub> alken grubu (etilen, propilen, 1-büten, 1-penten, 1 hekzen), 2-alken grubu (trans 2 bütan, cis 2 bütan, trans 2 penten, cis 2 penten, trans 2 hekzen, cis 2 hekzen), asetilen ve karbondioksit, oksijen, azot, hidrojen ile karbonmonoksit gazları incelenmiştir. Bu gazlardan yanma süresince duraylılık gösterenler değerlendirmeye alınmıştır. Çizelge 4'de gözlemlenen bazı gaz değerleri verilmiştir.

### 3. DEĞERLENDİRME

Aşağıda deneysel çalışmalarla elde edilen veriler ışığında, kömür örneklerinin kendiliğinden yanması sonucunda açığa çıkan gazlar ve bu gazların sıcaklıkla ilişkisi istatistiksel olarak açıklanmıştır (Şahin, 2002).

### 3.1. Kendiliğinden Yanma Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Karadon Müessesesi'nden alınan kömür örneklerinin (Çay, Sulu ve Acılık damarları) kaba analizlerine bakıldığında (Çizelge 1) nem içeriği %0,51 ile %2,33, kül içeriği %6,07 ile %20,79, uçucu madde içeriği % 16,66 ile %25,53 ve sabit karbon içeriği %38,39 ile %71,66 arasında değiştiği görülmektedir.. Elementer analiz değerleri olarak, C %73,12 ile %81,60, H %2,43 ile %4,13, N %0,25 ile %1,08, O %0,72 ile %13,97 ve toplam-S %0,27 ile %0,91 arasında olmaktadır.

Karadon örneklerinin kendiliğinden yanma deney sonuçlarına bakıldığında, tutuşma sıcaklığı değerleri 172°C ile 186°C, OSA 0,470°C/dak ile 0,873°C/dak arasında değişmektedir. İndeks değeri ise 2,64 l/dak ile 4,98 l/dak arasında olup risk durumu "düşük"tür.

Kozlu Müessesesi'nden alınan kömür örneklerinin (Büyük, Çay ve Acılık damarları) kaba analizlerine bakıldığında (Çizelge 1) nem içeriği %0,29 ile %1,18, kül içeriği %3,28 ile %22,42, uçucu madde içeriği %21,80 ile %27,74 ve sabit karbon içeriği %61,14 ile %69,80 arasında değiştiği görülmektedir. Elementer analiz değerleri ise, C %60,07 ile %85,06, H %2,55 ile %4,82, N %0,57 ile %2,26, O %0,86 ile % 19,88 ve toplam S %0,31 ile %0,77 arasında yer almaktadır.

Kozlu örneklerinin kendiliğinden yanma deney sonuçlarına bakıldığında, tutuşma sıcaklığı değerleri 162°C ile 177°C, OSA 0,880°C/dak ile 1,028°C/dak arasında değiştiği görülmektedir. İndeks değeri ise 4,37 l/dak ile 6,08 l/dak arasında olup risk durumu "orta"dır.

Amasra Müessesesi'nden alınan kömür örneklerinin (Çınarlı damarı) kaba analizlerine bakıldığında (Çizelge 1) nem içeriği %2,8-3,9, kül içeriği %8,32 ile % 14,70, uçucu madde içeriği %31,73 ile %35,34 ve sabit karbon içeriği %47,04 ile %55,50 arasında değişmektedir. Elementer analiz değerleri ise, C %60,53 ile %68,60, H %4,14 ile %4,47, N %0,35 ile %0,47, O % 14,37 ile % 19,52 ve toplam S %0,63 ile %0,72 arasında yer almaktadır.

Çizelge 4. Kömür Örneklerinde Kendiliğinden Yanma Ürünü Gazların Analiz Sonuçları (Şahin, 2002) .

