

**KÖMÜR KALİTESİNE BAĞLI OLARAK ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALİNDE
KATI ATIK MİKTARININ BELİRLENMESİ**

Duygu DURGUN

**Zonguldak Karaelmas Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Haziran 2008**

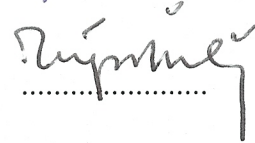
KABUL:

Duygu DURGUN tarafından hazırlanan "KÖMÜR KALİTESİNE BAĞLI OLARAK ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALİNDEKİ KATI ATIK MİKTARININ BELİRLENMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 19/06/2008

Başkan: Yrd. Doç. Dr. Ayten GENÇ (ZKÜ)



Üye : Doç. Dr. Tuğrul ÜNLÜ (ZKÜ)

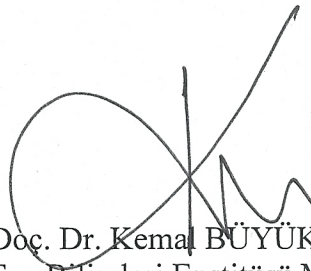


Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI (ZKÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım./....../2008



Doç. Dr. Kemal BÜYÜKGÜZEL
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Duygu DURGUN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÖMÜR KALİTESİNE BAĞLI OLARAK ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALİNDEKİ KATI ATIK MİKTARININ BELİRLENMESİ

Duygu DURGUN

Zonguldak Karaelmas Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ayten GENÇ

Haziran 2008, 57 sayfa

Çatalağzı Termik Santralinde (ÇATES) ana yakıt olarak Türkiye Taşkömürü Kurumunun (TTK) taşkömürü atığı olan ve ticari değeri olmayan kalorisi düşük kömürler kullanılmaktadır. Yakılan kömürlerin farklı karakteristiklere sahip olması doğal olarak yanma kalitesini etkilemekte ve santralde oluşan gerek gaz ve gerekse katı atıkların (uçucu kül ve curuf) özelliklerinde değişimlere neden olmaktadır. Bu nedenle yanma sonucunda oluşan atık madde miktarlarının yanma veriminin yanı sıra kullanılan kömürlerin kalitesini belirleyen nem, sabit karbon, kül içeriği, alt ısı değeri ve öğütülebilirlik indeksi gibi özelliklere de bağlı olacağı aşîkardır.

Bu çalışmada ÇATES'te kullanılan kömürlerin kimyasal özellikleri ile yanma sonucu oluşan curuf miktarları arasındaki ilişki iki farklı aşamada incelenmiştir. İlk aşamada bir senelik dönem içerisinde santralde kullanılan kömürlerin özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Kullanılan kömürlerdeki nem ve kül miktarının, sabit karbon ve uçucu madde yüzdelerinin çok değişmediği gözlenmiştir. Özellikle yakılan kömürlerin karışım kömürleri olması

ÖZET (devam ediyor)

nedeniyle kullanılan kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeks (HGI) değerleri ve alt ısı değerlerindeki (AID) değişimler detaylı bir şekilde incelenmiştir. İkinci aşamada ise işletme verilerine dayalı olarak santralde kullanılan kömür miktarlarına bağlı olarak günlük curuf miktarları belirlenmiştir. Santraldeki katı atık miktarını etkileyen en önemli parametrenin kullanılan kömürün AID olduğu ve yanma sonunda ortaya çıkan katı atık madde miktarı ile AID arasında doğrusal bir bağlantı olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Termik santral; Kömür kalitesi; Katı atık; Isıl değer; Öğütülebilirlik

Bilim Kodu: 615.01.01

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF PRODUCTION RATE OF SOLID WASTE IN ÇATALAĞZI THERMAL POWER PLANT DEPENDING ON COAL QUALITY

Duygu DURGUN

**Zonguldak Karaelmas University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering**

Thesis Advisor: Asst. Prof. Ayten GENÇ

June 2008, 57 pages

The main fuel used in Çatalağzı Thermal Power Plant (ÇATES) is the waste hardcoal product of TTK, which has a low heating value. It is very well known that combustion efficiency strongly depends on the characteristics of coals used, which has indirect effect on the properties of solid waste produced, i.e., fly ash and furnace bottom ash. Therefore, it is clear that the properties and the amount of solid waste produced and its amount depend on not only the combustion efficiency but also on the parameters that identify the characteristics of coals, such as, moisture, carbon and ash contents, lower heating value (AID) and hardgrove grindability index (HGI).

In this study, the relation between the chemical properties of coals used in ÇATES and the production rate of furnace bottom ash is investigated in two stages. At the first stage, the chemical properties of coals used during a period of a year were analyzed and the differences in the properties of these coals were identified. It was observed that ash and moisture contents

ABSTRACT (continued)

of the coals and the percentages of fixed carbon and volatile compounds didn't change very much. Because of using mixed coals, HGI and AID values of the coals were analyzed in detail. The production rate of furnace bottom ash was determined depending on the rate of feeding coal by using the operational data obtained from ÇATES. It was concluded that the most important parameter which affects the production rate of solid waste was AID of the coals and a linear relation was observed between AID of the coals and the production rate of solid waste.

Key Words: Thermal power plant; Coal quality; Solid waste; Heating value; Grindability

Science Code: 615.01.01

TEŞEKKÜR

Yazar, tez çalışmasının her aşamasında değerli fikirleriyle yol gösteren tez danışmanı Yrd. Doç. Dr. Ayten GENÇ'e (ZKÜ), yüksek lisans yapmasının yolunu açan ve desteğini esirgemeyen İşletme Müdürü Muzaffer GENÇOĞLU'na (ÇATES), numunelerin alınması, analizlerin yapılması ve verilerin toplanması konusunda yardımcı olan ÇATES çalışanlarına, elementer analizlerin yapılması konusunda katkıda bulunan Merkez laboratuvarı çalışanlarına (EÜAŞ); hep yanında olan ailesine sonsuz teşekkür eder.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 KÖMÜR ÖZELLİKLERİ	5
2.2 KARIŞIM KÖMÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ	10
BÖLÜM 3 ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALİ, KÖMÜR SİSTEMİ VE YANMA..	17
3.1 ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALİ	17
3.2 PULVERİZE KÖMÜR SİSTEMİ	18
3.3 YANMA VE CURUFLAŞMA	19
BÖLÜM 4 KÖMÜR VE ANALİZLERİ	21
4.1 KİMYASAL ANALİZLER	22
4.1.1 Kaba Kimyasal Analizler	22

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
4.1.2 Elementer Analizler.....	24
4.2 ISIL DEĞER.....	25
4.3 HARDGROVE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK İNDEKSİ.....	26
 BÖLÜM 5 DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	 27
5.1 KİMYASAL ANALİZLER.....	27
5.2 ISIL DEĞER TAYİNİ.....	28
5.3 HARDGROVE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK İNDEKSİ TAYİNİ.....	28
 BÖLÜM 6 DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA..	 29
6.1 HARDGROVE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK İNDEKSİ BAĞINTILARI.....	30
6.1.1 Santral Kömürlerinin Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Bağlıntıları.....	31
6.1.2 Kimyasal ve Isıl Değer Analizleri ile Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Bağlıntıları.....	33
6.2 ALT ISIL DEĞER BAĞINTILARI.....	40
6.2.1 Kimyasal Analizler ile Alt Isıl Değer Bağlıntıları.....	40
6.2.2 Yanan Kömürün Curuf Oranı ile Alt Isıl Değer Bağlıntıları.....	43
 BÖLÜM 7 SONUÇLAR.....	 49
 KAYNAKLAR.....	 53
 BİBLİYOGRAFYA.....	 55
 ÖZGEÇMİŞ.....	 57

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
6.1 Lavuarlanmış ve lavuarlanmamış kömür karışımlarının hardgrove öğütülebilirlik indeksi analiz sonuçları.....	33
6.2 Çatalağzı ve Rödevans karışım kömürlerinin hardgrove öğütülebilirlik indeksi analiz sonuçları.....	33
6.3 Kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi ve alt ısı değeri arasındaki ilişki...	35
6.4 Kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi ve kaba kimyasal analizler arasındaki ilişkiler.....	36
6.5 Kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi ve elementel kimyasal analizler arasındaki ilişkiler.....	38
6.6 Kömürün alt ısı değeri ile kimyasal analizleri arasındaki ilişkiler.....	41
6.7 2007 yılı çeşitli aylar santral besleyici kömürleri alt ısı değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.....	43

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.1 Çatalağzı Termik Santrali kömürlerinin tasarım değerleri.	19
6.1 Çatalağzı Termik Santralında kullanılan kömürlerin analiz sonuçları.....	30
6.2 Çatalağzı Termik Santralında kullanılan kömürlerin farklı zamanlardaki hardgrove öğütülebilirlik indeks değerleri.....	31
6.3 Hardgrove öğütülebilirlik indeksi değerlerine göre öğütülebilirlik sınıflaması.....	31
6.4 Çatalağzı Termik Santralinde oluşan curuf bileşenlerinin ortalama analiz sonuçları.....	47

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Al	:	alüminyum
As	:	arsenik
CaO	:	kalsiyum oksit
CO ₂	:	karbon dioksit
Fe ₂ O ₃	:	demir(III) oksit
Ge	:	gehlenit
K	:	kül içeriği
Mo	:	molibden
N	:	azot
NO _x	:	azot oksitler
Pb	:	kurşun
S	:	kükürt
Si	:	silisyum
Sn	:	kalay
SO ₂	:	kükürt dioksit
Ti	:	titanyum
Tl	:	talyum
UM	:	uçucu madde içeriği
W	:	0,075 mm'lik elek üzerinde kalan malzeme miktarı
Zn	:	çinko

KISALTMALAR

AID	:	alt ısıtıcı değeri
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
ÇATES	:	Çatalağzı Termik Santrali
EÜAŞ	:	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
HGI	:	hardgrove öğütülebilirlik indeksi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

TTK : Türkiye Taşkömürü Kurumu

XRD : X ışını difraksiyon

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Termik santraller temelde fosil yakıtlardan elde edilen ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren santrallerdir. Bu dönüşüm, kimyasal enerjinin ısıya, ısının mekaniğe, mekanik enerjinin de elektrik enerjisine dönüşümü basamaklarını içerir. Ülkemizde termik santraller çoğunlukla Enerji Bakanlığı bünyesinde bulunan Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ) çatısı altında üretimlerini gerçekleştirmektedir. Bu santrallerden bir tanesi de Çatalağzı Termik Santralidir (ÇATES). Santral, Türkiye Taşkömürü Kurumunun (TTK) taşkömürü atığı olan, ticari değeri olmayan, kalorisi düşük kömürleri ana yakıt olarak kullanmak üzere tasarlanmıştır. Kazanda yanan yakıtın çoğunluğu toz halinde püskürtülmüş (pulverize) TTK lavuar atığı mikst ve şlam kömürüdür. Santralde TTK tarafından gönderilen lavuarlanmış kömürler (Kozlu, Üzülmüş, Armutçuk ve Çatalağzı kömürleri) ve lavuarlanmamış kömür olarak ifade edilen rödevans kömürleri kullanılmaktadır.

Pulverize termik santrallerde tasarım değerlerini elde etmek için (ısı değeri, karbon içeriği vb.) madenden çıkan farklı kömür çeşitleri (yıkılmış iri parçalar, yıkanmamış kısımlar, şist, şlam) uygun oranlarda karıştırılarak karışım kömürleri yakıt olarak kullanılabilir. Ayrıca karışım kömürlerinin yakıt olarak kullanımı yakıt tiplerinin değişkenliğini artırmakta, kömürlerin yanma performansında iyileştirme sağlayabilmekte ve emisyonları azaltabilmektedir. Bunlara ek olarak karışım kömürlerinin kullanımı, kömür maliyetlerinde azalmalara neden olduğundan pratikte yaygın olarak kullanılır hale gelmiştir.

