

KÖMÜR YIKAMANIN YANMA KİNETİĞİ AÇISINDAN FAYDALARI

THE BENEFIT OF COAL WASHING FROM THE VIEW OF COMBUSTION KINETICS

Cahit HİÇYILMAZ, *ODTÜ Maden Müh. Böl, 06531 Ankara, Türkiye*
K. Eşber ÖZBAŞ, *İnönü Üniversitesi Maden Müh. Böl, Malatya, Türkiye*
Mustafa V. KÖK, *ODTÜ Petrol ve Doğalgaz Muh. Böl, 06531 Ankara, Türkiye*

ÖZET

Bu araştırmada, Tunçbilek linyit kömürünün yıkamadan önce ve sonraki yanma karakterleri sunulmuştur. Termogravimetri (TG/DTG) deneyleri dört ayrı tane boyundaki numunelerle (-30+18mm, -18+10mm, -10+0.5mm, -0.5mm) yapılmıştır. TG/DTG grafikleri tüvenan kömürde üç bölge olduğunu göstermiştir. Birinci bölge, nemin buharlaşmasından dolayıdır. İkinci bölge, uçucu maddelerin uzaklaşması ve sabit karbonun yanmasından dolayıdır. Üçüncü bölge ise, mineral maddelerin bozunmasından dolayıdır. Yapılan kinetik çalışmalarda görülen, artan yanma reaktivitesi (düşük aktivasyon enerjisi) ve uzun yanma süresidir ki bu da Tunçbilek kömürünün yıkanmasının faydalarını ortaya koymuştur.

ABSTRACT

In this research, combustion characteristics of Tunçbilek lignite before and after washing are presented. Thermogravimetry (TG/DTG) experiments were carried out with four different size fractions (-30+18mm, -18+10mm, -10+0.5mm, -0.5mm). TG/DTG curves revealed three regions in raw coal. The first region is due to the evaporation of moisture. The second region is due to the combustion of volatile matter and fixed carbon. The third region is due to the decomposition of mineral matter in lignite. Kinetic analysis has revealed that increase in reactivity and long-lasting combustion is the distinctive benefit of cleaning on combustion characteristics of Tunçbilek lignite.

1. GİRİŞ

Kömür, fosil kökenli enerji kaynaklarının en önemlilerinden birisini oluşturan tortul bir kayaktır. Günümüzde diğer yakıtlar kömürün kısmen yerini alsa da, en fazla rezerv olan bir enerji kaynağı olduğu için kömür, uzun yıllar insanlığın hizmetinde ve bilim adamlarının gündeminde olacaktır.

Oluşum koşullarına bağlı olarak, kömür içerisinde, kömürün kalitesini etkileyen çeşitli safsızlıklar bulunmaktadır. Bunlar, inorganik maddeler, kükürt ve nemdir. Bu safsızlıklar kömürün yanma kalitesini olumsuz yönde etkilediği gibi, yanma sonrasında çevre kirliliğine de sebep olmaktadır. Bu sebeple kömür, yanma öncesinde çeşitli cevher hazırlama yöntemleriyle yıkanmakta, diğer bir deyişle, bu safsızlıklardan kısmen temizlenmektedir.

Kömürün yanma kalitesinin ya da ısı özelliklerinin saptanmasında kullanılan cihazlar, termal analiz cihazları adı altında toplanmıştır. Kömüre en yaygın olarak uygulanan termal analiz yöntemleri, diferansiyel termal analiz (DTA), termogravimetri (TG) ve diferansiyel taramalı kalorimetre (DSC) dir.

Kömürlerin termal Özellikleri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Jayaweera ve arkadaşları (1989), tane boyunun kömürün termal Özelliklerine etkisini araştırmışlardır. Yine aynı şekilde Kök ve arkadaşları (1997, 1998) da tane boyunun termal Özelliklere etkisini Çayırhan linyitleri üzerinde incelemişlerdir. Rosenvold ve arkadaşları (1982), yirmibir bitümlü kömür üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmalarda diferansiyel taramalı kalorimetre ve termogravimetri cihazları kullanılmış ve kömürlerin yanma bölgeleri çıkarılmıştır. Cumming (1984), katı yakıtların yanma kinetiğinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirmiş ve ağırlıklı ortalama yöntemiyle aktivasyon enerjilerini hesaplamıştır. Morgan ve arkadaşları (1986), termogravimetrik analiz ile kömürün yanma profilini çıkarmış ve bu profillerin kömürlerin kalitesi hakkında bir fikir verdiğini savunmuşlardır.

