

KÖMÜRÜN MINERAL MADDE İÇERİĞİNİN TOZ KÖMÜR YAKMA SİSTEMİNDEKİ ROLÜ

THE ROLE OF MINERAL MATTER OF COAL IN PULVERISED COAL FIRED SYSTEM

**Suphi URAL, Mehmet YILDIRIM ve Mesut ANIL, Çukurova Üniversitesi, Müh.
Mim. Fakültesi, 01330 Adana**

ÖZET

Kömür küllerinin yakma sistemlerinde cüruf oluşturma ve kirlenme eğilimini önceden tahmin etmek için çok sayıda ampirik parametre geliştirilmiştir. Ancak, henüz bu indislerden hiç birisi küllerin kirlenme ve cüruf oluşturma eğilimini açıklamakta yeterli olamamıştır. Önceleri bu parametrelerin çoğu külün bileşimi ile ilişkilendirilmişken, günümüzde, yakma kazanlarındaki kirlenme, cüruflaşma ve korozyon gibi sorunların ortaya çıkmasında veya önlenmesinde külün mineral madde içeriğinin de önemli bir rol oynadığı anlaşılmıştır. Bu çalışmada külün cüruf oluşturma ve kirlenme eğilimini önceden tahmin etmek üzere türetilen ampirik parametre kısaca tanıtilerek, Afşin-Elbistan linyitlerinin cüruf oluşturma ve kirlenme Özellikleri tanıtılmıştır.

ABSTRACT

Numerous indices have been used for estimation the quality of coal with respect to furnace fouling and slagging. It should be noted, however, that no single index or combination of indices has been sufficiently proven to date to be an accurate guide to a coals' fouling and slagging. Consideration should be given to coal mineralogy in conjunction with the combustion regime when assessing the suitability of individual coals for utilisation processes. Conventional fouling indices will not predict deposition problems with any accuracy and the development of mineralogical based indices would be advantageous. In this study, the various slagging and fouling indices have been presented and the characteristics of Afşin-Elbistan lignites are introduced.

1 GİRİŞ

Mineral madde, kömürdeki inorganik maddelerin ve elementlerin toplamı olarak değerlendirilmektedir. Organik olarak bağ yapan karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler bu sınıflandırmaya göre mineral madde olarak tanımlanmaktadır (Vorres, 1984). Bu beş elementten karbon, hidrojen, oksijen ve kükürt kömürde inorganik kombinasyon halinde de bulunmaktadır. Kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlarda karbon; serbest su ve hidrat suyu olarak 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 bazı temel değişikliklere uğraması ile oluşan artıktır. Külün kökeni, genellikle, kömürün mineral madde içeriğine bağlı olduğundan, özellikleri minerallerin türü ve dağılımı ile oksidasyonun gerçekleştiği koşullara bağlıdır.

Kömür mineral madde içeriğinin, toz kömür yakma kazanlarında görülen, cüruflaşma, kirletme ve korozyon gibi olayların ortaya çıkmasındaki rolü bir çok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur. Hale ve ark. (1980), kazan kirliliği ve cüruflaşma etkisinin doğrudan doğruya mineral maddenin mineralojik yapısı ile ilişkili olduğunu göstermiştir. Örneğin alkali metaller (sodyum ve potasyum) kazan kirliliği üzerinde etkili olurken yüksek oranda klor içeren kömürler kazandaki donanımların hızla korozyona uğramasına neden olmaktadır (Zakhay et al., 1984).