Kömür kalitesi, kömürün davranışını ve kullanımını etkileyen özelliklerini ve karakteristiklerini ifade etmekte kullanılan bir terimdir. Bu karakteristiklerin bilinmesi, gerekli enerji kaynağını daha etkili, daha verimli ve daha az istenmeyen çevresel etkiyle kullanabilmemize olanak verir.

Karışım kömürlerinin kalitesini ve yanma özelliklerini belirleyen parametrelerden çok azı karışımı oluşturan kömürlerin özelliklerine bakılarak tahmin edilebilir. Örneğin, karışım kömürünün karbon içeriği eğer karışımı oluşturan kömürlerin kimyasal analizleri biliniyorsa hesaplanabilir. Ancak karışım kömürlerinin öğütülebilirlik indeksi, ateşleme davranışı, NO_x emisyonu ve curuflaşma potansiyeli gibi karakteristik özelliklerinin, karışımı oluşturan ana kömürlerin özelliklerine bağlı olarak tahmin edilmesi mümkün değildir.

Pulverize kömür santrallerinde yanmayı etkileyen en önemli parametrelerden birisi kömürün öğütülebilirliğidir. Kömürün öğütülebilirliği ise kömürün yapısı, dayanıklılığı ve sertliği gibi birçok özelliğe bağlıdır. Karışım kömürlerinin hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) tahmininde genel yöntemler olmadığından, karışım kömürlerinin HGI değerleri ancak deneysel olarak belirlenebilmektedir. Ayrıca karışım kömürlerinin curuflaşma davranışı karışımı oluşturan kömürlerin curuflaşma özelliklerden çok farklı olması, kazanda veya santralde yer alan diğer ünitelerde tıkanıklıklara neden olmaktadır. Bu nedenle karışım kömürlerinin yakıt olarak kullanıldığı termik santrallerde yaşanan sorunlar, santraldeki yanma verimine ve kullanılan kömür kalitesine bağlı olarak farklılıklar göstermekte ve bulunan çözümler de çoğunlukla deneme yanılma yöntemine dayanmaktadır.

Pulverize kömür santrallerinde mükemmel yanmanın sağlanması yakıt kullanımına göre tasarlanmıştır. Tasarımda kazan performansının belirlenmesinde kullanılan kömürlerin kül içeriği, hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI), uçucu madde içeriği, yanma davranışı ve curuflaşma karakteristikleri kullanılır. Birçok durumda, işletme şartlarında oluşan farklılıklardan dolayı kazanda kullanılan yakıt miktarı tasarım değerinden uzaklaşır. Özellikle karışım kömürlerinin yakıt olarak kullanıldığı santrallerde belirlenen tasarım değerlerinde çalışmak oldukça zordur. Çünkü karışım kömürleri kazanda istenilen temel kömür özelliklerini sağlasa bile, örneğin alt ısı değer gibi, bu karışımların yanma verimi karışımı oluşturan ana kömürlerin özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle kazanda mükemmel yanmayı sağlayacak ortam şartlarının belirlenmesinde karışım kömürlerinin özelliklerinin tanımlanması önem kazanmaktadır.

Termik santrallerde yanma sırasında uçucu ve taban külü (curuf) olmak üzere iki tip kül oluşmaktadır. Taban külü yanma kazanının altında biriken daha iri ve ağır kalıntılardır. Kazan altında su ile tanelerin birbirine birleştirilmesi (curuf) şeklinde yapılan biriktirme, ıslak yöntemdir. Kazan tipi, kül dağılımında en belirleyici faktördür. Pulverize kömür yakan termik

santrallerde oluşan kül atıklarının büyük kısmı (yaklaşık %80) uçucu kül olarak oluşmaktadır. ÇATES'te de günümüzde dünyadaki termik santrallerin büyük çoğunluğunda olduğu gibi pulverize kömür yakan kazanlar kullanılmaktadır. Santral tasarımı %80 uçucu kül ve %20 taban külü esas alınarak gerçekleştirilmiş ve kazan deneme sürecinde yapılan ölçümlerde yaklaşık bu sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışma kapsamında ÇATES'te kullanılan kömürlerin kalitesini belirleyen parametreler ve bu parametrelerin yanma sonucu oluşan katı atık miktarına etkisi incelenmiştir. ÇATES, TTK'nın taşkömürü atığı olan ve ticari değeri olmayan, kalorisi düşük kömürleri ana yakıt olarak kullanmaktadır. Çalışma kapsamında santral kömürlerinin öncelikle kimyasal özellikleri, ısıl değeri ve öğütülebilirlikleri araştırılmıştır. Karışım kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ve alt ısıl değeri (AID) bağıntıları incelenmiştir. HGI bağıntıları iki bölüm halinde araştırılmıştır. İlk bölümde santral kömürlerinin ve bu kömürlerin karışımından oluşan besleyici kömürlerinin öğütülebilirlik dereceleri; ikinci bölümde ise besleyici kömürlerinin HGI ile AID ve kimyasal analizleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Ayrıca karışım kömürlerin ve yanma sonucu oluşan curufların kimyasal analizleri ile AID arasındaki bağıntılar araştırılmıştır.

Santral besleyici kömürünün HGI değeri, kömürün incelenen özellikleriyle ilişkisi kurulamadığından, bu parametrenin katı atık miktarıyla birebir bir ilişkisi olduğunu söylemek mümkün görünmemektedir. Kömürün alt ısıl değeri arttıkça curufun yanan kömür miktarına oranının azaldığı gözlenmiş; iki büyüklük arasında denklem kurulmuştur. Buna göre, Çatalağzı Termik Santralinde kullanılan kömürlerin yanması sonucunda açığa çıkan katı atık miktarına karar vermek için en önemli parametrenin alt ısıl değeri olduğu anlaşılmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Pulverize termik santrallerde yakıt olarak karışım kömürlerinin kullanımı her geçen gün artış göstermektedir. Santrallerde yakıt tiplerinin değişkenliğini arttırmak, kömürlerin yanma davranışını iyileştirmek ve emisyonları azaltmak amacıyla karışım kömürlerinin yakıt olarak kullanımı hedeflenmiştir. Bunlara ek olarak kömür performanslarının iyileştirilmesi, santral tasarım değerlerinin karşılanması ve kömür maliyetlerinin düşürülmesi de karışım kömürlerinin termik santrallerde kullanımını yaygınlaştıran amaçlara eklenebilir. Ancak karışım kömürlerinin karakteristik özelliğinin karışımı oluşturan ana kömür özelliklerinden farklılıklar göstermesi ve bu özelliklerin tahmin edilememesi, karışım kömürlerinin işletim esnasında önemli sorunların yaşanmasına neden olmaktadır. Örneğin karışım kömürlerinin ateşleme davranışı ve yanma profili karışımı oluşturan kömürlerin özelliklerine bakılarak tahmin edilemediğinden yanma verimi çok düşük veya curuflaşma gibi problemlerin yaşanmasına neden olabilir. Bu nedenle aşağıdaki alt başlıklarda kömür karakteristik özellikleri ve karışım kömürlerinin özelliklerinin belirlenmesi üzerine yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde sunulmuştur.

2.1 KÖMÜR ÖZELLİKLERİ

Doğan vd. (1994) tarafından yapılan bir çalışmada, Türkiye'deki bazı linyitlerin öğütülebilirlikleri rutubet miktarına bağlı olarak belirlenmiştir. Araştırmada Türkiye Kömür İşletmeleri'ne ait farklı ocaklardan alınmış linyit numuneleri incelenmiştir. Numune alınan ocakların seçimi, çevrelerinde termik santrallerin kurulmuş olması ya da kurulması planlanmış olmasına göre yapılmıştır. Öğütülebilirlik deneyleri Hardgrove test cihazında yapılmıştır. Çeşitli bölgelerden alınan linyit numunelerinin aynı rutubet seviyesindeki öğütülebilirlikleri büyük farklılıklar göstermiştir. Linyitlerin öğütülebilirliğinin rutubet yüzdesi ile yakın ilintisi olduğu gözlenmiştir. Rutubet yüzdesine karşı öğütülebilirlik indeksi eğrileri tüm linyitler için benzer bir şekil almıştır. En düşük öğütülebilirlik indeksleri orta

rutubet aralığında gözlenmiştir. Ancak orta rutubet aralığı olarak adlandırılan rutubet değerleri farklı linyit numuneleri için aynı kalmamıştır.

Bozkurt (1996) tarafından yapılan çalışmada ilk olarak Zonguldak Kozlu K20/G kuyusundan daha sonra ise, K20/K ve K20/H kuyularından alınan taşkömürü örneklerinin kimyasal yapısının belirlenmesi amaçlanmıştır. Üst ısıl değerinin kömür tabakası boyunca değişimi incelendiğinde kül miktarı yüksek örneklerde ısıl değer düşüğü görülmektedir. Bu iki değişken arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için kül içerikleri ile üst ısıl değerleri karşılaştırılmış ve sonuçta aralarında negatif doğrusal bir ilişkinin bulunduğu saptanmıştır. Kozlu kömürünün yapısında önemli ölçüde kil minerallerinin varlığı görülmüştür. Asit (HCl/HF) yıkaması ile kil varlığı azalmıştır. Derinlik ve kömürleşme derecesiyle sabit karbon ve uçucu madde değerleri arasında belirgin bir ilişki bulunmuştur. Sabit karbon değerleri, artan derinlik ve kömürleşme derecesi ile artmış, uçucu madde değerleri ise azalmıştır. Kül miktarı derinlikle herhangi bir korelasyon göstermemiştir. Sonuç olarak kömür kalitesinin artan derinlikle arttığına karar verilmiştir.

Coşkun (1999) tarafından yapılan çalışmada Zonguldak Havzası kömürlerinin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üç aşamada gerçekleştirilen çalışmada ilk olarak, kömürün fiziksel ve mekanik özellikleriyle ilgili kaynak araştırması yapılmıştır. Daha sonra deneysel çalışmalara geçilmiş ve TTK tarafından, üretim ya da hazırlık çalışmalar sürdürülen 11 kömür damarından örnekler alınmıştır. Bu damarlarının tamamında darbe dayanım indeksi, 8'inde tek eksenli basınç dayanımı, çekme dayanımı ve Shore sertliği ile 7'sinde de konik delici değeri deneyleri yapılmıştır. Son olarak, mekanik özelliklerin birbiriyle ve kömürün nem içeriği, kül içeriği, sabit karbon oranı ve uçucu madde içeriğiyle değişimleri araştırılmıştır. Tek eksenli basınç dayanımının çekme dayanımı, Shore sertliği ve sabit karbon oranına bağlı olarak değiştiği; çekme dayanımının tek eksenli basınç dayanımı, Shore sertliği, konik delici değeri, nem içeriği ve uçucu madde içeriğine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Darbe dayanım indeksinin, konik delici değeri, Shore sertliği ve uçucu madde içeriğine bağlı olarak değiştiği; Shore sertliğinin, konik delici değerine bağlı olarak değiştiği gözlenmiştir. Tek eksenli basınç dayanımı ve çekme dayanımı en yüksek damarların, sırasıyla Amasra ve Armutçuk Bölgelerine ait damarlar olduğu; sıralamanın Üzülmüş ve Karadon olarak devam ettiği anlaşılmıştır. Yine Amasra bölgesi damarlarının, Shore sertliği ve konik delici değeri en yüksek damarlar olduğu; Amasra'yı Armutçuk bölgesinin izlediği belirtilmiştir. Sabit karbon oranı ile tek eksenli basınç dayanımı arasında doğrusal bir ilişki bulunduğu ortaya çıkmıştır.