Türkiyenin değişik yörelerinden toplanan linyit kömürünün TG analizleri ise Özyuğuran (1992) tarafından yapılmıştır. Küçükbayrak'ın da (1993a, 1993b) bu konuda çalışmaları vardır. Kömür içindeki minerallerin kömürün yanmasına etkisi bu çalışmalarla incelenmiştir. Kömür biriktlemede kullanılan bağlayıcıların kömürün termal Özelliklerine etkisi ise Altun ve arkadaşları (2001a, 2001b) tarafından incelenmiştir. Aktivasyon enerjisini, organik bağlayıcıların düşürdüğü, inorganik bağlayıcıların ise arttırdığını görüldüğü araştırmada, inorganik bağlayıcılarla kül ve nihai yanma sıcaklığı da artmıştır. Kömürün yıkanmasından sonra termal özelliklerinin nasıl değiştiği ise özbaş ve arkadaşları (2000) tarafından Soma kömürü için araştırılmıştır. Sonuçlar kömür reaktivitesinin arttığını, nihai yanmanın ise daha düşük sıcaklıkta tamamlandığını göstermektedir.

Bu araştırmada Tunçbilek kömürünün yıkanmasından önce ve sonraki termal özellikleri incelenerek, bu yıkanmanın yanma kinetiği açısından faydaları ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu araştırmada kullanılan Tunçbilek kömürünün kısa ve elementer analizleri sırasıyla izelge 1 ve 2 de görülmektedir. Bu kömür numunesi kontrollü bir kırma ve eleme sonucunda dört fraksiyona (-30+18mm, 18+10mm, -10+0.5mm, -0.5mm) ayrılmıştır (izelge 4). Numunenin yıkanması 1.40, 1.50, İ.60, 1.70 ve 1.80 gr/cm³ ağır-ortam yoğunluklarında yapılmıştır (izelge 5). Ağır-ortamlar, -0.5mm fraksiyonu hariç, çinko klorür çözeltisiyle hazırlanmıştır. Viskozitenin etkisinin olmaması amacıyla, -0.5mm fraksiyonu için organik sıvılar kullanılmıştır. Her fraksiyon için optimum ayırma yoğunlukları;

$$\text{Ayırma Derecesi, AD} = \text{YKR} \frac{\text{TKK}-\text{YKK}}{\text{TKK}} \quad [1]$$

formülüyle bulunmuřtur (Sarkar ve Das, 1974). Burada;

YKR=Yıkanmış kömür randımanı,
TKK=Tvenan kömürün külü
YKK=Yıkanmış kömürün külü'dr.

Çizelge 1. Tunçbilek Kömür Numunesinin Kısa Analizi

	Nem (%)	Kül (%)	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Alt Isıl Değer kcal/kg	kJ/kg
Havada Kuru	2.33	53.30	25.14	19.23	2413	10100
Kuru	-	54.57	25.74	19.69	2471	10344
Külsüz Kuru	-	-	56.66	43.34	5438	22763

Çizelge 2. Tunçbilek Kömür Numunesinin Elementer Analizi

	Karbon (ft)	Hidrojen (ft)	Azot (ft)	Yanabilen Kükürt (%)	Oksijen (ft)
Havada Kuru	29.86	2.41	1.27	0.70	10.13
Kuru	30.57	2.47	1.30	0.72	10.37
Külsüz Kuru	67.30	5.43	2.86	1.58	22.83

Çizelge 3 numunenin kl yapışım göstermektedir. Termogravimetrik analiz Polymer Lab PL-TGA 1500 cihazı ile 10 mg numune kullanılarak 5 ml/dakikalık hava akışımda ve 10°C/dakikalık ısıtma hızında yapılmıştır. Isıl değer tayini, Parr 1261 oksijen bomba kalorimetresi ile ve karbon-hidrojen-azot-kükürt tayinleri de Eager 200 elementer analiz cihazı ile yapılmıştır.