Mineral maddenin yüksek erime sıcaklığına sahip ince taneli küle dönüşmesiyle uçucu kül meydana gelmektedir. Külün erime sıcaklığı ortam sıcaklığından düşükse, tanecikler yumuşamakta ve yapışkan hale gelerek yakma sisteminin duvarlarına yapışabilmekte veya ısı transfer yüzeyleri üzerinde birikebilmektedir. Biriken tortular ise ısı iletimini düşürmekte ve fırın boşluğundaki gaz akışını zorlaştırmaktadır. Kül, yakma sisteminde erime eğilimi gösterirse, erimiş cüruf kütlesi içinde kalan yanmamış karbon yanma veriminin düşmesine neden olmaktadır. Külün erime sıcaklığı, kimyasal bileşimine bağlıdır, ancak külün bileşimi geniş bir aralıkta değiştiğinden, erime özellikleri de önemli farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin değişik yörelerinden toplanmış olan linyit kömürlerinin küllerinin erime sıcaklıkları ile bileşimleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve külün Na_2O , K_2O , CaO ve MgO içeriklerinin artmasının, erime sıcaklığında düşüşe neden olduğu saptanmıştır (Küçükbayrak ve ark., 1993). Yine kömür mineral maddesinin yakma kazanlarındaki kirletme ve cüruflaşma potansiyelini ortaya çıkarmak amacıyla British Coal Corporation (1992) tarafından 18 farklı İngiliz kömürü üzerinde yapılan araştırmada; her bir örneğin mineral madde içeriği ayrı ayrı belirlendikten sonra, bu minerallerin yakma kazanlarında değişik sıcaklıklarda oluşturdukları yeni bileşikler ile kirletme ve cüruflaşma özellikleri incelenmiştir. Numuneler orijinal ve yıkanmış kömürlerden oluşmaktadır. Araştırma sonuçları kaolinitin, sodyumun kazan kirletme potansiyelini engellediğini ve kömürdeki kaolinit miktarı arttıkça kül oranının da arttığını göstermiştir. Yıkama çalışmaları ile kömürdeki kaolinitin kolayca atılması ile kömürün kül oranı düşürülmesine rağmen kazan kirletme ve cüruflaşma eğiliminin arttığı belirlenerek problemlili kömürlerin kaolinit ilavesi ile kazan kirletme ve cüruflaşma potansiyellerinin düşürülebileceği anlaşılmıştır. Vuthaluru (1999), Victoria termik santrali kazanlarında kullanılan toz kömürlere 10(im - 20(im

boyutunda ve %2-3 oranında kaolinit eklendiği takdirde külün neden olduğu problemlerin azaldığını bildirmektedir.

2. KÖMÜRÜN İÇERDİĞİ MİNERAL BİLEŞENLER

Kömürdeki minerallerinin sınıflandırılması genellikle derişimleri esas alınarak yapılmaktadır. Meyers (1982), kömürün içerdiği mineral maddeyi majör, minör ve iz mineraller olarak üç guruba ayırmıştır. Majör mineraller, kömürdeki toplam mineral maddenin %10'undan fazlasını oluşturan bileşiklerdir. Minör mineral maddelerin derişimleri %1-2'dir. iz minerallerinki ise %1'in altındadır. Kömürün içerdiği mineral maddenin %95'inden fazlasını içeren majör mineraller; fi) aluminasilikat mineralleri (killer), (ii) karbonat mineralleri, (iii) kükürtlü mineraller ve (iv) silikat mineralleri olmak üzere başlıca dört guruba ayrılmaktadır. Ayrıca çözünebilir tuz mineralleri de minör olmalarına rağmen, küllerin kazan kirletme ve cüruflaşma olaylarında önemli rol oynamaktadırlar.

2.1 Aluminasilikat Mineralleri (Killer)

Kaolinitler (aluminasilikatlar), muskovit-illit (potasyum aluminasilikatlar) ve illit-montmorillonit karışımları toplam mineral maddenin %50'sini teşkil etmektedir (Raask, 1985). Killer, yıkanmış kömürlerde çok küçük boyutlarda bulunmaktadır.

2.2 Karbonat Mineralleri

Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks karbonatları da kömürün içerdiği majör bileşenlerdendir.

2.3 Kükürtlü Mineraller

Sülfür ve sülfat mineralleri bu grupta yer almaktadır. Genellikle FeS₂'nin iki kristal şekli olan pirit ve markazit, kükürtlü mineralleri oluşturur. Sülfat minerallerinin büyük bölümünü ise kalsiyum ve demirin çeşitli sülfat bileşikleri meydana getirmektedir.

2.4 Silikat Mineralleri (Kuvars)

Büyük miktarda kuvars şeklinde ortaya çıkmakta ve toplam mineral maddenin %15-20'sini oluşturmaktadır (Dixon, 1964).