Kömürün nem içeriği ile tek eksenli basınç dayanımı arasında birinci dereceden bir polinomla ifade edilebilen bir ilişki bulunmuştur. Kömürün uçucu madde içeriği ile çekme dayanımı arasında ikinci dereceden polinomla ifade edilebilen bir ilişki saptanmıştır. Kömürlerin kül içeriği ile çekme dayanımı arasında doğrusal bir ilişki gözlenmiştir. Bütün bu sonuçlar değerlendirildiğinde, mekanik özelliklerin birbirleriyle ve kömür analiz değerleriyle olan ilişkileri görülmüştür.

Onacak (1999) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye'deki termik santrallerde yakılan kömür ve yanma sonucu oluşan katı atıkların kaba kimyasal, mineralojik ve jeokimyasal özellikleri incelenerek kömür ve kül ilişkileri araştırılmıştır. Ayrıca kömür ve katı atık özelliklerinin zamana ve ünitelere bağlı olarak değişimi, pilot tesis olarak seçilen Çayırhan Termik Santralinde ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Elde edilen veriler ışığında kömür ve yanma sonucu oluşan küllerin çevresel etkileri belirlenmiş; uçucu küllerden sentetik zeolit minerallerinin elde edilmesine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Çalışma kapsamında ülkemizdeki 10 termik santralin 13 ünitesinden toplam 39 adet örnek (beslenen kömür, uçucu kül ve taban külü) alınmış ve analizleri yapılmıştır. Beslenen kömür örneklerinde, ortalama olarak %26.1 toplam nem ve havada kuru bazda %7.6 nem, %44.2 kül, %29.1 uçucu madde, %2.05 toplam kükürt ve 2991 kcal/kg üst ısı değeri saptanmıştır. Termik santrallere gönderilen besleme kömürleri ile yanma sonucu oluşan katı atıklardan elde edilen kimyasal analiz sonuçlarının çevresel açıdan değerlendirilmesi amacıyla kütle denkliği hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Hesaplama sonuçlarına göre Zn, Sn, Pb, As, Mo, Tl, ve Ge elementlerinin uçucu karakter gösterdiği ve uçucu küller üzerinde zenginleştiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında Çayırhan Termik Santralinin iki ünitesinden periyodik olarak toplam 48 örnek (beslenen kömür, uçucu kül ve taban külü) alınmış ve analizleri gerçekleştirilmiştir. Beslenen kömür, uçucu kül ve taban külü örneklerine ait analiz sonuçlarında, gerek üniteler arasında ve gerekse zamana bağlı olarak önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür. Ayrıca Türkiye'deki termik santrallere beslenen kömür örneklerinin kül içeriğinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir. Tüm termik santrallerin ortalama kül içeriği %44,20 olarak hesaplanmıştır. En düşük değere ise %17,5 uçucu madde içeriği ile ÇATES besleme kömüründe gözlenmiştir. Uçucu kül ve taban külü örneklerinde ise bunlardan elde edilen kül miktarına bağlı olarak uçucu madde içeriği değişmektedir. Kül içeriği düşük olan örneklerdeki (uçucu ve taban külü) uçucu madde miktarı yüksek olarak tespit edilmiştir. İncelenen termik santral kömür örnekleri toplam kükürt değerlerine göre iki grup altında toplanmıştır. Buna göre birinci grupta Kangal, Yeniköy, Elbistan, Çayırhan, Yatağan ve Tunçbilek (A3) termik santrali beslenen kömür

örnekleri yer almış ve bunların yüksek kükürt içeriğine sahip olduğu; ikinci grupta diğer termik santral kömürlerinin bulunmakta olduğu ve bunların diğerlerine göre daha az kükürt içerdiği belirtilmiştir. En az kükürt içeriği, ÇATES (%0,38) kömürlerinde bulunmuştur. ÇATES'te Zonguldak havzasından çıkarılan taş kömürünün lavuarda yıkandıktan sonra kalan atıkların yakıt olarak kullanılması nedeniyle kül içeriğinin yüksek olmasına rağmen, ısı değeri de yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun, bu beslenen kömürün taş kömür aşamasında kömürleşme derecesine sahip olmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. ÇATES besleme kömürlerinde intensite değeri en yüksek mineral olarak kuvars tespit edilmiştir. ÇATES küllerinin XRD toz difraktogramları, uçucu ve taban külünün benzer mineralojik bileşime sahip olduğunu göstermiştir. Silisyum içeriği, termik santraller içinde Soma (B5-6), Yeniköy ve Çatalağzı Termik Santrali beslenen kömürlerinde aynı sonuç ve en yüksek içerikte tespit edilmiştir. En yüksek Al içeriğine %13 ile ÇATES'in sahip olduğu bulunmuştur. Ana elementler (Si, Al, potasyum ve Ti), kömürlerin kül içeriği ile önemli pozitif korelasyonlar göstermiştir.

Banerjee et al. (2000) tarafından yapılan çalışmada termik santral sahasında stoklanan kömür kalitesindeki bozunma, karbon ve hidrojen içeriği, kalorifik değeri, hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ve reaktivitesi ölçülerek değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar kömürde bozunmanın güneşli ve aralıklarla yağan yağmurlu günlerde daha çok olduğunu göstermiştir. Çalışmada kömür yığnında ağırlık, oksijen, karbon ve hidrojen içerikleri ile ısı değeri ve kekleşme kapasitesi gibi meydana gelen temel değişimler incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre kömür yığınlarının atmosfer şartlarına maruz kaldığında kömürde meydana gelen bozunma etkisini azaltmak için kömür stoğunun düzenli olarak ıslatılması ve tüm yığının suya doymun halde kalmasının sağlanması gerektiği öngörülmektedir. Ayrıca en uygun yöntemin uzun süreli kömür stoğu yapmamak olduğu belirtilmektedir. Özellikle yazın yağmurlu havalarda kömürde oluşan maksimum bozunmaya yüksek sıcaklığın ve ıslanmadan kaynaklanan ısıнын neden olduğu belirlenmiştir.

Vuthaluru et al. (2003) kömürdeki nem oranının HGI üzerine etkisini incelemiştir. Bünye neminin HGI üzerinde etkisinin büyük olduğu ancak yüzey neminin aynı etkiyi göstermediği belirtilmiştir. Baki (residual) nem arttıkça, HGI değeri de arttığı gözlenmiştir. Kaba kısımdaki (coarse fraction) nem ile HGI arasında zayıf bir korelasyon olduğu öngörülmüştür.

Su (2003) tarafından yapılan bir çalışmada kömürün dayanım özellikleri ve öğütülebilirliği ile ilgili geniş bir literatür araştırması yapılmıştır. Zonguldak havzasındaki TTK'ya bağlı müesseselerden alınan kömür numunelerin dayanım özellikleri, öğütülebilirliği ve kimyasal analizleri arasındaki bağlantılar araştırılmıştır. Havzadaki müesseselerde üretim yapılmakta olan damarlardan oluk ve blok numuneler alınmıştır ve hazırlanan kübik ve prizmatik numuneler ile tek eksenli basınç dayanımı, konik delici değeri ve Shore sertlik indeksi deneyleri yapılmıştır. Oluk numunelere de darbe dayanım indeksi ile HGI deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucuna göre dayanım özellikleri arasında doğrusal ilişki, HGI değerleri ile dayanım özellikleri arasında da azalan yönde doğrusal ilişki bulunduğu görülmüştür. Başka bir ifade ile HGI'yi yüksek olan kömürlerin dayanımlarının düşük olduğu, dolayısı ile öğütülebilirliğinin kolay olduğu görülmüştür. Bazı araştırmacılar (Vecci and Moore 1978, Su'dan 2003) gerçekçi bir öğütülebilirlik elde etmek için uygun bir kurutma derecesi tahmin edilmesi gerektiğini önermişlerdir. Bir diğer araştırmacı da (Meintjes 1965, Su'dan 2003) hem HGI, hem de numunenin nem içeriği üzerinde yapılan deneyler anında havanın nispi rutubetinin de etkileri üzerinde çalışmıştır. Bu çalışmada bazı kömürlerin nispi rutubetinin diğerlerine göre daha çok etkilendiği bulunmuştur. Kömürün öğütülebilirliği ile sadece uçucu madde arasında bir ilişki kurulmuş, kül ve sabit karbon arasında ilişki kurulamamıştır. Kömürün öğütülebilirliği ile uçucu madde arasında ilişki katsayısı 0,95 olan doğrusal bir ilişki ile ifade edilmiştir. Uçucu madde değeri arttıkça HGI'in düştüğü belirlenmiştir. HGI ile elementer analizlerden karbon ve hidrojen ile parabolik ilişki kurulmuş, azot, kükürt ve oksijen ile kurulamamıştır.

Esenlik (2005) tarafından yapılan çalışmada Orhaneli Termik Santralinde yanan kömürlerden, uçucu küllerden ve taban küllerinden 8 hafta boyunca toplam 51 adet örnek alınmış ve kömürlerin mineralojisi, petrografisi ve element içeriği değerlendirilmiştir. Santralde yanan kömürlerden alınan örneklerin laboratuara geldiği durumda sırasıyla yüksek nem içeriğine (ortalama %25,97), havada kuru bazda çok yüksek kül içeriğine (ortalama %52,71), nispeten yüksek kükürt içeriğine (ortalama %2,14) ve düşük üst ısı değere (ortalama 1775 kcal/kg) sahip olduğu saptanmıştır. Santralden alınan uçucu ve taban külü örneklerinin toplam kül içerikleri, beklenildiği gibi, yüksek olarak elde edilmiştir. Santralden alınan uçucu ve taban küllerinin kül içerikleri sırasıyla %99,71 ve %92,46 olarak belirlenmiştir. Taban küllerinin, uçucu küllere göre nispeten düşük kül içermesinin, taban küllerinde yanmamış/kısmen yanmış kömür kırıntılarının çok daha fazla miktarda bulunmasından kaynaklandığı anlaşılmıştır. Çalışmada ayrıca Orhaneli Termik Santralinden alınan uçucu kül ve taban küllerinin tane

boyut analizleri gerçekleştirilmiştir. Taban küllerinin uçucu küllere göre daha büyük taneli olduğu ve taban küllerinin tane boyunun daha geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği saptanmıştır. Termik santral uçucu küllerinin tane boyutlarının iki gruba ayrıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca petrografik çalışmalar yanan kömür örneklerinde iki farklı tipte (Orhaneli ve Tunçbilek) kömür olduğunu göstermiştir.

2.2 KARIŞIM KÖMÜRLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Qui (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı kömürlerin ve kömür karışımlarının kül ergime karakteristikleri ve mineral davranışları incelenmiştir. Külün kimyasal kompozisyonu ölçülmüş ve analiz edilmiştir. Numuneler azalan atmosferlerde 800°C'den başlayarak 100°C aralıklarla aşama aşama ilk deformasyon sıcaklığına ısıtılmıştır. Her sıcaklık aralığındaki mineral kompozisyonu ve çeşidi X ışını difraksiyon (XRD) analizi ile belirlenmiştir. Sonuçlar, karışım küllerinin yumuşama sıcaklıklarının karışım oranlarıyla doğrusal olarak değişmediğini göstermiştir.