Çizelge 3. Tunçbilek Kömür Numunesinin Kül İçenği

Bileşik Türü	Bileşik Miktarı (%)
SiO ₂	53.30
Al ₂ O ₃	21.00
Fe ₂ O ₃	11.40
CaO	2.25
MgO	6.80
Na ₂ O	0.01
K ₂ O	0.95
S O ₃	2.15

Çizelge 4. Kullanılan Kömür Numunesinin Tane Boyu Dağılımı

Boyut (mm)	Ağırlık (%)	Toplam Elek Üstü (%)	Toplam Elek Altı (%)
-30+18	30.55	30.55	69.45
-18+10	32.79	63.34	36.66
-10+0.5	31.55	94.89	5.11
-0.5	5.11	100.00	-
Toplam	100.00		

3. SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

3.1 Ağır-ortam Çalışmaları

Dört fraksiyon (-30+18mm, -18+10mm, -18+10mm, -0.5mm) için ayrı ayrı yapılan ağır-ortam yüzdürme-batırma çalışmalarında elde edilen sonuçlar Çizelge 5'de verilmiştir. Sadece -18+10mm fraksiyonunda en yüksek Ayırma Derecesi (AD) 1.80gr/cm³ yoğunlukta elde edilmiştir. Diğer boyutlar için en yüksek Ayırma Derecesi 1.70gr/cm³ yoğunluklarda elde edilmiştir.

Çizelge 5'den görüldüğü gibi Ayırma Derecesi, sadece yıkanmış kömürün külünü değil aynı zamanda randımanı da dikkate alarak elde edilen bir değer olup, optimum ayırma yoğunluğunun bulunmasına yardımcı olmaktadır.

Her fraksiyondaki numunenin optimum yoğunluklarda yıkanmasından sonra ağırlıkları oranında birleştirilmesiyle elde edilen yıkanmış temiz kömürün kısa ve elementer analizleri ve kül yapısı sırasıyla Çizelge 6 ve 7 ve 8'de verilmiştir. Çizelge 1,2, 3 ve 6, 7, 8'den görüldüğü üzere yıkama sonrasında numunenin külü yaklaşık % 50 oranlarından % 20 oranlarına inmiştir. Buna bağlı olarak uçucu madde ile sabit karbonda da sırasıyla % 10 luk ve % 20 lik artışlar olmuştur. Aynı şekilde elementer

analiz değerlerinin arttığı ve ısı değerlerinin de yaklaşık iki katına çıktığı gözlemlenebilmektedir. Çizelge 3 ve 8 kıyaslandığında Fe₂O₃, CaO ve MgO oranlarında azalma, buna mukabil SiO₂, Al₂O₃ ve K₂O oranlarında artma olmuştur.

Çizelge 5. Tunçbilek Kömür Numunesinin Çeşitli Yoğunluklardaki Ayırma Dereceleri

Boyut (mm)	Ayırma Yoğunluğu (gr/cm ³)	Tüvenan Kömürün Külü (%)	Temiz Kömürün Külü (%)	Yüzen Kömürün Ağırlıkça Randımanı (%)	Ayırma Derecesi, AD (%)
-30+18	1.4	54.47	11.20	22.76	18.08
	1.5		14.91	29.31	21.29
	1.6		19.07	36.17	23.51
	1.7		21.40	39.58	24.03
	1.8		25.03	44.24	23.91
-18+10	1.4	56.82	11.35	21.74	17.40
	1.5		15.46	29.18	21.24
	1.6		19.40	35.60	23.45
	1.7		21.88	39.30	24.17
	1.8		24.30	42.60	24.38
-10+0.5	1.4	48.16	8.21	25.75	21.36
	1.5		12.51	35.93	26.60
	1.6		15.55	41.45	28.07
	1.7		18.24	46.24	28.73
	1.8		21.04	50.96	28.70
-0.5	1.4	55.48	7.05	4.77	4.16
	1.5		11.76	9.69	7.64
	1.6		16.20	13.60	9.63
	1.7		23.32	18.79	10.89
	1.8		43.94	49.99	10.40