Minör bileşenler ve iz mineraller, periyodik cetveldeki elementlerin birçoğunu içermektedir (Raask, 1985). Bunlardan iyonlaşabilir tuz mineralleri, mineral maddenin suda çözünebilir bir kısmını teşkil etmekte olup, kömürün kazan kirletme ve cüruflaşma eğiliminin kestiriminde önemli rol oynamaktadırlar (Zakhay, 1983). Başlıca içerik parçacıkları, alkali metal katyonları Na⁺ ve K⁺, toprak alkali katyonları Ca²⁺ ile Mg⁺ ve anyonları Cl⁻ ile SO⁴⁻'dir. Kömür içerisindeki minör mineral madde sınıfında yer almasına karşın, yanma sırasında neden olduğu reaksiyonlar ile ortaya çıkan yeni bileşikler nedeni ile özel öneme sahiptirler (Watts, 1968). Özellikle kömürdeki sodyum ve klor içeriği oldukça önemlidir. Kömürün içerisindeki sodyumun oluşumu halen önemli bir tartışma konusudur. Sulu liç deneylerinden elde edilen bilgilerin ışığında sodyum ve klorun kömür içerisinde kristal NaCl olarak birlikte bulunduğu varsayılmaktadır (Daybell, 1967). Hodges ve ark. (1987), ise, iyon olarak bulunan

sodyum ve klor elementlerinin ortama geçme hızlarının farklı olduğunu ve kökenlerinin birbirlerinden bağımsız olduklarını belirtmektedirler, İngiliz kömürlerindeki sodyum, yatak oluşumu sırasında ortama taşınmıştır. Diğer taraftan potasyum, aluminasilikat minerallerine bağlıdır ve suda çözünmez (Raask, 1985). İngiliz kömürlerindeki klorun büyük bir kısmı denizel kökenlidir. Katmanlar arasında gözlenen klor dağılımı incelendiğinde, bunların büyük bir kısmının kömür oluşumundan sonra ortama girmiş ve deniz suyu ile yakından ilişkili olduktan anlaşılmıştır (Hodges, 1983). Caswell (1981) klorun mineral madde içerisinde değil de doğrudan kömürün bünyesinde olduğunu belirtmektedir.

Mineral maddenin, hem oksitleme ve hem de indirgeme atmosferindeki, ısı kaynaklı kimyasal değişim reaksiyonları, külün kazan kirletme ve cürufişma özellikleri açısından, önem arz etmektedir (Gluskoter, 1965). Yanma sırasında kazan içerisinde ortaya çıkan mineral maddeye ilişkin bu kimyasal değişiklikler ısı ile bozunmayı, kömür ile etkileşimini ve kendi aralarındaki etkileşimi kapsamaktadır. Kömür mineral maddesini oluşturan başlıca bileşiklerde, yanma esnasında görülen kimyasal reaksiyonlar aşağıda kısaca açıklanmıştır; (i) Kaoliniti kapsayan reaksiyonlar, seramik endüstrisinde önemli olduğu için, öncelikle detaylı olarak incelenmiştir. Kaolinit, sıcaklık 500 °C* yi aştığında bünye suyunu kaybederek metakaolinite dönüşür ve bu yapı 925 °C ye kadar kendini korur. 925 °C* nin üzerinde kil kristal kafesi tahrip olur ve bundan sonra SiO₂ nin yavaş yavaş azalması ile, 1400°C* nin üzerinde reaksiyon ürünü olarak müllit ortaya çıkar; (ii) Illit için, mineral bileşimindeki değişikliklerden dolayı, transformasyonlar değişkendir. İlti bariz şekilde kaolinitten ayıran özellik bünyesinde potasyumun bulunmasıdır. Muskovitin reaksiyonları da illite benzemektedir; (Hi) Karbonat minerallerinin reaksiyonları çok iyi belirlenmiştir. Kalsit 850 °C nin üzerinde bozunurken, dolomit bozunmaya 700 °C nin üzerinde başlamaktadır. Siderit için durum biraz farklıdır. FeCO₃ ilk aşamada, 550 °C nin üzerinde bozunmakta ve bunu takiben FeO oksitlenerek Fe₂O₃ e dönüşmektedir; (iv) Piritin reaksiyonları oksitlenme veya indirgenme atmosferine bağlıdır. Oksitlenme koşullarında 475 °C de SO₂ kaybedilir ve 525 °C civarında Fe₂O₃ oluşumu ile reaksiyon tamamlanır, indirgenme koşullarında ise 450 - 700 °C arasında FeS oluşur ve 970 °C ye kadar bozunmaz; (v) Kuvarın reaksiyonları Diferansiyel Termal Analizleri (DTA) ile belirlenen bir seri faz değişikliklerinden ibarettir; (v) Klor ve sodyum gibi belirli bir mineralojik fazda oluşmayan kömür mineral bileşiklerinin reaksiyonlarını ortaya koymak daha güçtür. Klor çıkışı kütle spektrometresi ile belirlenebilir ve uçucu madde olarak sadece HCl çıkışı gözlenir (Herod and Smith, 1985). Halbuki buharlaşma, çevre koşullarından sıcaklık, HCl, SO_x ve H₂O konsantrasyonlarına bağlıdır. Sülfatlar en sık rastlanılan kazan kirletici elemanlardır ve klor SO_x, H₂O ve O₂ li ortamda termodinamik olarak dengesizdir ve sülfatlara dönüşebilirler (Raask, 1985).