Rubiera et al. (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışmada yüksek uçuculu bitümlü kömür, üç farklı tip değirmende öğütülmüştür. Pulverize numuneler, dört partikül boyutu fraksiyonuna elenmiş ve bunların yanma davranışının değerlendirilmesi için bu kömürlere sıcaklık programlı yanma uygulanmıştır. Farklı sertlik ve sınıflardaki üç kömür numunesi birbiriyle çeşitli oranlarda karıştırılmış; bunların tek tek ve karışım hallerindeki yanma karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Kömür karışımlarının öğütülebilirlik üzerine etkisi de araştırılmıştır. Özellikle çok farklı HGI'lere sahip kömürler karıştırıldığında, öğütülebilirliğin toplanabilir bir özellik olmadığı bulunmuştur. Bunun temel nedeni olarak da kömürün öğütülebilirliğinin, sertlik, dayanıklılık, yapı gibi birçok özelliklerle bağlantılı olan karmaşık bir yapıya sahip bir özellik olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Bu çalışmada karşılaşılan en büyük güçlük, farklı sınıf ve HGI'lere sahip kömürlerin boyut dağılımlarının yanma davranışları üzerine etkisini çalışmak olmuştur. Başlangıç maddeleri olarak yüksek uçuculu bitümlü kömürden antrasite kadar farklı sınıflarda dört kömür seçilmiş, diferansiyel termogravimetrik sistem kullanılarak bu kömürlerin ve karışımlarının yanma davranışları değerlendirilmiştir. Numuneler hazırlandıktan sonra farklı boyutlarda öğütülmüş ve sıcaklık programlı yakma testlerine geçilmiştir. Yapılan testler sonucunda ince öğütülmüş taneciklerin daha düşük sıcaklıkta ve daha kısa sürede yandığı gözlenmiştir. Ayrıca nem kaybından sonraki basamak olan oksijenin kimyasal absorpsiyonunun, tanecik boyutu küçüldükçe arttığı gözlenmiştir.

Bunun temel nedeni olarak da partiküllerin boyutunun azalması ile dış yüzey alanındaki artış gösterilmiştir. Ayrıca farklı sertlik ve sınıflardaki kömürlerin tek tek ve birbirleriyle karıştırılmış halde HGI ve yanma davranışları karşılaştırılmıştır. Bunun için HGI değeri düşük olan sert kömürler ve HGI değeri yüksek olan yumuşak kömürler kullanılmıştır. Yumuşak kömürün sert kömürle karıştırılmasında HGI toplanabilir olmayan bir özellik olarak elde edilmiştir. Sert kömürler birbirleriyle karıştırıldığında ise ana kömürler ile karışım kömürünün HGI değerleri arasında doğrusal bir bağlantı olduğu gözlenmiştir. Ancak çalışmada temel olarak hiçbir karışım kömürün HGI değerinin, ana kömürlerin HGI değerlerine ve ağırlıklarına bakılarak tahmin edilemeyeceği tezi savunulmuştur.

Ural (1999) tarafından yapılan çalışmada Afşin-Elbistan (A) Termik Santrali ve Maden İşletmesinde, maden ve santral yetkilileri tarafından sağlanan veriler ve tesiste yapılan deney sonuçları değerlendirilerek kömürün neden olduğu sorunlar araştırılmıştır. Satılabilir kömürün kalitesini belirleyen en önemli iki sınırlayıcı parametrenin kömürlerin dayanım özellikleri ve ısı değeri ile kül oranı olduğu bilgisine dayanarak linyit dayanımlarını belirleyebilmek için düzeltilmiş darbe dayanım deneyi adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir. Sonuç olarak satılabilir linyitlerin kalitesine ilişkin iki yeni parametre önerilmiştir. Linyitin orijinal ısı değerinin kuru bazdaki kül oranına bölünmesiyle elde edilen kalori/kül oranı, kömürün ısı değeri ile kazandan atılacak kül miktarını birlikte kontrol etmektedir. Düzeltilmiş darbe dayanım değeri ise değirmenlerden çıkarak kazana gönderilen linyitlerin parça boyut dağılımını kontrol etmek amacıyla düşünülmüştür. Buna göre satılabilir linyitlerin orijinal bazdaki kalori/kül oranının en az 50 olması ve on dört günlük üretimin standart sapmasının %2'yi geçmemesi gerektiği bulunmuştur. Ayrıca alt ve üst damarlardaki blokların büyük bir kısmının tek başlarına satılabilir linyit özelliği göstermediği, birlikte harmanlanmaları gerektiği anlaşılmıştır.

Perçinel (2000) tarafından yapılan çalışmada ÇATES kömür kullanımından doğan çevre etkileri üzerine bir araştırma yapılmıştır. Çalışmanın içeriğinde genel olarak sanayi ve çevre ilişkisi, kömürle çalışan termik santrallerin çevre etkileri, ÇATES'in çevre açısından etkili olduğu birimler, kül atık alanları hakkında bilgiler verilmiştir. Çalışmanın uygulama kısmında ise denizden 14 ayrı noktadan örnek alınmıştır. Ayrıca bacanın uçucu küllerinden de örnekler alınıp, örnekler Erdemir laboratuvarında analizler yapıp değerlendirmeye gidilmiştir. Yapılan bu çalışmanın sonuçlarına göre ÇATES'te kömür kullanımından doğan en önemli çevre probleminin; santral bacasından atmosfere verilen baca tozu ve gazı (SO_2 / NO_x) emisyonu ile

günde yakılan ortalama 5000 ton kömürden santralde oluşan yaklaşık 2500 ton uçucu kül ve curufun denize verilmesi sonucunda meydana gelen deniz kirliliğinin olduğu ifade edilmiştir. Yapılan araştırmada kömür özelliklerinin sürekli kontrolü ve uygun üretim ve tüketim metotlarının uygulanmasıyla çevreye verdiği zararın en aza indirilebileceği, çevre etkilerinin de çevrenin yeniden düzenlenmesi ile en alt düzeye düşürülebileceği belirtilmiştir.

Haas et al. (2001) tarafından gerçekleştirilen çalışmada pulverize kömürlerin karıştırılmasının, yanma karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Bunun için beş farklı taşkömürü ve bir linyit kömürünün karışımlarından oluşturulan on beş farklı karışım kömür numunelerinin yanma karakteristikleri izotermal sürekli akış reaktörü kullanılarak test edilmiştir. Çalışmada birbirinden farklı kömür çeşitlerinin yanma davranışına bakarak, bu kömürlerden elde edilen karışım kömürlerinin yanma eğiliminin tahmin edilip edilemeyeceğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Taşkömürlerinin birbirleriyle karıştırılmasında elde edilen karışım kömürünün kül, uçucu madde ve ısı değerlerinin, taşkömürlerinden her birinin aynı özelliklerinin hesaplanmasıyla bulunabileceğine karar verilmiştir. Ancak taşkömürleriyle linyit karışımında ise, uçucu maddenin açığa çıktığı düşünülerek, karışımı oluşturan (ana) kömürlerin özelliklerinden bağımsız özellikler gösterdiği anlaşılmıştır. Bunun temel nedeni olarak kömürlerdeki uçucu maddelerin karışımı oluşturan diğer kömürler ile reaksiyona girmesi gösterilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre, linyit içeren karışımlarda, yüksek uçucu madde içeriği ve uçucuların açığa çıkma hızı ana kömürlerden bağımsızdır. Bütün karışımlarda (taşkömürü ve linyit içeren), görünür yoğunluğun (gözenekler dahil) ana kömürden bağımsız olduğu gözlenmiştir. Kül, uçucu madde, uçucu azot yayılımı, gerçek yoğunluk (gözenekler hariç), alt ısı değer ise ana kömürlere bakılarak hesaplanabilmektedir. Konu itibari ile benzer diğer çalışmalarda (Vuthaluru et al. 2003) karışım kömürlerindeki bağımsız özelliklerin başka bir ifade ile toplanabilir (additive) özelliklerin, ana kömürlerdeki inorganik (mineral) fazdan kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlara göre ana kömürlerdeki organik fazla ilgili karakteristiklerden yola çıkılarak, karışım kömürlerinin toplanabilir özellikleri hesaplanabilmektedir. Örneğin yapılan başka bir çalışmada (Riley et al. 1989, Haas'tan 2001) karışım kömürün elementer C, H, N, O, S içeriklerinin, nem ve alt ısı değerlerinin ana kömürlere bakılarak tahmin edilebileceğini göstermiştir. Aynı çalışmada, karışımın HGI değerinin, ana kömürlerin HGI değerlerinden bağımsız olduğu açıklanmıştır. Bir diğer çalışmada ise (Baxter and Dora 1992, Haas'tan 2001) doğu ve batı ABD kömürlerinde curuflaşma davranışları incelenmiş ve bu kömürlerden (ana kömürler) oluşan karışım kömürünün yanmasıyla açığa çıkan curuf birikintisi yapışkanlığının, ana kömürlerin

özelliklerine bakılarak hesaplanamayacağı gösterilmiştir. Bunun temel nedeni olarak; alt katman kömürlerindeki alkali mineraller ile üst katman kömürlerindeki kükürtün bir araya gelmesi sonucu artan oranda sülfatların oluşması olduğu belirtilmiştir.

Su et al. (2001a) karışım kömürlerin curuflaşma eğilimlerini deneyler yaparak araştırmıştır. Çalışmada curuflaşma, kazan kızdırıcı borularda ve kazan duvarlarındaki erimiş birikintiyi ifade etmektedir. Elde edilen sonuçlara göre curuflaşma üç ana probleme yol açmaktadır. İlk problem olarak curufun duvarlarda birikmesi, kurum üflemeyle uzaklaştırılamaması ve ısı kaybına yol açması olarak tanımlanmıştır. İkinci problem olarak curufun kazandaki korozyonu arttırdığı belirtilmektedir. Curufun kazandan aşağı düşmesi ve bu sırada borulara zarar verebilmesi ihtimali de ortaya çıkabilecek diğer bir sorun olarak gösterilmiştir. Kullanılan kömürler veya karışımlarında kuvvetli bir curuflaşma tespit edilmemiştir. Ayrıca karışım kömürlerinin karışımı oluşturan ana kömürlerden daha kötü curuflaşma davranışına sahip olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada kömürlerin curuflaşma eğilimlerini sıralamak için curufun birikme hızının belirlenmesinin güvenilir bir yöntem olmadığı sonucuna varılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre curuflaşma eğilimlerini sıralamakta en iyi yöntemin minimum ısı akısı oranı ile toplam ısı akısı olduğu belirtilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan kömürler ve karışımlar için Fe_2O_3/CaO molar oranı ile curuflaşma arasında bir korelasyon elde edilmiş ve bu oranın 1'e yaklaştığı durumlarda curuflaşmanın arttığı ifade edilmiştir.

Su et. al (2001b) tarafından yapılan diğer bir çalışmada ise karışım kömürlerinin performansları konusunda deneysel ve örnekleme (indisler) olmak üzere iki genel yöntem uygulanmıştır. Laboratuvar testleri, karışım kömürlerinin yanma performansları üzerine göreceli bir sıralama yapılmasını sağlamıştır. Çalışmada karışım kömürlerinin yanma davranışı, ateşleme ve alev stabilitesi ile curufta yanmamış karbon konularında değerlendirilmiştir. Laboratuvar ve pilot tesislerden elde edilen sonuçlar, gerçek kazan performanslarına uyarlanmıştır. Açığa çıkan ısı yükseldiğinde kazan sıcaklığının ve yanmamış karbon miktarının arttığı; ancak sıcaklık arttıkça kazanda kalma süresinin azaldığı gözlenmiştir. Yapılan çalışmada yüksek uçuculu kömürlerin, düşük uçuculu kömürlerle karıştırıldığında yanmamış karbon oranını artırmadığı anlaşılmıştır. Yüksek uçuculu-düşük HGI'li kömürler ve düşük uçuculu-yüksek HGI'li karışım kömürün yanmamış karbon miktarlarının, tek başına düşük uçuculu kömürlerin değerlerine benzediği; çünkü yüksek HGI'ne sahip kömürlerin tercih edilen boyuta indirgenmesinin, kömür karışımlarının değirmenlerde öğütülmesi sırasında gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu nedenle karışımın yanmamış karbon değerinin,

karışımı oluşturan kömür özelliklerinin ortalamasına uymayabileceği üzerinde durulmuştur. Karışımı oluşturan ana kömürlerin yanmamış karbon değerleri ile karışım kömürünün yanmamış karbon değeri arasında doğru bir orantı olduğu anlaşılmıştır. Sonuçta, yüksek ve düşük uçuculu kömür karışımlarında yüksek uçuculu kömür miktarını artırmak, yanmamış karbon miktarında iyileşme sağlamıştır. Ölçülen değerlerin, hesaplanan değerlerden düşük ya da yüksek olabileceği belirtilmiştir.