3.2 Termogravimetric Çalışmalar

Termogravimetric çalışmalarda Tunçbilek tüvenan kömürünün ve dört ayrı fraksiyona kırılmış ürünlerinin TG/DTG grafikleri, numunenin 900°C'a kadar yakılmasıyla elde edilmiştir. Şekil 1 ve 2 örnek olarak verilmiş olup sırasıyla Tunçbilek tüvenan ve yıkanmış temiz kömürün TG/DTG grafiğidir. Diğer fraksiyonlarda da benzer sonuçlar alınmıştır. Bu grafikler incelendiğinde üç bölgenin olduğu görülür. 1. Bölge nemin

atıldığı bölgedir. 2. Böige uçucu maddelerin uzaklaştırılıp, sabit karbonun yandığı bölgedir. Bu bölgede kömür yandığı için en fazla ağırlık kaybına uğrar. DTG grafiğinden de görüldüğü üzere, 3. bölgede İse mineral maddeler bozuluma uğrar. Bilindiği gibi mineral madde, kömürdeki İnorganik maddelerin ve elementlerin toplamı olarak değerlendirilmektedir. Karbon, hidrojen, oksijen ve kükürt kömürde inorganik kombinasyon olarak da bulunmaktadır. Kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlarda karbon; serbest su ve hidrat suyunda hidrojen; oksitlerde, suda, sülfatlarda ve silikatlarda oksijen; sülfürler ve sülfatlarda kükürt bulunmaktadır (Lowry, 1963). Organik yapıyla bağ yapmış inorganik maddeler de mineral madde olarak nitelendirilmektedir (Vorres, 1984). Kül ise kömürün içerdiği mineral maddelerin, tam yanma sonucu bozuluma uğraması ile oluşan artıktır. Kömür içerisindeki başlıca mineral maddeler; alüminasilikat mineralleri (killer), karbonat mineralleri, kükürtlü mineraller ve silikat mineralleridir. Araştırmaya konu olan Tunçbilek tüvenan ve yıkanmış numunelerinin kül analizleri (Çizelge 3 ve 8), mineral maddelerin kıl, karbonat ve silikatlar olduğunu göstermektedir. Kaolinit 500 °C'nin üzerinde, dolomit 700 °C'nin üzerinde ve siderit de 550 °C'nin üzerinde bozunuma başlar (Raask, 1985). Bu bölgelerin yaklaşık sıcaklık aralıkları Çizelge 9'da görülmektedir.

Çizelge 6. Yıkanmış Temiz Kömürün Kısa Analizi

	Nem	Kül	Uçucu Madde (%)	Sabit Karbon (%)	Alt Isıl Değer	
					kcal/kg	kJ/kg
Havada Kuru	3.58	21.29	32.89	42.24	4908	20545
Kuru	-	22.08	34.11	43.81	5090	21307
Külsüz Kuru	-	-	43.78	56.22	6533	27347

Çizelge 7. Yıkanmış Temiz Kömürün Elementer Analizi

	Karbon	Hidrojen (%)	Azot (%)	Yanabilen Kükürt (%)	Oksijen
Havada Kuru	55.72	3.96	2.26	1.39	11.80
Kuru	57.79	4.11	2.34	1.44	12.24
Külsüz Kuru	74.16	5.27	3.01	1.85	15.71

Tüvenan ve yıkanmış kömürlerin bu bölgeleri incelendiğinde; 1.Bölgede sıcaklık aralıklarında bir değişimin olmadığı görülür. Çünkü burada nem buharlaşmaktadır. Ancak 2. Bölgede sıcaklık aralıklarında dikkate değer değişimler olmuştur. Aynı derecede başlayan bu bölgenin bitiş sıcaklığı yıkanmış kömürde, tüvenan kömüre kıyasla, yaklaşık 120°-150°C daha yüksektir. Mineral maddelerin yıkamayla uzaklaştırılmasından dolayı 3. Bölge yıkanmış kömürde bulunmamaktadır.