Kömürlerde, farklı mineraller nedeni ile bireysel mineral bileşiklerince oluşan yapısal değişikliklere ilaveten, bu minerallerin aralarında kompleks reaksiyonlar da vardır (Falcon and Schobert, 1986). Bu yapısal değişikliklerin derecesi sıcaklığa, atmosfer ve mineralojik bileşiklerin oranlarına bağlıdır. Örneğin bozunmuş kaolinitik yapı (metakaolinit) kompleks aluminasilikatların oluşumu için temel yapı görevi görmektedir (Punjak et al., 1989). Böyle bileşikler külün kazan kirletme ve cürufişma özelliklerini olumlu veya olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Örneğin nefelin oluşumu sodyuma, kazan kirliliğine katkıda bulunmayan bir özellik kazandırmaktadır.

3. KÖMÜR KÜLÜNÜN KAZAN KİRLETME VE CÜRUF OLUŞTURMA EĞİLİMİNİN KESTİRİLMESİ

Kömür yandığında, mineral bileşenleri temel olarak silisyum, alüminyum, demir, kükürt ve kalsiyum bileşikleri, daha az miktarda ise magnezyum, titan, sodyum, potasyum, fosfor ve mangan bileşiklerinden ibaret bir artık oluşturur. Kül bileşenleri analiz sonuçlarında oksitler halinde verilmekle birlikte, bunlar kül içerisinde çoğunlukla, yakmanın gerçekleştirildiği koşullara bağlı olarak, silikatların, oksitlerin ve sülfatların karışımları halinde bulunur.

Bir kül analizinde SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , MnO , SO_3 , P_2O_5 , Na_2O ve K_2O bileşikleri bulunabilir. Serbest veya kompleks bileşikler halinde bulunan bu bileşiklerin derişimleri büyük farklılıklar gösterebilmektedir. Kömür küllerinin, erime Özellikleri ile kazan kirlenme ve cüruflaşma eğilimlerinin, bileşimlerinden yararlanılarak kestirilmesine İlişkin olarak, araştırmacılar, değişik yöntemler geliştirmişlerdir. Bunlardan bazıları aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Raask (1973), kömür külünün silika oranı ile demir oksit içeriğini kullanarak kömürlerin sinterleşme ve cüruf oluşturma eğilimlerini değerlendirmiştir (Çizelge 1). Bu sınıflandırmanın Raask (1985) tarafından, sadece %2,5'dan fazla Na_2O veya %7,5'dan fazla CaO içermeyen kömür külleri için geçerli olduğu gösterilmiştir.

Çizelge 1. Küllerin sinterleşme ve cüruf oluşturma özellikleri (Raask, 1973).

	Cüruf Oluşturmaz A	Az Cüruf Oluşturur B	Çok Cüruf Oluşturur C
Külün Fe_2O_3 içeriği (%)	$3 < Fe_2O_3 < 8$	$8 < Fe_2O_3 < 15$	$15 < Fe_2O_3 < 23$
Külün silika oranı* (%)	$72 < Silika Oranı < 80$	$65 < Silika Oranı < 72$	$50 < Silika Oranı < 65$
Yavaş sinterleşme sıcaklığı (K)	$1350 < K < 1450$	$1250 < K < 1350$	$1150 < K < 1250$
Hızlı sinterleşme sıcaklığı (K)	$1450 < K < 1550$	$1350 < K < 1450$	$1250 < K < 1350$
Cüruf oluşturma sıcaklığı (K)	$1550 < K < 1700$	$1450 < K < 1600$	$1350 < K < 1500$

* Silika oranı = $(SiO_2 \times 100) / (SiO_2 + Fe_2O_3 + CaO + MgO)$

A gurubuna giren kömürlerin toz kömür yakma sistemlerinde kirlenme ve cüruflaşma sorunu yaratmadıkları, B gurubundakilerin az sorun yarattıkları, C gurubuna giren kömürlerin ise çok cüruf oluşumuna yol açtıkları belirtilmektedir.