Ömek No	Sıcaklık °C	COi %	H <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	CO ppm	Metan ppm	Etan ppm	Etilen ppm	Propan ppm	Propilen ppm	2.2 Di Metil Propan ppm	n Bütan ppm	Trans 2 Bütan ppm	Trans2 Penten ppm	Cis2 Penten ppm	2 Metil Bütan ppm	n Pentan ppm	1 Penten ppm	n Hekzan ppm	Trans 2 Hekzen ppm	1 Hekzen ppm	Cis2 Hekzen ppm	2 Metil Pentan ppm
KARADON ÇAY IV. KILAVUZ3.PET	125	0,894	4,046	19,077	74,755		8,528	7,225	169,315	29,963	67,726	105,489	16,931		56,911		975,112	10779,422	48,933	8,129			8,599
	142	0,832	5,563	18,223	74,085		14,612	9,298	161,169	54,638	84,481	107,151	42,949		164,712	2,364		12264,810	50,742	10,981			11,512
	162	0,752	5,660	17,437	74,222	1300	29,382	16,430		139,087	56,852	106,054	111,270		296,430	1,156	718,038	16316,679	55,374	7,024	0,748	4,407	16,951
	183	0,916	4,797	14,555	77,367	2180	57,852	29,240		104,941	74,356	118,395	167,726		247,553		748,040	19687,630	55,251	14,261		47,717	27,446
KOZLU BÜYÜK İKILAVUZ 3.PET	100	1,104	12,349	17,331	69,207		0,535	1,195		0,498		4,320	0,036						0,249				0,076
	120	1,128	12,952	17,133	68,779		0,586	1,210		0,451		4,434	0,044						0,314				0,078
	140	1,190	12,630	16,559	69,610		1,238	1,904		0,612		3,808	0,114	0,782					0,401	1,552		0,971	0,148
	160	0,950	12,834	14,264	71,519	4120	1,901	2,185		0,603		5,124	0,116		1,665				3,919	1,959		1,842	0,748
	187	0,880	15,069	7,607	75,778	6080	17,594	3,809	0,179	1,863	1,345	8,580	0,828	0,724	7,244				5,185	7,244		2,950	1,480
AMASRA ÇINARLI 7.SARMA 3.PET	100	1,542	9,277	17,021	72,158		609,97	228,17		300,47	179,60	88,44	100,19										324,19
	120	1,478	13,084	14,399	71,036		1184,37	443,04		463,88		108,12	173,27						49,02				105,16
	146	1,683	19,563	11,056	67,644		3963,34	1475,93	218,81	946,45		300,34	331,31					46135,8	100,52				
	174	1,465	15,836	5,093	76,824	6240	5474,74	3206,63	4279,24	1128,46	720,65	500,54	688,25		3396,57	28,82	20111,30	72624,1	320,66		176,53		26,92
	190	1,926	11,643	15,934	70,394		9205,56	3512,49	4585,10	1284,77	479,72	531,58	464,40		341,82	227,48		83569,0	238,09		371,28		78,97

Amasra örneklerinin kendiliğinden yanma deney sonuçlarına bakıldığında, tutuşma sıcaklığı değerleri 141°C ile 144°C, OSA 0,598 °C/dak ile 0,982 °C/dak arasında değiştiği görülmektedir. İndeks değeri ise 4,15-6,92 1/dak arasında olup risk durumu "orta"dır.

### 3.2. Kendiliğinden Yanma Ürünü Gazların Değerlendirilmesi

Kendiliğinden yanmanın erken tespitinde kullanılacak olan gazlarda, öncelikle aşağıda verilen kriterlerin sağlanması istenmektedir (Şensöğüt, 1997).

Kendiliğinden yanmanın ilk aşamalarında bu gazların yeterli hassasiyette ölçülebilir oranlarda oluşması,  
Oksidasyonun ilerlemesine uyumlu bir eğilim göstermesi,  
Başka gazlara dönüşmemesi gerekmektedir.

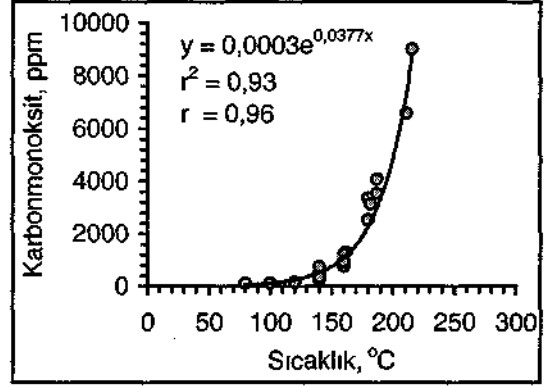
Bu kriterleri sağlayacak oksidasyon gazını tespit etmek oldukça zor olmaktadır. Çünkü, kömürün oksidasyonunu etkileyen birçok iç ve dış faktör bulunmaktadır. Bu çalışmada, kendiliğinden yanma süresince, yanma ürünü gazların sıcaklıkla değişimleri göz önünde bulundurulmuş ve buna dayanarak regresyon ve varyans analizi yapılmıştır.

Regresyon denklemlerinde; sıcaklık bağımsız değişken seçilirken, incelenen gazlar ise bağımlı değişken olarak seçilmiştir (Çizelgeler 5-13).

Modellerde kullanılan bağımsız değişkenin (sıcaklığın), modeller için önemli olup olmadığını belirlemek amacıyla regresyon katsayılarının t değerleri hesaplanmıştır, t değerleri t<sub>α</sub>, değerlerinden büyük olduğundan sıcaklığın modeller için önemli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca modellerin geçerliliği için varyans analizi ile F-testi yapılmıştır. F değerlerinin F<sub>α</sub>, değerlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuç uygulanan regresyon modellerinin geçerliliğini göstermektedir.

Karbonmonoksit gazının tutuşma sıcaklığına yaklaşırken 120 °C ile 140 °C sıcaklıklarda çıkış yapmakta olduğu ve sıcaklıkla hızlı bir biçimde arttığı görülmüştür (Şekil 3). Kozlu Büyük damardan alınan kömür örneklerinde ise örnekler

tutuşma sıcaklığına ulaştıktan çok sonra karbonmonoksit gazının çıkışı gözlenmiştir. Ayrıca karbonmonoksit gazı çıkışının etilen ve propilen gazlarından etkilendiği de belirlenmiştir (Amasra Müessesesi Çınarlı Damarı).