Çizelge 8. Yıkanmış Temiz Kömürün Kül içeriği

Bileşik Türü	Bileşik Miktarı (%)
S_{10_2}	55 10
Al_2O_3	23 15
Fe_2O_3	9.30
CaO	135
MgO	4 00
Na_2O	0 01
K_2O	1.05
SO_3	2 10

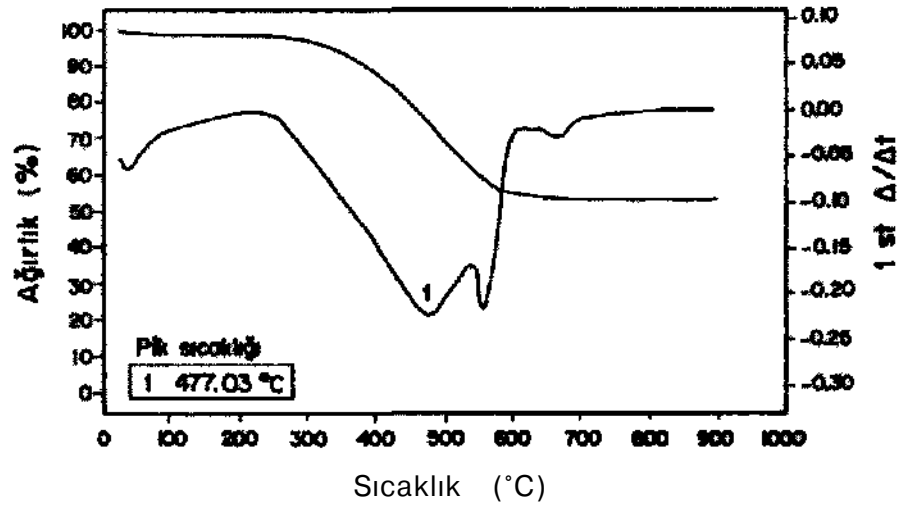
Çizelge 9. Tunçbilek Kömürünün Reaksiyon Bölgeleri

Numune	1. Bölge ($^{\circ}C$)	2. Bölge ($^{\circ}C$)	3. Bölge ($^{\circ}C$)
Tüvenan	20-110	230-485	640-670
-30+18mm Tüvenan	20-110	230-485	640-670
-30+18mm Yıkanmış	20-110	230-620	
-18+10mm Tüvenan	20-110	230-485	640-670
-18+1 Oram Yıkanmış	20-110	230-610	
-10+0.5mm Tüvenan	20-110	230-520	645-655
-10+0.5mm Yıkanmış	20-110	230-635	
-0.5mm Tüvenan	20-110	230-465	630-660
-05mm Yıkanmış	20-110	230-605	
Yıkanmış Ürün	20-110	230-620	705-720

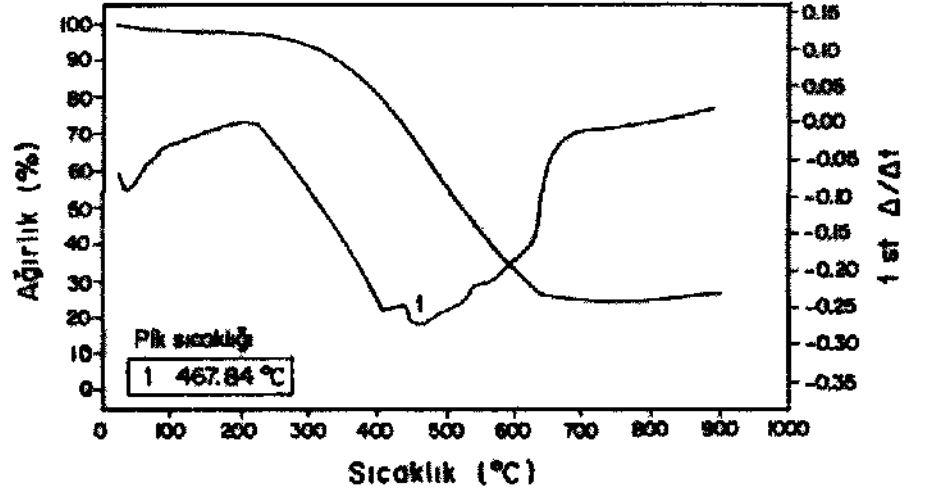
Çizelge 10'da en hızlı yanmanın olduğu sıcaklık (pik sıcaklığı) ile yanmanın tamamlandığı son sıcaklık tüvenan ve yıkanmış kömürler için görülmektedir. Ayrıca yanmanın en hızlı olduğu sıcaklıkta geriye kalan madde miktarı ve buradaki yanabilen madde miktarı görülmektedir. Pik sıcaklığında, kalan madde miktarından numunenin kül miktarının çıkarılmasıyla, pik sıcaklığındaki yanabilen madde miktarı bulunur. Yanmanın en hızlı olduğu sıcaklıkta geriye kalan yanabilen madde miktarı ise yıkanmış kömürde daha fazladır. Şekil 1 ve 2 incelendiğinde yıkanmış kömürde yanmanın daha uzun sürdüğü görülmektedir.