Liu et al. (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Çin’de kömürlerin yüksek kükürt ve küllü katı kalıntıları; eş zamanlı olarak yıkanmış, temiz ve yüksek yanma verimine sahip kömürle karıştırılmış ve bunların mineral kompozisyonları ile yakıt olarak kullanılabilirliği incelenmiştir. Yakma testinde tek bir yakma kazanı kullanılmıştır ve katı kalıntılar XRD metoduyla analiz edilmiştir. Sıcaklık, kazanda kalma süresi ve karışıma eklenenlerin, kalıntıların mineral karakteristiğine etkileri tartışılmıştır. Kömür, katkı maddeleriyle karıştırıldığında minerallerin reaksiyona girme olasılığı, mineral kompozisyonu ve yanma özellikleri araştırılmış; katı kalıntılar değerlendirilirken yanmanın ve kazan yükünün değişmemesi gözetilmiştir. Kömür ve atığı ağırlıkça bire bir oranında karıştırılmış ve kül, kalori gibi ön analizler yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre küldeki kalsiyum oksit miktarı düşük çıkmıştır. Gerçekleştirilen çalışmada kalsiyum miktarını artırmak için katkı maddesi olarak, yakma sıcaklığını olumsuz etkileyen kireç taşı yerine, endüstriyel olarak kalsine edilmiş kireç eklenmiştir. Sonuçlar, 1000°C sıcaklığın altındaki kalıntılarda ana bileşenlerin serbest oksitler ve az miktarda gehlenit ile dikalsiyum silikat iken; 1100°C sıcaklığın üzerinde ise kalıntılardaki ana minerallerin gehlenit ve dikalsiyum silikat olduğunu göstermiştir. Kalsiyum oksit içeriği çok artırılırsa, serbest kalsiyum oksidin çok artacağı ve bunun da yanma stabilitesini olumsuz yönde etkileyeceği belirtilmiştir.

Su et al. (2003) tarafından gerçekleştirilen başka bir çalışmada kömür karışımının bozunma eğilimleri araştırılmıştır. Bozunmanın tanım olarak curuflaşmadan farkı kül partikülleriyle beraber silikat ve sülfatların da katılaşmasıdır. Kömürlerin ve karışım kömürlerinin bozulma eğilimlerini belirlemede curufun birikme hızı, ısı transfer karakteristikleri, gözlem ve kurum üfleme simülasyonu yöntemleri kullanılabilmeyle birlikte bu çalışmada parametre olarak test süresi boyunca çekilen curuf fotoğrafları temel alınarak hesaplanan büyüme hızı kullanılmıştır. Bozunma katsayısı ve birikme hızının, kömürlerin bozulma eğilimini sıralamakta yeterli olmadığına karar verilmiştir. Minerolojik incelemede, depozitlerde silis partikülleri, fosforca zengin faz ve sodyumca zengin silikatlar bulunmuştur.

Tekir (2004) tarafından yapılan çalışmada, termik santrallerde verimi etkileyen faktörlerin tespitine yönelik literatür çalışması yapılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında ise; Soma-B termik santralinin 5. ünitesinin 165 MWh elektrik enerjisi üretebilmesi için kazana verilmesi gereken toplam ısı miktarları tespit edilmiş ve 5. ünitenin verim değerleri hesaplanmıştır. Soma-B Termik Santralinde, santral işletim parametrelerine ve kömür özelliğine bağlı enerji kayıplarının tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak, kazanaltı curuf teknesinden ve elektrofiltre çıkışlarından alınan numunelere yanmamış karbon, nem, kül ve kalori analizi yapılarak etkin kullanılamayan enerjinin tespiti yapılmıştır. Son olarak da, baca gazı kayıplarının tespitine yönelik çalışmalar kapsamında; kömür özelliğinin ve hava fazlalık katsayısının enerji kayıpları üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, santralin veriminin sürekli değişmekte olduğu ve %35,8 ile %32,9 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Verimdeki bu değişimin kömürün homojen beslenmemesinden kaynaklandığı anlaşılmıştır. Santrale homojen özelliğe sahip kömürlerin beslenebilmesi için kömür yatağındaki kömürün; kalite parametrelerinin tespiti ile başlayan, santral kazanlarına beslenmesine kadar olan süreci kapsayan bir planlamanın yapılması gerektiği belirtilmiştir. Böyle bir planlama ile santrale verilen kömürün kalorisi kontrol altında tutularak kömürün, santral tasarım değerine uygunluğunun sağlanacağı ve Soma-B Termik Santralinde tespit edilen maksimum verim olan %35,8'e yaklaşmanın mümkün olacağı öngörülmüştür.

Zhong et al. (2005) tarafından yapılan çalışmada termik santrale sevk edilen karışım kömürlerinin bunkerlerden ve diğer işletme tesislerinde taşınırken herhangi bir tıkanıklığa sebebiyet vermemesi gerektiği vurgulanmıştır. Tıkanıklıkların, kömürün karakteristiğine ve işletme tesislerinin geometrisi ile yüzey karakteristiğine bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle karışım kömürlerinin, işletme tesislerine göre tasarlanması gerektiği ifade edilmiştir. Tıkanıklıkların, kömürün kohezyon (yapışkanlık) özelliğine bağlı olduğu ve kömürün işletilebilmesinin de, en iyi koheziv dayanıklılığının ölçülmesiyle anlaşılabileceği vurgulanmıştır. Kohesiv dayanıklılığa, sınırlanmamış ürün dayanıklılığına (unconfined yield strength) bakılarak karar verilmiştir. Sınırlanmamış ürün dayanıklılığı, bunkerlerin geometrisiyle doğrudan ilişkilendirilmiştir. Karışım kömürünün işletilme zorluğunun, bu sınırlanmamış ürün dayanıklılığının, nem içeriği ile doğru orantılı olarak değişmemesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır. Sınırlanmamış ürün dayanıklılığı ile nem içeriği arasındaki ilişki, çan eğrisi şeklinde bir grafikte açıklanmıştır. Sınırlanmamış ürün dayanıklılığının maksimum olduğu değerdeki nem içeriği, kritik nem içeriği adını almıştır. Bu ilişkinin, nem içeriğine ve kil içeriğine bağlı olarak kömürden kömüre değiştiği; kömürün konsolidasyon stresine

(birleştirme gerilimi) de bağılı olduğu bulunmuştur. Buna kısaca Stres-Nem-Kohezyon fonksiyonu denmiştir. Bu fonksiyon, kuru kömürün aşamalı olarak nemlendirilmesiyle elde edilmiştir. Karışımın nem içeriğinin, sınırlanmamış kuvvet üzerinde esas etkiye sahip olduğu belirtilmiştir. Nihai kömür karışımını oluşturan bileşenlerin her birinin farklı nem içeriklerine ve dolayısıyla farklı sınırlanmamış ürün dayanıklılıklarına sahip olduğu vurgulanmıştır. Benzer işletilebilirlikte ve kritik nem değerinin iki farklı tarafında nem içeriğine sahip iki kömür karıştırıldığında; karışımın nem içeriği ile doğrusal olarak değişmediği gözlenmiştir. Buna karşılık karışımın uçucu madde, kül, kükürt vs.. değerleri, karıştırılan kömürlerin miktarlarıyla orantılı olarak değişmiştir. Kömür karışımlarında, doğal kömür damarlarındaki ve hava şartlarındaki değişkenlik, kömüre katılan safsızlıklar gibi pek çok etkenle her gün yeni karıştırma verilerine dayalı bir kömür karıştırma sistemi oluşturulması gerektiği önerilmiştir. Daha işletilebilir kömür karışımı elde edebilmek için geleneksel olarak, yapışkanlığı nispeten daha yüksek olan kömürün, çok miktarda yıkanmış kömürle (nemli) karıştırılması gerektiği belirtilmiştir.

Kazagic and Smajevic (2006) farklı kömür ve atık numunelerinin, elektrikle ısıtılan pulverize akışlı deney kazanında yakılması sonucu ortaya çıkan kül davranışlarını incelemiştir. Metodoloji, deney kazanında yanma sonucu oluşan kül birikintilerinin değerlendirilmesine dayandırılmıştır. Test noktaları farklı tiplerdeki kül birikintilerine karşılık gelen uygun yakıt indikatörlerine karşı oluşturulmuş ve grafikler çizilmiştir. NO_x ve SO_2 emisyonları da farklı şartlarda (sıcaklık ve hava dağılımı) ölçülmüş ve incelenen yakıtların emisyon figürlerini oluşturmak için kullanılmıştır. İki farklı kömür, iki karışım kömürü ve iki tane de kömür-atık karışımı için yanma sonuçları bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, kömür ve atığın yanması için uygun şartların belirlenebileceğini tezini desteklemiştir. Sıcaklık $1100^{\circ}C$ ve altındayken, çok az kül birikintisi oluşmuştur; $1300^{\circ}C$ 'ye yükseldiğinde makul miktarda yumuşak kül birikintisi gözlenmiştir. Sıcaklık $1300^{\circ}C$ 'yi geçtiğinde ise yoğun ve giderilmesi güç bir kül birikintisi meydana gelmiştir. $1250^{\circ}C$ 'ye kadar kömür-atık karışımlarının kül karakteristiği ile karışım kömürlerinin külleri arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Sıcaklıklar azaldığında, NO_x ve SO_2 emisyonlarında belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Kömür-atık karışımı ve tek başına kömür karşılaştırıldığında, kömür-atık karışımı yandığında %15 daha az SO_2 emisyonu olduğu gözlenmiştir.

BÖLÜM 3

ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALİ, KÖMÜR SİSTEMİ VE YANMA

Bu bölümde Çatalağzı Termik Santralinin tarihçesi ve elektrik üretimiyle ilgili genel bilgi verilmiş, santrale gönderilen kömürlerin genel özellikleri ve kömür yakma sisteminden bahsedilmiştir.

3.1 ÇATALAĞZI TERMİK SANTRALİ

Çatalağzı Termik Santrali, Zonguldak ili, merkez ilçeye bağlı Çatalağzı Beldesi Işıkveren Mevkii'nde kurulmuştur. Kurtuluş Savaşı'nın sona ermesinin ardından ülkemizde başlayan sanayi hamleleri sonucunda doğan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla 1938 yılında Çatalağzı Termik Santralinin kurulumuna karar verilmiştir. Çatalağzı Termik Santrali-A, 27 Kasım 1948 tarihinde 3 grup ve toplam 64 500 kilowatt kapasiteyle işletmeye açılmıştır. Duyulan enerji ihtiyacı üzerine 21 500 kilowatt 3 grup daha eklenerek toplam kapasite 129 megawata çıkarılmıştır. Çatalağzı Termik Santrali-A, 1991 yılında ekonomik ömrünü tamamladığı gerekçesiyle servis dışı bırakılmıştır. Çatalağzı Termik Santrali-B 1. Ünite, 1989 yılında ve 2. Ünite, 1991 yılında kurulmuş olup her ikisi de 150 megawatt gücündeki 2 adet üniteyle toplam 300 megawatt saat elektrik enerjisi üretmektedir. Çatalağzı Termik Santrali-B kurulduğu günden 2007 yılı sonuna kadar yaktığı 25.943.214 ton kömüre karşılık toplam 29.567.162 megawatt saat elektrik enerjisi üretmiştir.