Şekil 3. Karadon Müessesesi Çay damarında sıcaklığa bağlı olarak karbonmonoksit gazının çıkışı

Amasra Müessesesi Çınarlı damarında Çizelge 11'de görüldüğü gibi sıcaklık karbonmonoksit gazındaki değişimin %53'lük bir kısmını açıklamaktadır. Yanma süresince karbonmonoksit gazı çıkışını etkileyen başka bir etmen arandığında hemen hemen aynı sıcaklıkta çıkış gösteren etilen ve propilen gazlarına bakılmıştır. Etilen karbonmonoksitteki değişimin %97'lik ve yine propilen karbonmonoksitteki değişimin %85'lik gibi büyük bir bölümünü açıklamaktadır. Etilen ve propilen gazlarının karbonmonoksitle ilişkisi sırası ile %98 ve %92'dir (Çizelgeler 14 ve 15).

Üç müesseseden alınan kömür örneklerinin hepsinde metan gazı 80 °C'den itibaren çıkış göstermiştir. Çıkış miktarı ppm mertebesinde olmaktadır.

Tutuşma sıcaklığına doğru gaz çıkış miktarının arttığı ve tutuşma sıcaklığından sonra miktarın en yüksek değerine ulaştığı belirlenmiştir. Sıcaklıkla metan arasında, genelde %80'nin üzerinde çok iyi bir ilişki bulunmuştur (Şekil 4).

Etan gazı da metan gazı ile hemen hemen aynı sıcaklıkta çıkmakta ve artan sıcaklıkla artış



Çizelge 5. Karadon Müessesesi Çay Damarına Ait Regresyon ve Varyans Analizleri\*

	CO	metan	etan	propan	propilen	izo-bütan	2,2 di metil propan	n-bütan	1-penten	n-hekzan
>	$y = 0,0003e^{0,0377x}$	$y = 0,1822e^{0,0318x}$	$y = 0,0046e^{0,0287x}$	$y = -5E-4x^2 + 0,145x - 6,242$	$y = 0,8154e^{0,0261x}$	$y = 0,0042x - 0,241$	$y = 9,495e^{0,0149x}$	$y = 0,0263x^{0,9345}$	$y = 1504,8e^{0,0157x}$	$y = 0,2975e^{0,0105x}$
<	$r = 0,96$	$r = 0,98$	$r = 0,87$	$r = 0,67$	$r = 0,96$	$r = 0,97$	$r = 0,93$	$r = 0,71$	$r = 0,93$	$r = 0,89$
U"	$r = 0,93$	$r = 0,96$	$r = 0,77$	$r = 0,45$	$r = 0,93$	$r = 0,94$	$r^2 = 0,87$	$r = 0,50$	$r^2 = 0,86$	$r^2 = 0,80$
	$F = 225,17$	$F = 345,52$	$F = 73,99$	$F = 6,58$	$F = 112,73$	$F = 122,06$	$F = 94,83$	$F = 17,29$	$F = 48,48$	$F = 65,62$
	$t_{b,} = 15,01$	$t_b = 18,59$	$t_b = 8,60$	$tb = --$	$t_{b,} = 10,62$	$tb = 11,05$	$t_{b,} = 10,54$	$t_b = 4,16$	$t_b = 6,96$	$tb = 8,10$

Çizelge 6. Karadon Müessesesi Sulu Damarına Ait Regresyon ve Varyans Analizleri\*

	CO	metan	etan	etilen	propan	propilen	2,2 di metil propan
D	$y = 0,0002e^{0,0368x}$	$y = 0,001e^{0,0314x}$	$y = 0,003e^{0,0373x}$	$y = 4E-11x^{4,3401}$	$y = 0,0022x + 0,005$	$y = 0,0019e^{0,0252x}$	$y = 0,0207e^{0,017x}$
v	$r = 0,88$	$r = 0,79$	$r = 0,70$	$r = 0,74$	$r = 0,50$	$r = 0,73$	$r = 0,75$
	$r = 0,77$	$r = 0,62$	$r = 0,84$	$r = 0,55$	$r^2 = 0,25$	$r^2 = 0,53$	$r^2 = 0,56$
	$F = 121,12$	$F = 81,36$	$F = 116,98$	$F = 14,58$	$F = 12,15$	$F = 15,73$	$F = 53,03$
	$tb = 11,01$	$t_b = 9,02$	$t_b = 10,82$	$t_b = 3,82$	$t_b = 3,49$	$t_b = 3,97$	$tb = 7,28$

Çizelge 7. Karadon Müessesesi Acılık Damarına Ait Regresyon ve Varyans Analizleri\*