Çizelge 10. Tuncbilek Kömürünün Termogravimetrik Özellikleri

Numune	Pik Sıcaklığı (°C)	Son Sıcaklık (°C)	Pik Sıcaklığında	
			Geri Kalan Afırlık (%)	Yanabilen Madde (%)
Tüvenan	477.03	704.56	54.08	0.78
-30+18mm Tüvenan	570.78	711.14	58.36	3.89
-30+18mm Yıkanmış	481.67	698.08	63.85	42.45
-18+10mm Tüvenan	484.66	704.53	75.31	18.49
-18+10mm Yıkanmış	534.42	684.68	52.91	28.61
-10+0.5mm Tüvenan	520.63	678.42	63.98	15.82
-10+0.5mm Yıkanmış	481.85	673.52	52.09	33.85
-0.5mm Tüvenan	463.85	687.21	77.24	21.76
-05mm Yıkanmış	481.05	663.44	61.43	38.11
Yıkanmış Ürün	467.84	658.76	62.51	41.22



Şekil 1 Tuncbilek Tüvenan Kömürünün TG/DTG Grafiği



Şekil 2. Tunçbilek Temiz Kömürünün TG/DTG Grafiği

3.2.1- Kinetik Analiz

Kömürün kompleks yapısından dolayı kinetik analizinin yapılması karmaşık olmasına rağmen Arrhenius tipi kinetik model oldukça başarılı olmuştur (Kök, 1993).

$$\frac{1}{W^n} \left(\frac{dW}{dt} \right) = Ar \exp \left(\frac{-E}{RT} \right) \quad [2]$$

eşitliğiyle kurulan kinetik modelin birinci derece reaksiyon kinetiğine sahip olduğu düşünülürse ve her iki tarafın logaritması alınırsa

$$\log \left[\left(\frac{dW}{dt} \right) \frac{1}{W} \right] = \log Ar - \left(\frac{E}{2.303RT} \right) \quad [3]$$

eşitliği elde edilir. Burada; $\frac{dW}{dt}$ ağırlık değişim oranı, E aktivasyon enerjisi, T sıcaklık,

Ar Arrhenius sabiti, n reaksiyon derecesi, R gaz sabiti ve W geride kalan ağırlıktır.

$\log \left[\left(\frac{dW}{dt} \right) \frac{1}{W} \right] = \log Ar - \left(\frac{E}{2.303RT} \right)$ değeri $\frac{1}{T}$ değerine karşılık çizilirse, eğimi $\frac{-E}{2.303R}$ olan ve Arrhenius sabiti değerinde 'y' eksenini kesen bir doğru elde edilir.

Çizelge 11, Arrhenius sabiti ile aktivasyon enerjilerini göstermektedir ki burada aktivasyon enerjilerinin yıkanmış kömürde 10-15 kJ/mol'luk farklarla tuvenandan daha az olduğu görülebilir ki bu % 30-40 arası bir azalmadır. Bu kömürün tutuşmasının daha kolay olduğunu göstermektedir.

Çizelge 11. Tunçbilek Kömürünün Aktivasyon Enerjileri (Ea) ve Arrhenius Sabitleri (Ar).

Numune	Ea (kJ/mol)	Ar (1/min)
Tüvenan	35.616	9.057
-30+18mm Tüvenan	35.807	8.570
-30+18mm Yıkanmış	24.382	1.888
-18+1 Onun Tüvenan	36.726	9.661
-18+1 Omm Yıkanmış	22.851	1.390
-10+0.5mm Tüvenan	31.979	4.988
-10+0.5mm Yıkanmış	24.248	1.932
-0.5mm Tüvenan	41.778	26.242
-05mm Yıkanmış	24.707	2.153
Yıkanmış Ürün	21.243	1.191

4. SONUÇLAR

Tunçbilek tüvenan ve yıkanmış kömürleri için yapılan çalışmalar incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmaktadır.