Attig ve Duzy (1969) kömürün külündeki bazı oksitlerin toplamının ($Fe_2O_3 + CaO + MgO + K_2O + Na_2O$) asit oksitlerin toplamına ($SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2$) oranı kömürün kükürt içeriği ile çarpılarak bir cüruflaşma indisi, R_s , geliştirmişlerdir.

$$R_s = (Baz / Asit) \times S_{(0,1)} (\%) \quad (Kuru kömürde) \quad [1]$$

Bu sınıflandırma Unyitik tip küllere ($CaO + MgO > Fe_2O_3$) uygulanmamalı, sadece bitümitik tip küllere ($CaO + MgO < Fe_2O_3$) uygulanmalıdır. Kömürün içerdiği piritin külün erime sıcaklığını düşürücü etkisi olması araştırmacıları böyle bir indis oluşturmaya yöneltmiştir.

Yine kömür külünün kazan kirlenme eğilimini kestirmek üzere bitümitik tip kömür külleri için bir kirlilik indisi, Rf ve linyitik tip kömür külleri için ayrı bir kirlilik indisi, Rf, geliştirilmiştir (Winegartner, 1974). Bu indisler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$R_f = \left(\frac{\text{Baz}}{\text{Asit}} \right) \times \text{Na}_2\text{O} \quad (\%) \quad [2]$$

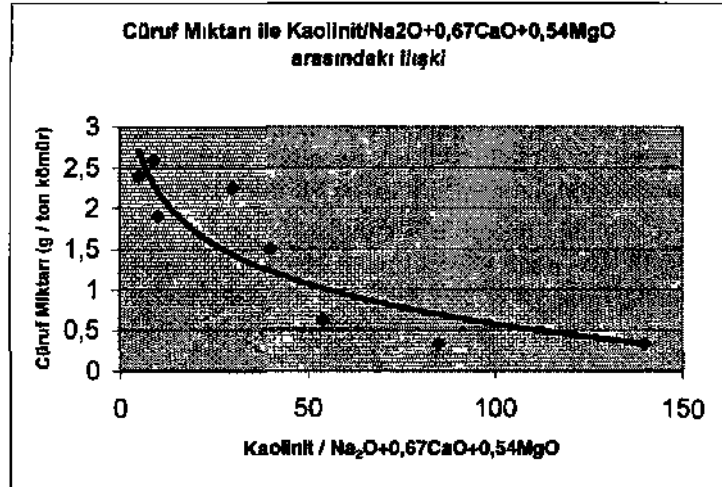
$$R_f = \text{Na}_2\text{O} \quad (\%) \quad [3]$$

Kömür külünün R_s, R_r ve R_f değerleri de kirlenme ve cüruf oluşturma potansiyellerine göre sınıflandırması Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 Kömür külünün R_s, R_r ve R_f değerleri ile kirlenme ve cüruf oluşturma potansiyellerine göre sınıflandırması (Winegartner, 1974).

Kazan kirlenme ve cüruflaşım a derecesi	R _s	R _r	R _f
Düşük	<0,6	<0,2	<2,0
Orta	0,6 - 2,0	0,2 - 0,5	2,0-3,0
Yüksek	2,0-2,6	0,5-1,0	3,0 - 6,0
Çok yüksek	>2,6	>1,0	>6,0

British Coal Corporation (BCC), Kömür Araştırma Merkezi (1992) tarafından farklı İngiliz kömürlerinin kazan kirlenme ve cüruflaşım eğilimlerini incelemek üzere yapılan çalışma sonucunda, kömürün kazan kirliliği eğilimindeki artış ile mineral madde içerisindeki kaolinit miktarı (Kaolinit / Na₂O+0,67CaO+0,54MgO) arasında ters bir orantı olduğu anlaşılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Kömürün kazan kirlenme miktarı ile kaolinit içeriği arasındaki ilişki (BCC, 1992)

4. AFŞİN-ELBİSTAN LİNYİTLERİNİN KAZAN KİRLETME VE CÜRUF OLUŞTURMA EĞİLİMLERİ

Afşin-Elbistan (A) Termik Santrali, toz kömür yakma kazanlarında kömür kalitesi ile ilişkili olarak görülen arıza ve duruşlar dört grupta incelenebilir

- Kazan altı kül çıkarıcıların kapasitelerinin yetersiz kalması,
- Elektro filtrelerin tıkanması,
- Kazan yükünün dalgalanma göstermesi,
- Isı transfer yüzeylerinde cüruflaşma.