	CO	metan	etan	etilen	propilen	asetilen	izo-bütan	2,2 di metil propan
w	$y = 5E-05e^{0,0448x}$	$y = 0,0013e^{0,0304x}$	$y = 0,0003e^{0,0303x}$	$y = 7E-07e^{0,0601x}$	$y = 2E-07e^{0,0621x}$	$y = 0,0041x - 0,402$	$y = 1E-09x^{3,5565}$	$y = 0,0017x - 0,0964$
i	$r = 0,96$	$r = 0,94$	$r = 0,92$	$r = 0,81$	$r = 0,87$	$r = 0,97$	$r = 0,84$	$r = 0,95$
<	$r = 0,92$	$r^2 = 0,88$	$r^2 = 0,85$	$r^2 = 0,66$	$r^2 = 0,75$	$r^2 = 0,95$	$r = 0,71$	$r = 0,91$
	$F = 315,84$	$F = 227,69$	$F = 227,62$	$F = 11,61$	$F = 20,65$	$F = 36,64$	$F = 19,61$	$F = 30,61$
	$t_b = 17,77$	$t_b = 15,09$	$tb = 15,09$	$t_b = 3,41$	$tb = 4,54$	$t_b = 6,05$	$t_b = 4,43$	$tb = 5,53$

CO = Karbonmonoksit, y = bağımlı değişken, x = bağımsız değişken, r = korelasyon katsayısı, r = belirlilik katsayısı (regresyon modelinin verilere uyumunun bir göstergesi olup, bağımlı değişkendeki değişimin yüzde ne kadannın bağımsız değişkene açıklanabildiğini göstermektedir), F= F testi deneysel verilerin seçilen regresyon modeli ile temsil edilip edilemeyeceğini göstermektedir, tb = regresyon katsayısının önem testinde kullanılmaktadır.

Çizelge 8. Kozlu Müessesesi Büyük Damara Ait Regresyon ve Varyans Analizleri

	metan	2,2 di metil propan	n-bütan	Trans 2 bütan	1-penten
$\hat{y}$	$y=0,017e^{0,33x}$	$y = 0,0106x-0,3431$	$y = 0,0003e^{0,0406x}$	$y = 0,3868e^{0,0154x}$	$y = 11,015e^{0,0164x}$
$r$	0,91	0,98	0,95	0,71	0,97
$r$	0,82	0,97	0,91	0,50	0,95
$F$	256,58	129,67	60,53	9,01	141,19
$t_{\alpha}$	16,02	11,39	7,78	3,00	11,88

Çizelge 9. Kozlu Müessesesi Acılık Damarına Ait Regresyon ve Varyans Analizler\*

	CO	metan	propan	izo-bütan	2,2 di metil propan	n-bütan	cis 2 bütan	cis 2 penten	n-pentan	1-penten	n-hekzan
$\hat{y}$	$y = 7E-05e^{0,043x}$	$y = 0,1003e^{0,025x}$	$y = 0,038e^{0,00x}$	$y = 0,0068x^{0,066}$	$y = 0,119x-9,106$	$y = 0,019x+0,768$	$y = 0,160e^{0,049x}$	$y = 0,1385e^{0,0359x}$	$y = 162e^{0,0188x}$	$y = 96,472e^{0,017x}$	$y = 0,031x-2,43$
$r$	0,97	0,85	0,83	0,89	0,84	0,84	0,97	0,95	0,91	0,94	0,85
$r$	0,95	0,72	0,69	0,79	0,70	0,71	0,94	0,90	0,83	0,88	0,72
$F$	366,49	83,67	50,03	22,19	44,19	10,02	75,36	68,38	94,49	668,63	62,81
$t_{\alpha}$	19,14	9,15	7,07	4,71	6,65	3,17	8,68	8,27	9,72	25,86	7,93

Çizelge 10. Kozlu Müessesesi Çay Damarına Ait Regresyon ve Varyans Analizleri\*

	CO	metan	propan	propilen	Asetilen	2,2 di metil propan	trans 2 bütan	cis 2 bütan	1-Penten	2 metil pentan
$\hat{y}$	$y = 0,0002e^{0,034x}$	$y = 0,0039e^{0,0214x}$	$y = 6,5864e^{0,0153x}$	$y = 0,0021e^{0,0206x}$	$y = 0,0017x-0,0707$	$y = 0,0422e^{0,0125x}$	$y = 0,093e^{0,0244x}$	$y = 5E-10x^{4092}$	$y = 3,2452e^{0,10x}$	$y = 0,0107e^{0,0067x}$
$r$	0,96	0,89	-0,87	0,77	0,84	0,94	0,94	0,96	0,90	0,95
$r$	0,93	0,80	0,76	0,60	0,70	0,89	0,88	0,92	0,81	0,91
$F$	225,50	179,48	102,07	9,13	19,00	251,01	37,56	72,36	34,31	28,64
$t_{\alpha}$	15,02	13,40	10,10	3,02	4,36	15,84	6,13	8,51	5,86	5,35

CO = Karbonmonoksit, y = bağımlı değişken, x = bağımsız değişken, r = korelasyon katsayısı, r = belirlilik katsayısı (regresyon modelinin verilere uyumunun bir göstergesi olup, bağımlı değişkendeki değişimin yUzde ne kadarının bağımsız değişkence açıklanabildiği göstermektedir), F= F testi deneysel verilerin seçilen regresyon modeli ile temsil edilip edilemeyeceğini göstermektedir,  $t_{\alpha}$  = regresyon katsayısının önem testinde kullanılmaktadır.