- i- Yıkamayla tüvenan kömürün külünün % 62'si uzaklaştırılarak yaklaşık % 20 küllü temiz kömür elde edilebilmektedir. Isıl değeri de % 100 lük bir artışla yaklaşık 21000 kJ/kg (5000 kcal/kg) değerine ulaşmıştır
- ü- Tüvenan kömürde üç yanma bölgesi vardır. Yıkama sonucunda mineral maddelerin bozunması nedeniyle üçüncü bölge kaybolmaktadır,
- iii- TG/DTG termogramlarından ve kinetik analizlerden, yıkamayla kömürün reaktivitesinin arttığı (aktivasyon enerjisinin azaldığı) ve yanmanın daha uzun sürdüğü ortaya çıkmaktadır.

5. KAYNAKLAR

Altun, N.E., Hiçyılmaz, C. ve Kök, M.V., (2001a), Effect of Different Binders on the Combustion Properties of Lignite. Part I. Effect on Thermal Properties, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol 65, pp. 787-795.

Altun, N.E., Kök, M.V. ve Hiçyılmaz, C, (2001b), Effect of Different Binders on the Combustion Properties of Lignite. Part H. Effect on Kinetics, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, Vol.65, pp. 797-804.

Cumming, J.W., (1984), Reactivity Assessment of Coals Via a Weighted Mean Activation Energy, *Fuel*, 63, pp. 1436-1440.

- Jayaweera, S.A.A., Moss J.M. ve Thwaites M. W.**, (1989), The Effect of Particle Size on the Combustion of Weardale Coal, *Thermochimica Acta*, 152, pp. 215-225.
- Kök, M.V., Özbaş, K.E., Hiçyılmaz, C. ve Karacan, Ö.**, (1997), Effect of Particle Size on the Thermal and Combustion Properties of Coal, *Thermochimica Acta*, 302, pp. 125-130.
- Kök, M.V., Özbaş, K.E., Karacan, Ö. ve Hiçyılmaz, C.**, (1998), Effect of Particle Size on Coal Pyrolysis, *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 45, pp. 103-110.
- Kök, M.V.**, (1993), Use of Thermal Equipment to Evaluate Crude Oils, *Thermochimica Acta*, 214, pp. 315-324.
- Küçükbayrak, S.**, (1993a), Influence of the Mineral Matter Content on the Combustion Characteristics of Turkish Lignites, *Thermochimica Acta*, Vol.216, pp. 119-129.
- Lowry, H.H.**, (1963), Chemistry of Coal Utilisation, Supplementary Volume, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Küçükbayrak, S.**, (1993b), Volatile Release Profiles of Some Turkish Lignites, *Thermochimica Acta*, Vol.216, pp. 131-136.
- Morgan, P.A., Robertson, S.D. ve Unsworth, J.F.**, (1986), Combustion Studies by Thermogravimetric Analysis 1. Coal Oxidation, *Fuel*, 65, pp. 1546-1551.
- Özyüğüran, A.**, (1992), Bazı Türk Kömürlerinin Yanma Profillerinin Çıkarılması, *ITU Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul.
- Özbaş, K.E., Hiçyılmaz, C, Kök, M.V. ve Bilgen, S.**, (2000), Effect of Cleaning Process on Combustion Characteristics of Lignite, *Fuel Processing Technology*, 64, pp. 211-220.
- Raask, E.**, (1985), Mineral Impurities in Coal Combustion, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- Rosenvold, R.J., Dubow, J.B. ve Rajeshwar, K.**, (1982), Thermal Analysis of Ohio Bituminous Coals, *Thermochimica Acta*, 53, pp. 321-332.
- Sarkar, G.G., Das, H.P.**, (1974), A World Pattern of the Optimum Ash Levels of Cleans from the Washability Data of Typical Coal Seams, *Fuel*, 53, pp. 74-84.,
- Vorres, K.S.**, (1963), Mineral Matter and Ash in Coal, American Society, Washington.