Termik santrallerin elektrik enerjisi üretebilmesi için bir kimyasal enerji kaynağı gereklidir. Çatalağzı Termik Santrali, TTK'nın taşkömürü atığı olan, ticari değeri olmayan, kalorisi düşük kömürleri ana yakıt olarak kullanmaktadır. Kömür, Çatalağzı lavuarından demiryolu ve bantlar, Üzülmaz ve Kozlu lavuarlarından demiryolu ve Rödevans sahalarından kamyonlarla stok sahasına aktarılmaktadır. Stok sahası 38 270 m² alan üzerine kurulmuştur ve toplam kapasitesi 170 000 tondur. Park makineleri ile stok sahasından alınan kömür, taşıyıcı bantlarla santral içindeki değirmen bunkerlerine aktarılır. Her bir üniteye kapasitesi 192 ton olan

bunkerlerden 6 adet bulunur. Bunkerlerden besleyiciler ve taşıyıcı bantlarla değirmen gaz kanalına aktarılan kömür, burada nemi alındıktan sonra dakikada 590 devir hızla dönen ve saatte 30 ton kömür öğütme kapasitesine sahip değirmenlere ulaşır. Değirmenlerde öğütülerek pulverize hale getirilen kömür ve taze hava fanlarıyla atmosferden çekilip luvo denilen ısıtıcılardan geçirilen hava, yanmanın gerçekleşmesi için kazana gönderilir. Yanma için gerekli olan ilk ateşleme ise kazanda bulunan 8 adet yakıcı tarafından sağlanır. Verimi %85 olan kazanlarda, yanma sonucu elde edilen ısıyla kazan çeperlerinde bulunan boru demetleri içerisinden geçirilen saf su, buhara dönüştürülür. Elde edilen kızgın buhar, buhar sevk boruları üzerinden türbine ulaşır ve türbin kanatlarına çarparak türbin milinin dönmesini sağlar ve bu sayede ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşmüş olur. Türbin miline akuple edilmiş generatör rotoru türbinle aynı hızda döner. Türbin hızı 3000 devir/dakikaya ulaştığında, generatör rotoruna ikaz verilir ve generatör çıkışından elektrik enerjisi elde edilir. Böylece santralin nihai amacı olan elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmiş olur.

3.2 PULVERİZE KÖMÜR SİSTEMİ

Kazanda yanan yakıtın çoğunluğu toz halinde püskürtülmüş TTK lavuar atığı mikst ve şlam kömürüdür. Kömürün toz halinde püskürtülmesi, kömürün tamamen yanmasını temin eden bir faktördür. Sanayide başka türlü kullanılamayan TTK lavuar atığı kömürünü elektrik enerjisi olarak ekonomiye kazandırmak amacıyla mikst ve şlam uygun görülmüştür. Kazan tasarımında mikst ve şlamın (filtrasyon) kalori değeri yaklaşık 3300 kcal/kg alınmıştır. Santralde yakılan taşkömürü yaklaşık %50 kül, %12-16 rutubet, %0.3 kükürt içermektedir.

Değirmen sıcak gaz kanalı girişine verilen kömür, yaklaşık 1000⁰C kazan sıcak gazı, 340⁰C sıcak hava ve 150⁰C’de soğuk gaz ile karışarak değirmene verilir. Burada sıcak gaza verilen sıcak hava ile soğuk gaz karışarak değirmen çıkış sıcaklığının 180⁰C’de tutulmasını sağlar. Değirmene gelen kömür, fanın çarpma ve savurma gücü ile değirmen çıkış kanalına doğru üfleme işlemi yapar. Nemi alınmış, öğütülmüş kömürün irileri değirmen çıkış kanalından geri dönüş kanalı ile değirmen fanına tekrar öğütülmek üzere geri dönerken, yoluna devam eden öğütülmüş parçacıklar kömür brülörlerine gider. Kömür brülörlerine gelen kömür havayla birleşerek kazanda yanar.

Santrale TTK tarafından gönderilen lavuarlanmış kömürler şunlardır: Kozlu, Üzülmöz, Armutçuk, Çatalağzı. Bu kömürlerin sözleşmeye esas değerleri ise; kuru bazda kül ve orijinal

bazda toplam nem yüzdeleri sırasıyla %47 ve %12-16, alt ısı değeri (AID) 3300 ± 100 kcal/kg olarak yer almıştır.

Rödevans olarak tabir edilen kömürler ise santrale TTK tarafından kiralanmış sahalardan gönderilen lavuarlanmamış kömürlerdir. Söz konusu kömürlerin sözleşme değerleri; kuru bazda kül ve orijinal bazda nem yüzdeleri sırasıyla %35 ve % 7-9 ve AID 4400 ± 200 kcal/kg olarak belirtilmiştir.

Çatalağzı Termik Santralinde ana yakıt olarak kullanılan kömürlerin tasarım değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Çatalağzı Termik Santrali kömürlerinin tasarım değerleri.

Cinsi	Filtrasyon ürünü taşkömürü atığı
Rutubet	$\%16 \pm 4$
Kül	$\%47 \pm 3$
Kükürt	$\%0.3 - 0.4$
Alt Isıl Değeri	3000 ± 100 kcal/kg

3.3 YANMA VE CURUFLAŞMA

Yanma olayının gerçekleşebilmesi için üç unsura ihtiyaç vardır. Fuel oil yakıcıları ve ateşleme düzenleri veya yanan bir kömür ateşi, ateşleme enerjisi olarak yanmanın meydana gelebilmesi için ilk ihtiyaçtır. İkinci ihtiyaç motorin veya fuel oil sisteminde sağlanan sıvı yakıt ile kömür öğütme sistemi tarafından sağlanan pulverize kömürdür. Üçüncü ihtiyaç ise yeterli miktarda sağlanması gereken oksijendir. Kazanın yanma odasında yanan mikst kömürünün yandıktan sonra geri kalan maddeleri (kül-curuf) kazanaltı teknesinde birikir. Santralde kömürün yanması sonucu oluşan kül ejektör vasıtasıyla kül havuzuna atılır. Havuzdan pompalar vasıtasıyla alınan sulandırılmış kül kanala aktarılır. Santralde külün ejektörler vasıtasıyla havuza aktarılmasında deniz suyu kullanılmaktadır.

Kömür stoklarında kendiliğinden yanma olması iyi bilinen bir olaydır. Oksidasyon (kömürün atmosferik oksijenle teması) ekzotermik bir olay olduğundan, kömür stoğunda sıcaklık kademeli olarak artar. Sıcaklık ne kadar artarsa, oksidasyon da o kadar hızlanır ve yanma gerçekleşir. Farklı sınıflardaki kömürlerin oksidasyonu farklı olur; bazıları daha çabuk okside olur. Yanma olsun veya olmasın, sıcaklık artışı ve oksidasyon, kömür özelliklerinde

bozulmaya sebep olur. Kömür beslemesi sürekli olduğunda, kömür yığını hava koşullarına bağlı olmadan durağan kalır. Kömür yığnında meydana gelen değişimler şunlardır: Ağırlığın artması, oksijen içeriğinin artması, karbon ve hidrojen içeriği ile ısı değeri düşmesi, kekleşme kapasitesinin azalması. Sıcaklık artışı ve oksidasyon, kömürün yapışkanlığını kaybetmesine ve ufalanmasına sebep olur. Bu etki, kömürün havayla temas süresine bağlı olarak şiddetlenir. Kömürün bozunduğı bilindiğı halde, bu bozunmanın miktarı sistematik olarak ortaya konmamıştır.

Curuflaşma, kazan kızdırıcı borularında ve duvarlardaki erimiş birikintiyi ifade etmektedir. Ancak kül partikülleriyle beraber silikat ve sülfatların katılaşması durumu söz konusu ise bu olay kömürün bozunması olarak ifade edilmekte ve curuflaşmaktan farklı değerlendirilmektedir. Curuflaşma santralde temelde üç ana problemin yaşanmasına neden olabilir. İlk olarak duvarlarda biriken curuf, kurum üflemeyle uzaklaştırılmaz ve ısı kaybına yol açar. İkinci olarak, kazandaki korozyonu artırır. Üçüncü problem olarak ise curufların kazandan aşağı düşmeleri sonucunda kazandaki boruların zarar görmesi sayılabilir.

BÖLÜM 4

KÖMÜR VE ANALİZLERİ

Kömür, yanabilen organik bir kayadır. Başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabakalarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Diğer içerikleri ise kül teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, değişik amaçlarda (kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi alanlarda) da kullanılırlar.

Kömürler genellikle görmüş oldukları zenginleştirme yöntemlerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır:

- a) Tüvenan Kömür: hiç bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmaksızın, ocaktan üretildiği şekilde piyasaya arz edilen kömürdür.
- b) Krible Kömür: eleme işleminden geçirilerek boyutlandırılmış kömürdür.
- c) Lave Kömür: Elenmiş ve yıkama işlemine tabi tutulmuş kömürdür.

Kömürlerin kimyasal özellikleri, üretildikleri ocaklara göre farklılaştığı gibi, uygulanan zenginleştirme işlemlerine göre de farklılık göstermektedir. Kömürlerde baz denildiğinde, kömürün içinde bulunduğu ortam koşullarına kendini uyarladığı durum anlaşılır. 1 atm basınç altında, 20°C sıcaklıkta, %80 bağıl nemlilikte olup doğrudan bir ısımanın olmadığı bir laboratuvar ortamı, kömürlerde baz tanımlanmasının oturtulabileceği bir ortamdır. Bu ortamda yapılan analizler doğru kabul edilirler. Kömür kütlesinin, havanın nemi nedeniyle kütlesi bu koşullardaki tüm laboratuvar ortamlarında aynı kalacaktır. Dolayısıyla yapılan analiz değerleri de bu durumda farklılıklar göstermeyecektir. Havada kuru baz, bir kömür örneğinin, belirtilen ortama konulduktan sonra, art arda yapılan üçten fazla tartımda kütlesinin değişmediği halidir. Bu ortamda kütlenin dengelendiği kömüre de “havada kuru kömür” adı verilir. Orijinal baz, kömür örneğinin laboratuara geldiği haliyle, ya da yeraltında ocakta, mostrada veya stok sahasındaki halidir. Kuru kömür bazı, kömürdeki kaba nem ve higroskopik nem içeriğinin sıfır olarak kabul edildiği, hipotetik bir bazdır. Kuru külsüz baz, kömürün toplam

nem ve kül içeriğinin sıfır kabul edildiği hipotetik bir bazdır. Gerçekte böyle bir kömür yoktur. Deneylerde elde edilen tüm değerler kömürlerde, deneyin yapıldığı bazdaki değerlerdir. Bu değerlerden yola çıkılarak diğer bazlardaki analiz değerleri hesaplanır. Herhangi bir analiz değeri verilirken, kömürlerde bazı belirtilir, aksi takdirde bazı belirsiz değerin hiçbir anlamı yoktur (URL-1 2007). Kömür analizlerinden çok çeşitli başlıklar altında bahsedilebilir. Yapılan çalışmanın kapsamı doğrultusunda burada kömürün kaba ve elementer kimyasal analizi, kömürde ısı değeri tayini ve hardgrove öğütülebilirlik indeksi hakkında bilgi verilmiştir.

4.1 KİMYASAL ANALİZLER

Kömürlerin özelliklerini saptamak için yapılan kimyasal analizler; kaba (proximate) ve elementer (ultimate) analizler olmak üzere ikiye ayrılır. Kaba analizler nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon tayinidir. Elementer analizler ise karbon, hidrojen, azot, kükürt ve oksijen analizleridir. Bu analiz yöntemlerinin yapılaş şekilleri aşağıda verilmektedir. Analizlerin yapılmasında ise standart yöntemler uygulanmaktadır.