Çizelge 11. Amasra Müessesesi Çınarlı Damarına Ait Regresyon ve Varyans Analizleri\*

	CO	metan	etan	etilen	propan	propilen	2,2 di metil propan	n-bütan
$y =$	$0,0067e^{0,00254x+1}$	$89,694e^{0,00272x}$	$39,642e^{0,0244x}$	$0,0618e^{0,00608x}$	$22,047e^{0,0243x}$	$10,046e^{0,00255x}$	$0,0008x^{2,5304}$	$4,8576e^{0,0027x}$
$r =$	0,73	0,88	0,88	0,81	0,93	0,79	0,84	0,92
$r^2 =$	0,53	0,77	0,78	0,66	0,87	0,63	0,70	0,84
$F =$	9,16	98,01	103,23	25,79	185,75	15,38	61,76	134,65
$t_b =$	3,03	9,90	10,16	5,08	13,63	3,92	7,86	11,60

Çizelge 12. Kozlu Müessesesi Büyük ve Çay Damarındaki Gaz Oranlarına Ait Regresyon ve Varyans Analizleri

KOZLU	BÜYÜK			ÇAY			
	etan/ metan	propan/ metan	2,2 di metil propan/ hidrojen	propan/ metan	2,2 di metil propan/metan	n-bütan/ etan	n-bütan/ propan
$y =$	$5E+07x^{-0,001}$	$187750x^{-2,696}$	$1E+06x^{0,5}$	$607,78e^{0,0298x}$	$31,952e^{-0,017x}$	$65,376e^{-0,048x}$	$0,0036x+0,0529$
$r =$	0,85	0,85	0,87	-0,98	0,97	-0,89	0,84
$r^2 =$	0,73	0,73	0,76	0,96	0,95	0,79	0,71
$F =$	157,24	121,52	24,64	1087,56	642,18	122,32	105,08
$t_b =$	12,54	11,02	4,96	-32,98	-25,34	-11,06	10,25

Çizelge 13. Karadon Müessesesi Çay, Sulu ve Acılık Damarındaki Gaz Oranlarına Ait Regresyon ve Varyans Analizleri\*

KARADON	ÇAY					SULU			ACILIK	
	propan/ metan	2,2 di metil propan/metan	n-bütan/ metan	1-pentan/ metan	n-hekzan/ metan	propan/ metan	propan/ etan	2,2 di metil propan/propan	propan/ metan	propan/ etan
$y =$	$1108,9e^{0,0034x}$	$75,014e^{-0,019x}$	$246,14e^{-0,028x}$	$13368e^{-0,0197x}$	$111,72e^{-0,026x}$	$1E-11x^{-4,9057}$	$4E-11x^{-5,4445}$	$0,0006x^{-3836}$	$22,063e^{-0,0247x}$	$141,66e^{-0,0278x}$
$r =$	0,97	0,94	0,92	0,97	0,97	-0,84	-0,87	0,88	0,92	-0,91
$r =$	0,95	0,89	0,84	0,94	0,95	0,71	0,76	0,77	0,84	0,83
$F =$	646,55	267,26	204,59	361,13	602,67	112,75	133,26	204,63	197,64	186,11
$t =$	-25,43	-16,35	19,83	-19,00	-24,55	-10,62	-11,54	14,31	-14,06	-13,64

CO = Karbonmonoksit, y = bağımlı değişken, x = bağımsız değişken, r = korelasyon katsayısı, r = belirlilik katsayısı (regresyon modelinin verilere uyumunun bir göstergesi olup, bağımlı değişkendeki değişimin yüzde ne kadarının bağımsız değişkene açıklanabildiğini göstermektedir), F = F testi deneysel verilerin seçilen regresyon modeli ile temsil edilip edilemeyeceğini göstermektedir,  $t_b$  = regresyon katsayısının önem testinde kullanılmaktadır.