Afşin-Elbistan havzasında bulunan linyitlerin küllerinin başlangıç deformasyon sıcaklıkları ile kazan kirlenme ve cüruflaşma eğilimleri, kimyasal bileşimlerinden yararlanılarak incelenmiştir.

4.1. Küldeki Bazık Oksitler ile Asidik Oksitler Arasındaki Orantı

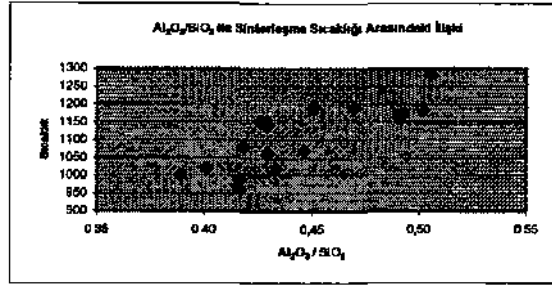
Afşin-Elbistan havzasındaki linyit küllerinin analizleri incelendiğinde bazık oksitlerin, asidik oksitlere oranı 0,39 ile 4,6 arasında değiştiği görülmüştür (Çizelge 3). Bu sonuç maden yatağında linyitik ve bitümitik küllerin bulunduğunu göstermektedir. Bu nedenle küllerin cüruflaşma ve kazan kirlenme özellikleri incelenirken küller,

- Linyitik küller: $(Fe_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2) > 1$ [4]
 - Bitümitik küller: $(Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O + MgO) / (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2) < 1$ [5]
- olarak sınıflandırılmıştır.

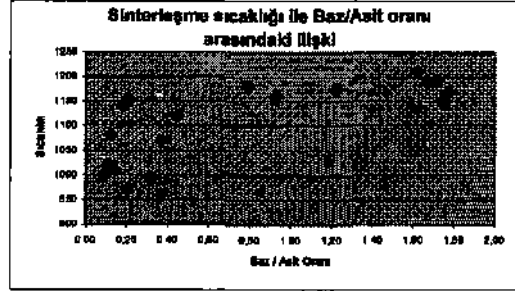
Çizelge 3. Linyit damarının tavanından tabanına doğru alınan örneklere ilişkin kül analiz değerleri.

No	»O, (ft>	Fe ₂ O ₃ (ft)	Al ₂ O ₃ +TiO ₂ (ft)	CaO (ft)	MgO (ft)	MnO (ft)	SO ₂	P A	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	Sinter <°C	Ergime CO	Baz/Asit	MiO ₂ /SiO ₂	Rs	Rf	BT
1	27,70	4,26	13,59	25,94	2,96	0,02	19,47	0,15	0,41	0,40	1160,00	1250,00	1,89	0,49	-	-	M
2	20,40	3,51	9,74	50,49	2,04	0,20	12,21	0,45	0,21	0,18	1150,00	1400,00	4,38	0,48	-	-	3,2
3	21,54	4,32	9,32	41,87	2,11	0,22	19,10	0,60	0,19	0,23	1210,00	1370,00	3,60	0,43	-	-	3,2
4	21,10	3,98	9,51	46,68	2,18	0,21	15,20	0,52	0,20	0,26	1190,00	1380,00	4,03	0,45	-	-	3,2
5	20,44	4,62	8,22	50,85	2,09	0,25	12,32	0,57	0,19	0,22	1170,00	1250,00	4,60	0,40	-	-	1-2
6	23,74	6,03	11,67	37,32	2,87	0,26	17,03	0,53	0,22	0,26	1175,00	1220,00	2,97	0,49	-	-	0,2
7	20,76	3,50	9,75	44,36	2,12	0,20	18,12	0,53	0,20	0,20	1190,00	1350,00	3,85	0,47	-	-	>£
8	31,50	5,57	15,81	27,66	2,19	0,20	15,82	0,70	0,22	0,27	1180,00	1300,00	1,68	0,50	-	-	3,2
9	43,88	9,36	18,28	12,40	2,80	0,05	11,21	0,30	0,60	0,60	990,00	1280,00	0,78	0,42	-	-	3,6
10	52,48	8,41	21,84	7,76	2,36	0,04	4,14	0,21	0,70	0,70	1010,00	1320,00	0,49	0,42	-	-	3,7
11	54,56	8,48	21,87	5,38	2,58	0,06	3,96	0,21	0,80	0,85	1020,00	1350,00	0,42	0,40	1,4	3,4	.
12	46,46	11,55	19,80	8,90	2,79	0,08	7,88	0,31	0,70	0,75	1150,00	1305,00	0,64	0,43	-	-	0,7
13	52,80	9,54	22,08	6,20	2,60	0,08	4,26	0,18	0,83	0,83	1080,00	1320,00	0,47	0,42	1,6	M	
14	41,50	9,15	18,53	14,06	2,53	0,08	12,44	0,32	0,61	0,61	1070,00	1280,00	0,87	0,45	-	-	0,6
15	49,20	9,23	21,13	8,70	2,78	0,07	5,93	0,36	0,75	0,75	1140,00	1300,00	0,58	0,43	-	-	P8
16	49,56	8,41	20,58	9,64	2,72	0,08	6,72	0,33	0,68	0,68	970,00	1320,00	0,60	0,42	-	-	M
17	42,66	8,56	17,76	14,16	2,68	0,09	12,05	0,34	0,69	0,69	960,00	1280,00	0,87	0,42	-	-	M
18	55,52	9,78	21,61	4,52	2,46	0,08	3,30	0,31	0,80	0,75	1000,00	1350,00	0,39	0,39	1,3	3,3	
19	41,90	8,25	14,94	15,70	2,51	0,08	14,62	0,41	0,67	0,67	1120,00	1220,00	0,97	0,36			V