4.1.1 Kaba Kimyasal Analizler

Kaba analizler nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon analizlerini içerir. Kömürlerdeki nem; kaba nem (havada kuruma nedeniyle kaybedilen yüzey nemi), havada kuruduktan sonra kalan nem, organik maddenin bozunma nemi ve minerallerin hidrasyon suyu olmak üzere dört şekilde bulunur. Kömürün içerdiği kaba nem; kömür ağırlığı sabit kalana kadar havayla temasta bırakılmak suretiyle saptanan ağırlık kaybından hesaplanır. Kaba nemi bu şekilde giderilmiş olan kömür "havada kuru" olarak adlandırılmaktadır. Kömürün toplam rutubet içeriği, ya tüvenan ya da havada kuru numune kullanılarak saptanır. Tüvenan kömürün toplam nem içeriğinin, önce kaba, sonra bünye nemlerinin saptanmasıyla, yani iki aşamada bulunması tercih edilir; çünkü öğütme ve diğer hazırlık işlemleri sırasında kömürün rutubet içeriğinde meydana gelecek değişiklik azalmaktadır. Kömürün nem içeriğini saptamak amacıyla geliştirilmiş olan yöntemler şu şekilde sınıflandırılabilir.

- a) Termal yöntemler: kömürü çeşitli şekillerde ve çeşitli gaz atmosferlerinde veya vakumda ısıtmak suretiyle içerdiği nem miktarını saptamaya yönelik yöntemlerdir.
- b) Desikatör yöntemi: kömür bir desikatörde bekletilerek ağırlık kaybı saptanır.

- c) Destilasyon yöntemleri: kömür, su ile karışmayan bir çözücü ile geri soğutucu altında ısıtılır. Kömürdeki nem, çözücü buharıyla sürüklenerek soğutucu takılmış bir kaptaki yoğunlaştırılır ve dereceli toplama kabında biriktirilerek hacimsel olarak ölçülür.
- d) Gravimetrik yöntem: en yaygın olarak uygulanan pratik yöntemde, havada kuru kömür numunesi 0,25 mm'nin altına öğütüldükten sonra, içinde kuru hava sirkülasyonu olan bir etüvde 105-110°C'de 60 dakika süreyle bekletilir ve uğradığı ağırlık kaybından yararlanılarak rutubet içeriği saptanır.

Kömür yakıldığı zaman içerdiği mineral maddelerdeki temel değişiklikler sonucu kül meydana gelmektedir. Kül, kömürün yanmasını zorlaştırması ve ısıl değerini düşürmesi nedeniyle istenmeyen bir malzemedir. Kül oranı yükseldikçe, kömürün yanması zorlaşmakta ve belirli bir kül oranından sonra tamamen durmaktadır. Çok küllü kömür, termik santrallerde düzgün olarak yakılamamakta ve çok küllü iri kömür parçalar yakıldığında, ortada yanmamış kısımlar kalmaktadır. Kül, kömür öğütme için gerekli enerjinin miktarını artırır, değirmenlerde, kazan ısıtma yüzeylerinde, kömür gaz kanallarında, bacada aşınmalara neden olur. Yanma sırasında, oksijen difüzyonunu ve tutuşmayı zorlaştırır, yanma hızını düşürür. Ayrıca kömür taşıma, hazırlama ve öğütme tesislerinde, kömür hazırlama birim enerji miktarı (kWh/ton kömür) tüketimi artarak iç ihtiyacın artmasına sebebiyet verir. Uçucu külde ve kazan altındaki tekenden alınan numuneler içerisindeki yanmamış karbon yüzdesinin yüksek çıkması kömürün istenilen boyuta öğünmemiş olduğunu veya yanma işleminin yeterli hava miktarıyla yapılmadığını gösterir.

Kömür oksijensiz bir ortamda ısıtıldığında kimyasal olarak değişikliğe uğrar ve kömürden, çoğunluğu hidrojen, karbon monoksit, metan ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı gazlardan oluşan katran buharları ve karbondioksit ile su buharı gibi yanmayan gazları da içeren uçucu madde çıkışı olur. Yüzey ve bünye nemleri uçucu maddeye dahil edilmez; ancak kömürün ayrışması sonucu oluşan su buharı, uçucu madde içinde yer alır. Farklı derecelerdeki kömürlerin uçucu maddelerinin bileşimleri ve miktarları da önemli değişiklikler gösterir; kömürün yaşı ilerledikçe içerdiği uçucu maddenin miktarı ve uçucu madde içerisindeki yanmayan gaz miktarı azalır.

Kömür oksijensiz bir ortamda ısıtıldığında, önce içerdiği nem uçar ve üzerinde bulunan adsorpsiyon gazları (N_2 , CO_2) çıkar. Bundan sonra kömür sıcaklığa bağlı olarak parçalanmaya başlar. Kömürün ısı parçalanması sırasında, kömür kimyasal yapısındaki yan zincirlerle, aromatik olmayan kimyasal grupların parçalanarak kömür yapısından ayrıldıkları kabul

edilmektedir. Bunun sonucunda da geride kalan kısmın karbon oranı artmaktadır. Nemsiz (kuru) kömürün sabit karbon içeriği:

$$\text{Sabit Karbon} = 100 - (K + UM) \quad (4.1)$$

eşitliği kullanılarak elde edilebilir. Burada K ve UM yüzde olarak kömürdeki kül içeriğini ve uçucu madde içeriğini ifade etmektedir.

4.1.2 Elementer Analizler

Kömürün elementer analizleri karbon, hidrojen, azot ve kükürdün direkt olarak saptanmasını içerir ki, oksijen de bu elementlerin yüzdeleri toplamının 100'den farkı ile bulunur. Genellikle analizlerin kuru kömür üzerinde dikkatlice yapılması tercih edilir, fakat kuru yapılmazsa, analizlerle aynı zamanda nem de belirlenmeli ve eşit miktarda hidrojen ile oksijen eksiltilmelidir (Şeyler 1908, Su'dan 2003).

Karbon ve hidrojen elementleri kömürdeki karmaşık hidrokarbon bileşiklerini oluştururlar. Bunun yanında kömür içindeki karbon, karbonat minerallerinden; hidrojen ise kil ve hidroksil minerallerindeki su ve havada kuru kömürdeki nemden açığa çıkabilir.

Karbon ve hidrojen, kömürde hem organik ve hem de anorganik yapıda bulunmaktadır. Kömürleşme prosesi ilerlerken karbon miktarı artar ve hidrojen/karbon oranı küçülür. Kömür yandığı zaman oluşan ısının hemen hemen tamamı karbon ve hidrojenin yanması sonucunda oluşmaktadır. Kömürün içerdiği karbon ve hidrojenin saptanması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemlerin tümü, belirli ağırlıktaki kömürün kapalı bir sistemde yakılmasıyla oluşan karbondioksit ile suyun adsorpsiyonuna dayanır. En çok uygulananları Liebig ve TS 652, TS 609 standartlarına göre uygulanan yüksek sıcaklıkta yakma metodudur (Meriçboyu 1998, Su'dan 2003).

Kömürdeki azot genellikle bitkisel ve/veya hayvansal proteinler ve azotça zengin bakterilerden kaynaklanmaktadır. Azot saptaması için üç yöntem uygulanır. Bunlar; Kjeldahl, Gluckauf ve Dumas Lambris yöntemleridir. Bunlardan ilk ikisi kömürün gazlaştırılmasıyla azotun amonyak haline geçmesi ve üçüncüsü ise azotun elementer halde bulunması esasına dayanır. Taşkömüründe genellikle azot dağılımı homojen olduğu için ve uygulanması kolay

olması bakımından TS 362'de verilen Kjeldahl yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır (Pişkin 1988, Su'dan 2003).

Kükürt kömürde organik ve anorganik kükürt olmak üzere iki şekilde bulunur. Kömürde hidrokarbon yapısına bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir. Anorganik kükürt kömürde sülfat, piritik ve elementer kükürt şekillerinde bulunmaktadır. Kömürün yanması sırasında, içerdiği kükürdün bir kısmı külde kalır; çevre kirliliğine neden olan yanar kükürt içeriğidir ve kömürün toplam kükürt içeriğinden küldeki kükürt çıkarılarak bulunur. Kömürün içerdiği kükürt TS 363, ISO 334 standartlarına göre uygulanan ESKA yöntemi ve TS 440, ISO 351 standartlarına göre uygulanan yüksek sıcaklıkta yakma metodu ile tayin edilir.

Elementer analizi yapılmış bir kömür numunesinin oksijen içeriği

$$O=100-(C+H+N+S) \quad (4.2)$$

eşitliği kullanılarak bulunur. Bu eşitlikte yer olan O, C, H, N ve S kömürün yüzde olarak oksijen, karbon, azot ve kükürt içeriklerini ifade etmektedir.

4.2 ISIL DEĞER

Kömür yandığı zaman ısının açığa çıkması, içerdiği karbon, hidrojen ve kükürt bileşiklerinin oksitlenmesi sonucudur. Bir kömürün ısı değeri, türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlıdır. Kömürün mineral miktarı arttıkça ısı değeri azalır. Kömürün ısı değeri jeolojik yaşına bağlı olarak da değişir. Genel olarak, genç kömürlerin ısı değerleri oksijen ve nem içeriğinin yüksek olması nedeniyle düşüktür. Üst ısı değeri (kalori değeri), birim miktarda kömür numunesinin tam yakılması sonucu açığa çıkan ısının kcal/kg olarak ifadesidir. Alt ısı değeri (kalori değeri), birim miktarda kömür numunesinin tam yakılması sonucu açığa çıkan üst ısı değerinden kömürün nemi ile kömürdeki hidrojenin yanması sonucu oluşan suyun yoğunlaşma ısıları toplamının çıkarılması ile hesaplanan ısının kcal/kg olarak ifadesidir.

4.3 HARDGROVE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK İNDEKSİ (HGI)

Kömürün öğütülebilme özelliği kömürün sertliğinin bir ölçüsüdür. Kömür ne kadar sertse, öğütülebilmesi de o kadar zordur. Bu özellik bilhassa kömürün toz (pulverize) yakıt olarak kullanılmak üzere öğütülmesi sırasında önem taşır. Öğütülebilirlik, hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ile belirlenir ki, standart bir besleme boyut aralığı ve miktarı ile öğütülebilirliği değerlendirmek için uygulanır. HGI değerleri kömürün öğütülebilirliği ile ters orantılı olarak değişir; yani yüksek HGI değerleri kolay, küçük değerler ise kömürün zor öğütülebilir olduğunu göstermektedir. Kömürün yıkanması, HGI'ni büyük miktarda etkilememektedir.

Elektrik santralindeki kazan tasarımcıları, 1930 yılında toz kömür yakma alanında, kömürün niteliklerini belirlemek amacıyla basit deneylere ihtiyaç duymuşlardır. Bu deneylerden bir tanesi toz kömür kapasitesinin belirlenmesi için geliştirilmiştir ki, kömürün öğütülmesi için uygun olan parça boyut aralığına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun için ilk önceleri parça kömür kullanmışlar ve uygun olmadığını görmüşlerdir. Daha sonra kapsamlı bir çalışma sonucu M. Ralph Hardgrove tarafından 1932 yılında Hardgrove Öğütülebilirlik Deneyi önerilmiştir ve 1951 yılında kömürler için ASTM standart prosedürü olarak kabul edilmiştir (Acarp 1998).