Çizelge 14. Etilen Gazı İçin Regresyon ve Varyans Analizi\*

	etilen
$y$	$= 0,0001x + 0,1663$
$r$	$= 0,98$
$r^2$	$= 0,97$
$F$	$= 158,18$
$t_b$	$= 12,58$
$F_{0,05}$	$= 6,61$
$t_{0,05}$	$= 2,57$

Çizelge 15. Propilen Gazı İçin Regresyon ve Varyans Analizi

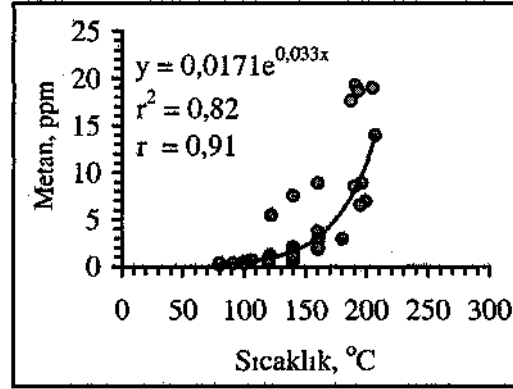
$I''^*$	propilen
$y$	$= 0,0004x + 0,3697$
$r$	$= 0,92$
$r^2$	$= 0,85$
$F$	$= 23,31$
$t_b$	$= 4,83$
$F_{0,05}$	$= 7,71$
$t_{p,05}$	$= 2,78$

göstermektedir (Şekil 5). Kozlu örneklerinde, etan gazı sıcaklıkla polinom bir değişiklik göstermektedir. Polinom denklemlerde, denklem derecesi arttıkça, modelin çözümü zorlaşmakta ayrıca dönme noktaları önemli yanlışlıklara yol açabilmektedir. Bu nedenlerden dolayı, gaz oranlarının göz önüne alınmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Nitekim, sıcaklık etan/metan'daki değişikliğin %73'lük bir kısmını açıkladığı istatistiksel olarak da belirlenmiştir. Etan/metan ile sıcaklık arasında iyi bir ilişki tespit edilmiştir (Çizelge 12).

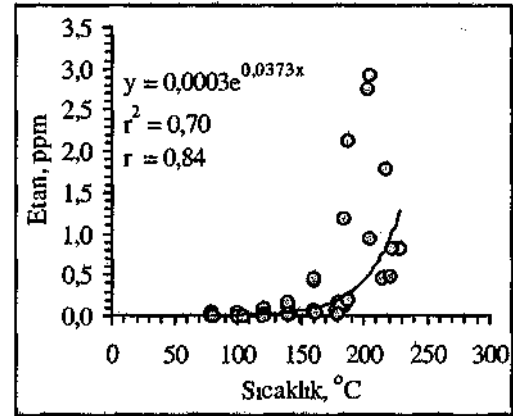
Propan gazı bütün örneklerde kendiliğinden yanma süresince çıkış göstermiştir. Karadon Çay ve Acılık damarlarından alınan örneklerde, gazın

x = Bağımsız değişken, y = Bağımlı değişken, r = Korelasyon katsayısı, r = Belirlilik Katsayısı (regresyon modelinin verilere uyumunun bir göstergesi olup, bağımlı değişkendeki değişimin yüzde ne kadarının bağımsız değişkence açıklanabildiğini gösterir), F = F testi deneysel verilerin seçilen regresyon modeli ile temsil edilip edilemeyeceğini göstermektedir,  $F_{0,05}$  = % 95 güvenlilikle tablo değeri, t = Regresyon katsayısının önem testinde kullanılmaktadır,  $t_{0,05}$  = %95 güvenlilikle tablo değeri

sıcaklıkla değişiminin polinom olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 6).



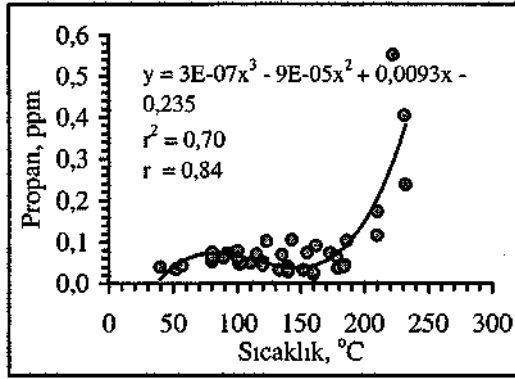
Şekil 4. Kozlu Müessesesi Büyük damarda sıcaklığa bağlı olarak metan gazı çıkışı



Şekil 5. Karadon Müessesesi Sulu damarında sıcaklığa bağlı olarak etan gazı çıkışı

Ayrıca petrografik banda göre çıkış miktarı da çok değişken olmaktadır. Bu nedenle daha sağlıklı izlenebilmesi ve değerlendirilebilmesi açısından propan/metan ve propan/etan gaz oranları dikkate alınmıştır. İstatistiksel çalışmalar sonucunda propan gazını tek başına değerlendirmektense gaz oranlarının göz önüne alınmasının daha güvenilir olduğu görülmüştür (Çizelge 12, 13).

n-bütan, n-pentan ve n-hekzan gazları da genelde sıcaklıkla artış göstermektedir. İncelenen kömür



Şekil 6. Karadon Müessesesi Acılık damarında sıcaklığa bağlı olarak propan gazı çıkışı

Örneklerinin çoğunda bu gazlar çıkış göstermiştir. Çıkış miktarlarının düzensiz ve polinom olduğu durumlarda gaz oranlarının (n-bütan/etan, n-bütan/metan, n-bütan) / (propan) değerlendirmeye alınmasının sağlıklı olacağı istatistiksel analizlerle desteklenmiştir (Çizelgeler 12, 13).