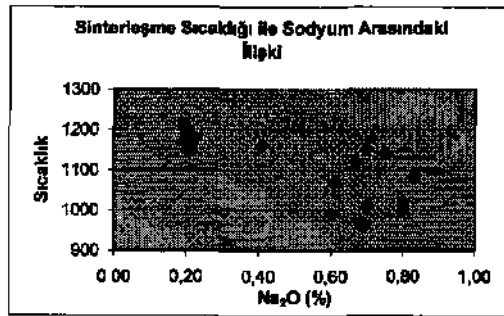
Al_2O_3/SiO_2 oranı, kil minerallerinin toplam mineral madde içerisindeki oranım ortaya koymak açısından önemli bir göstergedir (BCC, 1992). Bu çalışmada da mineral madde içerisindeki kil oranı arttıkça sodyumun ve kalsiyumun kazan kirlenme eğiliminin azaldığı ve külün sinterleşme sıcaklığının yükseldiği görülmüştür (Şekil 2). Baz/Asit oranı 0,4'ün altındaki küllerin sinterleşme sıcaklıkları $950\text{ }^\circ\text{C}$ ye kadar düşebilmektedir. Ayrıca sinterleşme sıcaklığı ile sodyum içeriği arasında da anlamlı bir ilişki bulunmaktadır ve sodyum oranı arttıkça, külün sinterleşme sıcaklığı azalmaktadır (Şekil 4).



Şekil 2. Külün sinterleşme sıcaklığı ile Al_2O_3/SiO_2 arasındaki ilişki.



Şekil 3. Külün sinterleşme sıcaklığı ile Baz/Asit oranı arasındaki ilişki (Ami ve ark., 1999).



Şekil 4. Külün sinterleşme sıcaklığı ile sodyum oranı arasındaki ilişki.

5, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Afşin-Elbistan linyitlerinin kazan kirlenme ve cürüflaşma eğilimlerinin kestirimi ile mineral madde-çerikleninin toz kömür yakma sistemlerindeki rolü ile ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Sodyum, külün kazan kirlenme ve cürüflaşma potansiyelini arttıran önemli bir faktördür,
- Mineral madde içerisindeki kil minerallerinin miktarının tahmininde Al_2O_3/SiO_2 oranı önemli bir göstergedir.
- Al_2O_3/SiO_2 oranı büyüdükçe külün sinterleşme sıcaklığı da artmaktadır,
- Kalsiyum, külün kazan kirlenme ve cürüflaşma eğilimini arttırmaktadır, ancak, kalsiyum oranı ile birlikte Al_2O_3/SiO_2 oranı da ortalamaların üzerinde olan kömürlerde külün kazan kirlenme ve cürüflaşma eğilimi azalmaktadır,
- Baz / Asit oranı 0,4'ün altında kalan küllerin sinterleşme sıcaklıkları 1150 ile 950 °C arasında değişmektedir. Burada Al_2O_3/SiO_2 oranı belirleyici faktör olmaktadır. Baz / Asit oranı 0,4'ün altında olduğu halde Al_2O_3/SiO_2 oranı yüksek olan kömürlerde sinterleşme sıcaklığı artmaktadır.
- Kömür yıkama çalışmaları sırasında amaç sadece kül (mineral madde) oranını düşürmek olmamalı aynı zamanda mineral madde olarak hangi minerallerin atıldığına da dikkat edilmelidir. Yıkama işlemleri ile kömürün içerisine karışmış olan kaba kil minerallerinin kolayca atılabildiği göz önüne alındığında, bu yıkama işleminin kömürün kalitesini arttırmaktan çok, kazan kirlenme ve cürüflaşma eğilimini artıracacağı de dikkate alınmalıdır.