Etilen ve propilen gazları, tutuşma sıcaklığından çok sonra (yüksek sıcaklıklarda) çıkmakta ve sıcaklıkla artış göstermektedir. Fakat tüm kömür örneklerinde bu gazların çıkışı gözlemlenememiştir. Etilen ve propilen gazlarının çıkışının etan ve propan gazlarının çıkışından etkilendiği belirlenmiştir (Karadon Müessesesi Sulu damarı) (Çizelgeler 16, 17 ve 18). Bu gazların etan ve propan gazlarının bozunma ürünleri olduğu düşünülmüştür. Yüksek sıcaklıklarda (tutuşma sıcaklığından sonra) propilen ve etilen gazları çıktığından, bu gazların yanmanın hangi aşamada ve sıcaklıkta olduğunun bir göstergesi olabileceği söylenebilir. 2,2 di metil propan gazı artan sıcaklıkla artış göstermektedir. Gaz yaklaşık 100 °C'den sonra çıkmakta, çıkış miktarı petrografik banda göre değişiklik göstermektedir. Gazın sıcaklıkla artması ve duraylı bir artış göstermesi izlenebilirliğini desteklemektedir (Şekil 7) (Çizelge 5-10).

1-penten gazı 120°C'de çıkış yapmakta ve artan sıcaklıkla diğer gazlara göre çok yüksek miktarlara ulaşabilmektedir (Şekil 8). 1-penten gazının sıcaklıkla ilişkisinin %90'ın üzerinde olduğu görülmüştür (Çizelgeler 5, 8, 9 ve 10). Bu

sonuçlar, 1-penten gazının kendiliğinden yanmanın belirlenmesinde değerlendirilebileceğini göstermektedir.

İzo-bütan, trans 2 bütan, cis 2 bütan ve cis 2 penten gazları ise genelde 140 °C üzerindeki sıcaklıklarda çıkmakta ve yüksek sıcaklıklarda duraylı hale gelmektedir. İzo-bütan ile sıcaklık arasında %80'in üzerinde bir ilişkinin olduğu

Çizelge 16. Propan Gazı İle İlgili Regresyon ve Varyans Analizleri

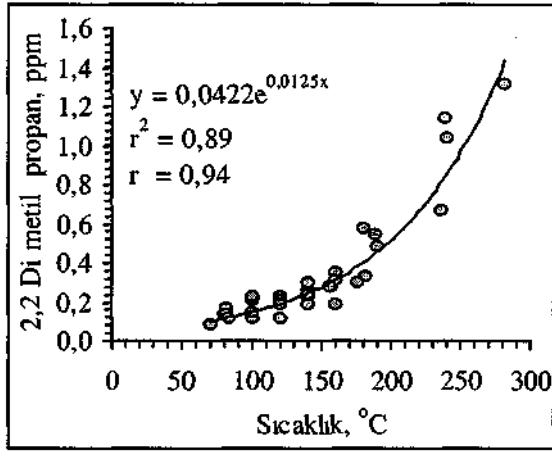
y ↓ x →	Propan
propilen	$y = 0,0201e^{2,7433x}$ $r = 0,81$ $r^2 = 0,90$ $F = 39,19$ $t_b = 6,26$ $F_{0,05} = 5,12$ $t_{0,05} = 2,26$

Çizelge 17. Etan Gazı İle İlgili Regresyon ve Varyans Analizleri

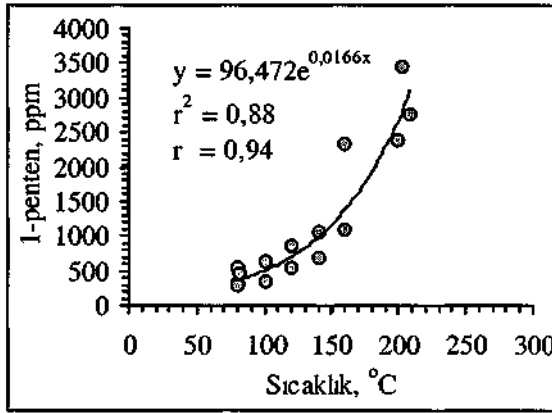
y ↓ x →	etan
etilen	$y = 0,922x - 0,038$ $r = 0,98$ $r^2 = 0,99$ $F = 547,77$ $t_b = 23,40$ $F_{0,05} = 4,96$ $t_{0,05} = 2,26$

Çizelge 18. Etilen Gazı İle İlgili Regresyon ve Varyans Analizi Sonuçları

y ↓ x →	etilen
Propilen	$y = 0,8806x - 0,1106$ $r = 0,98$ $r^2 = 0,96$ $F = 155,61$ $t_b = 12,47$ $F_{0,05} = 5,99$ $t_{0,05} = 2,45$



Şekil 7. Kozlu Müessesesi çay damarında sıcaklığa bağlı olarak 2,2 di metil propan gazı çıkışı



Şekil 8. Kozlu Müessesesi çay damarında sıcaklığa bağlı olarak 1-penten gazı çıkışı

gerçekleştirilen istatistiksel çalışmada belirlenmiştir (Çizelgeler 5, 7, 8, 9 ve 10). Bu gazlarla, kendiliğinden yanmanın hangi aşamada olduğu belirlenebilir.