KAYNAKLAR

- Anıl, M. Ural, S. ve Yıldırım, M.** (1999) Afşin -Elbistan Termik Santrali Toz Linyit Yakma Kazanlarında Cüruf Oluşum Nedenlerinin Araştırılması, TÜBİTAK, Proje No: YDABÇAĞ-540 •
- Attig, R.C. and Duzy, A. F.** (1969) American Power Conf., Dlinois Ins. of Tech.
- British Coal Corporation, Coal Research Establishment** (1992) The Role of Coal Minerals in Conversion Processes, Commission of the European Communities, Final Report EUR 14070 EN.
- Caswell, S. A.** (1981) Fuel, Vol.60, pp. 1164-1166.
- Daybell, G. N.** (1967) J. Inst. Fuel, Vol. 40, pp. 3-6.
- Dixon, K. Skipsey, E. and Watts, J. T.** (1964) J. Inst. Fuel, Vol. 37, pp. 485-493
- Falcone, S.K. and Schobert, H. H.** (1986) Mineral Matter and Ash in Coal, ed. K.S. Vorres, ACS Symp. Ser. No. 301.
- Gluskoter, H. J.** (1965) Fuel, Vol. 44, pp.285-299.
- Hale, G. I. Levassuer, A. A. Tyler, A. L. and Henscl, R. P.** (1980) Proc. Coal Tech. 80, 3rd Int. Coal Utilisation Exhib. And Conf.

- Herod, A.A. and Smith, C.A.** (1985) *Fuel*, Vol. 64, pp.281-285.
- Hodges, N. J. Marsh, M. K. Martin, T. G. McCaffrey, D. J. A. and Williamson, J.** (1987) The Characterisation of Mineral Matter in UK Bituminous Coals, First European Conf. On The Influence of Inorganic Constituents on Coal Combustion Inst, of Energy, Imperial Collage, London, I/1/-1.
- Hodges, N. J. Lander, W. R. and Martin, T. G.** (1983) *J. Inst. Energy*, Vol.55.
- KiçOkbayrak, S. Meriçboyu, A. Haykırı, H. Gfner, H. and Urkan, K.** (1993) Investigation of the Relation Between Chemical Composition and Ash Fusion Temperatures for Some Turkish Lignites, *Fuel Science and Technology International*, Vol.11, No.9, pp. 1231-1249.
- Lowry, H.H.** (1963) *Chemistry of Coal Utilisation, Supplementary Volume*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Meyers, R. A.** (1982) *Coal Structure*, Academic Press, Inc., New York.
- Punjak, W. A. Uberoi, M. and Shadman, F.** (1989) *ACS Div. Fuel Chem.*, Vol.34.
- Raask, E.** (1985) *Mineral Impurities in Coal Combustion*, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- Raask, E.** (1973) *VGB Kraftwerkstechnik*, Band 53.
- Vorres, K.S.** (1984) *Mineral Matter and Ash in Coal*, American Chemical Society, Washington.
- Vuthaluru, H. B.** (1999) Remediation of ash problems in pulverised coal-fired boilers, *Fuel*, Vol. 78, No.15, pp. 1789-1803.
- Watts, J.** (1968) The Physical and Chemical Behaviour of the Mineral Matter in Coal Under the Conditions met in Combustion Plant, Part I, *BCURA Lit. Surv.*
- Winegartner, E.C.** (1974) *Coal Fouling and Slagging Parameters*, ASME Research Committee on Corrosion and Deposits from Combustion Gases.
- Zakhay, V. Joseph, A. Sundaresan, C. Clisset, H. Radhakrishnan, P. Panunzio, S. and Miller, G.** (1983) *Fluidised Bed Combustion and Applied Technology*, First International Symp. Corp.