#### 4. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen deneyler ve bu deneylerin neticesinde elde edilen verilerle yapılan regresyon analizleri neticesinde aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

$C_1-C_6$  alkan grubu gazlar (metan, etan, propan, n-bütan, n-pentan ve n-hekzan) kömürün

bünyesinde olan gazlardır. Bu gazlar yanma sırasında aktif duruma geçerek reaksiyona katılmakta ve reaksiyonu hızlandırmaktadır. Bu gazların çıkış miktarı sıcaklıkla arttığından  $CrCü$  alkan grubu gazlar yanma ürünü gaz olarak değerlendirilebilir.

İncelenen gazlardan özellikle alkan ( $C_1-C_6$ ) ve alken grubu gazların genelde 100-120 °C den sonra duraylı bir hale geçmekte olduğu gözlemlenmiştir.

Karbonmonoksit ile birlikte  $C_1-C_6$  alkan grubu gazların ve 2,2 di metil propan, 1-penten gazlarının değerlendirmeye alınmasının erken tespit çalışmaları için faydalı olacağı düşünülmektedir. Gaz oranlarının da sürekli gözleme çalışmalarında değerlendirilmesiyle, daha sağlıklı sonuçlar elde edilebileceği söylenebilir.

#### TEŞEKKÜR

Yazarlar; bu çalışmanın gerçekleştirilmesi olanağını sağlayan, Zonguldak Endüstri Destekleme Merkezi (ZEDEM) Laboratuvarları'nın kuruluşuna katkılarından dolayı NATO İstikrar için Bilim (Science for Stability) Programı Direktörlüğü'ne, araştırma için mali desteği sağlayan Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Araştırma Fonu Başkanlığı'na sonsuz teşekkür borçludurlar.

#### KAYNAKLAR

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

Chamberlain, E.A.C. ve Hail, D.A., 1973; "The Ambient Temperature Oxidation of Coal in Relation to The Early Detection of Spontaneous Heating Part 2", Trans. Inst. Min. Engrs., Cilt 132, s. 387-399.

Chamberlain, E.A.C., Barras, G. ve Thirlaway, J.T., 1976; "Gases Evolved and Possible Reactions During Low-temperature Oxidation of Coal", Fuel, Cilt 55, s. 217-223.

Chakravorty, R.N. ve Kolada, R.J., 1988; "Prevention and Control of Spontaneous Combustion in Coal Mines", Mining Engineering, October, s. 953-956.

Feng, K.K., Chakravorty, R.N. ve Cochrane, T.S., 1973; "Spontaneous Combustion - A Coal Mining Hazard", CM Bulletin, s. 75-82.

Güney, M., Hodges, D.T. ve Hinsley, F.B., 1969; "An Investigation of the Spontaneous Heating of Coal and Gaseous Products", The Mining Engineering, November, s. 67-84.

Havenga, W.J., 1993; "Rapid Gas Analyses for the Investigation of Spontaneous Combustion Using Capillary Gas Chromatography", Talanta, Cilt 40, No 2, s. 213-219

Higuchi, K., 1999; "Kendiliğinden Yanmayı Önleme Teknolojisi", TTK İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Dairesi Başkanlığı'nın seminer notları, 19 s.

Nakoman, E., 1971; "Kömür", Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayını, Eğitim Serisi No: 8, 348 s.

Pursall, B.R. ve Ghosh, S.K., 1965; "Early Detection of Spontaneous Heating Using Chromatographic Gas Analysis", The Mining Engineering, June, s.511-526.

Şahin, N., 2002; "Yanma Ürünü Gazlann İncelenmesi Yoluyla Kömürün Kendiliğinden Yanmaya Yatkınlığının Saptanması", Doktora Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 271 s.

Şensöğüt, C., 1997; "A General Outlook on Spontaneous Combustion in Underground Coal Mines", Report, Referat: 324, Kennziffer:A/97/04764, Supported by German Academic Exchange Service, September, Aachen, Germany, 99 s.

Shu, X., Xu J., Ge, L. ve Chen, D., 1996; "Study of Spontaneous Combustion Coals by GC and GC-MS", Fresenius J. Anal. Chem., 355, s. 390-392.

Suguchi., S., Yamashita, E. ve Sakal , T. 1993; "Fire Monitoring System Fiber Optic Temperature Laser Radar (FTR), Mine Safety (Spontaneous Combustion and Mine Fire Group), Japan Coal Energy Center, s. 1-24.