Hardgrove değirmeni kömürlerin öğütülebilirliğini ölçen bir cihazdır. Temel olarak Rittinger'in kanununa dayanan bir metottur. Bu metot standartlara uygun hale getirilmiş kömürlerle bağlı öğütülebilirliği veya kömürlerin toz haline getirilmesindeki kolaylığı saptama işlemini kapsar. Bilinen boyutlarda hazırlanmış olan kömür numunesi, deney cihazında belirli bir enerji uygulanarak öğütülür ve bu öğütülmüş kömür numunesinin boyutlarındaki değişme elek analizi ile saptanır.

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Laboratuvar çalışmaları kapsamında kömür ve curuf numunelerini hazırlama işlemleri ile kimyasal analizler, ısıl değer ve hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) tayinleri yapılmıştır.

5.1 KİMYASAL ANALİZLER

Çalışma kapsamında kömürde toplam nem, kül, uçucu madde gibi kaba ve karbon, hidrojen, azot gibi elementer kimyasal analizler yapılmıştır. Analizler EÜAŞ ÇATES-B ve Teknik Kontrol laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Tez kapsamında TS 2390 Kömürden Numune Alma standardına uygun olarak santral besleyicilerinden (yanma kazanına girmeden önce) alınan kömür numuneleri zaman kaybedilmeden laboratuvara getirilerek öncelikle toplam nem analizleri yapılmıştır. Bunun için kömürden dörtleme yöntemiyle alınan yaklaşık 100 g numune etüvde kurutulup tartım farkından yararlanılarak TS 690 standardına göre nemleri saptanmıştır. Kömürde nem tayini için Memmert etüv kullanılmıştır. Kömür numunelerinin tartımı %0.1 hassasiyetli Mettler PJ 6000 terazide yapılmıştır.

Nem tayinin ardından halkalı değirmende öğütülen numunelerin kül içeriği ASTM D 3174 standardına göre belirlenmiş olup kül tayini için Heraeus KR 260 E fırın kullanılmıştır. Kömür numunelerinin tartımı %0.0001 hassasiyetli Mettler AE 200 terazide yapılmıştır.

Bu çalışma kapsamında alınan numunelerin uçucu madde tayini TS 711 standardına göre kömür numunelerinin 900°C'de yaklaşık 7 dakika ısıtılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

Analizlerin bir kısmında kullanılan endüstriyel analiz cihazı Leco MAC-500 olup Teknik Kontrol laboratuvarında bulunan bu cihazla kaba kimyasal analizler yapılmıştır. Tez çalışması

kapsamında termik santrale beslenen kömür örnekleri üzerinde elementer analiz cihazında (TruSpec CHN) karbon (C), hidrojen (H) ve azot (N) analizleri yapılmıştır. Oksijen değerleri, bu analiz sonuçlarına göre hesaplanarak bulunmuştur. Kükürt cihazında (Leco SC-144 DR) kükürt (S) analizi gerçekleştirilmiştir.

5.2 ISIL DEĞER TAYİNİ

Kömür numunelerinin alt ve üst ısııl değerleri, ÇATES-B laboratuvarında kalorimetre IKA C-2000 cihazı kullanılarak, Teknik Kontrol laboratuvarında ise Leco AC 500 cihazıyla tayin edilmiştir

5.3 HARDGROVE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK İNDEKSİ TAYİNİ

Hardgrove öğütülebilirlik indeks (HGI) deneyinin yapılması için Teknik Kontrol laboratuvarındaki Hardgrove değirmeni kullanılmıştır. Buna göre öncelikle değirmendeki çukur kap ve çelik bilyalar fırça ile iyice temizlenmiş ve 50 gramlık numuneler değirmen kabına boşaltılmıştır. Bilyalar aralıklarla kap içine dizilerek, öğütme halkası bilyaların üzerine yerleştirilmiş ve otomatik sayaç ayarlanarak, deney başlatılmıştır.

Değirmen 20 devir/dakika hızla 60 defa döndürülmüş ve otomatik olarak durduktan sonra, çukur kap değirmenden çıkarılmıştır. Kap içerisinde bulunan öğütme halkasındaki tozlar ve öğütülen numune 0,075 mm'lik elek üzerine boşaltılmıştır. Eleğin üzeri kapağıyla kapatıldıktan sonra 5 dakika elenmiştir. Daha sonra kapak açılıp, numune biraz karıştırılmış ve 15 dakika daha elenmiştir. Bu işlem sonunda 0,075 mm'lik elek üzerinde kalan malzeme tartılıp Eşitlik 3 ile HGI değeri hesaplanmıştır.

$$HGI = 13 + (6,93 \times W) \quad (5.1)$$

Burada W değeri, 0,075 mm'lik elek üstünde kalan malzeme miktarının gram cinsinden ifadesini göstermektedir.

BÖLÜM 6

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında santral besleyicilerinden kömür numuneleri alınmış ve bu kömürlerin kimyasal özellikleri, ısı değerleri, öğütülebilirlikleri araştırılmıştır. Kömürlerin kimyasal özelliklerini belirlemek için yapılan analizler kül, nem, uçucu madde içeriği gibi kaba ve karbon, hidrojen, azot, kükürt içeriği gibi elementer analizlerdir. Kömürlerin üst ve alt ısı değerleri tayin edilmiş; öğütülebilirliklerinin belirlenmesi için hardgrove öğütülebilirlik indekslerine bakılmıştır. Çalışma, kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ve alt ısı değeri (AID) bağıntıları olmak üzere iki bölüm halinde anlatılmıştır. İlk bölümde, öncelikle santral kömürlerinin ve bu kömürlerin karışımından oluşan besleyici kömürlerinin öğütülebilirlik dereceleri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu bölümde incelenen diğer konu, besleyici kömürlerinin HGI ile AID ve kimyasal analizleri arasındaki ilişkilerdir. İkinci bölümde ise iki alt başlık altında AID bağıntıları incelenmiştir. Bu bölümde ilk olarak kömürlerin AID ile kimyasal analiz değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Son bölümde ise yanan kömürler ve yanma sonucu açığa çıkan curuf miktarlarının oranı ile yanan kömürlerin AID arasındaki bağıntılar araştırılmış, tüm bu çalışmalardan çıkan sonuçlar değerlendirilmiştir.

Santrale TTK tarafından gönderilen kömürler (santral kömürleri), kömür park sahasında karıştırılarak kazanlara beslenmektedir. Bu çalışmada öncelikle besleyicilere gelen karışım kömürlerinin doğasını anlayabilmek için santral kömürlerinin özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla söz konusu kömürlerden 2006 ve 2007 yılının farklı dönemlerinde numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin, EÜAŞ ÇATES laboratuvarında kaba kimyasal ve ısı değeri analizleri, Ankara Merkez (Teknik Kontrol) laboratuvarında da kaba elementer kimyasal analizleri yapılmış, ısı değeri ve HGI değerleri tayin edilmiştir. Çizelge 6.1’de her iki laboratuvarında yapılan analiz sonuçlarının ortalama değerleri görülmektedir. Burada kül sonucu kuru bazda, diğer değerler ise orijinal bazda verilmiştir. ÜID ve AID terimleri, üst ve alt ısı değeri ifade etmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi toplam rutubetler arasında $\pm\%2$ gibi kabul

edilebilir bir fark olmasına rağmen iki laboratuarda ölçülen kül değerleri arasında farklılık $\pm\%10$ 'u bulmakta, bu fark ısı değerlerine de yansımaktadır. Bu farklılıkların sebebi, kömür numunelerinin aynı olmaması, laboratuvarların sahip olduğu farklı ortam koşulları olabilir. Numuneler, laboratuvarlar arasındaki ölçüm farklılıklarını incelemek için değil, kömür özellikleriyle ilgili fikir vermesi adına alındığından dolayı aynı dönemler içinde alınmış farklı numunelerdir. Santral kömürlerinin sözleşme değerleri göz önüne alındığında, ÇATES laboratuvarının analiz sonuçlarının sözleşme değerlerine yakın olduğu görülmektedir (Bkz. Bölüm 3.2).

Çizelge 6.1 Çatalağzı Termik Santralinde kullanılan kömürlerin analiz sonuçları.

ANALİZLER	Çatalağzı		Kozlu		Üzülmüz		Armutçuk		Rödevans	
Kaba Analiz (%)	çates	merkez	çates	merkez	çates	merkez	çates	merkez	çates	merkez
Toplam Nem	15,2	15,2	15,3	14,4	14,8	15,4	13,7	12,6	7,5	9,0
Kül	46,4	36,9	46,4	38,2	46,8	42,5	47,0	46,0	38,6	30,1
Uçucu Madde		16,8		17,5		16,9		16,8		20,9
Sabit Karbon		36,7		35,4		33,3		31,3		42,9
Elementer Analiz (%)										
C (Karbon)		46,5		45,3		42,8		42,2		55,3
H (Hidrojen)		2,7		2,9		2,7		2,7		3,4
O (Oksijen)		4,3		4,9		4,8		5,7		5,5
N (Azot)		0,6		0,5		0,4		0,4		0,7
Toplam S (Kükürt)		0,5		0,4		0,4		0,4		0,6
Isıl Değer (kcal/kg)										
ÜİD	3626	4423	3593	4375	3593	4094	3360	3779	4524	5146
AİD	3416	4198	3438	4142	3438	3979	3159	3573	4327	4911

6.1 HARDGROVE ÖĞÜTÜLEBİLİRLİK İNDEKSİ BAĞINTILARI

Bu bölümde ÇATES kömürlerinin HGI değerinin yanma verimine etkisi, dolayısıyla katı atık miktarına etkisi araştırılmıştır. Bu araştırmanın çıkış noktası, pulverize yakıtlı termik santrallerde kömür ne kadar iyi öğütülebilir, tane boyutu ne kadar küçültülebilirse; kömürün kazandaki yanma verimi o kadar artar, bilgisi ve buna bağlı olarak, kömürün yanması sonucunda oluşacak olan katı atık miktarı o kadar azalmalıdır, varsayımdır.

Bu bölümde önce santral kömürlerinin ve bu kömürlerin karışımından oluşan besleyici kömürlerinin öğütülebilirlik dereceleri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ardından besleyici kömürlerinin HGI değerleri ile kömürün diğer kalite parametrelerini oluşturan AİD ve kimyasal analizleri arasındaki ilişkiler üzerinde durulmuştur.

6.1.1 Santral Kömürlerinin Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Bağıntıları

Bu bölümde santral kömürlerinin ve bu kömürlerin karışımından oluşan besleyici kömürlerinin öğütülebilirlik dereceleri incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Santral kömürlerinin hardgrove öğütülebilirlik indeks (HGI) değerleri farklı zamanlarda analiz edilmiştir. Analiz sonuçları Çizelge 6.2’de verilmektedir. HGI değerlerine göre öğütülebilirlik dereceleri ise Çizelge 6.3’te gösterilmektedir. Buna göre santral kömürlerinin kolay ile zor öğütülebilirlik dereceleri arasında olduğu görülmektedir. Sadece rödevans kömürü tüvenan; Kozlu, Üzülmez, Armutçuk ve Çatalağzı kömürleri lavuarlanmış olduğundan rödevansın daha zor öğütülmesi beklenirken, böyle olmadığı anlaşılmaktadır. Tüm bu kömürlerin HGI değerleri 50-112 arasında değişmektedir. Bu sonuçlardan, Armutçuk kömürünün diğerlerine göre en zor, Çatalağzı’nın en kolay öğütülebilir; Kozlu, Üzülmez ve rödevansın çoğunlukla orta derecede öğütülebilir olduğu anlaşılmaktadır. Durum böyleyken Çatalağzı ve rödevans kömürlerinin farklı zamanlarda alınan numunelerinin HGI değerlerindeki değişimlerin fazla olduğu görülmektedir. Bu durumun santraldeki yanma verimini olumsuz yönde etkilemesi beklenir.

Çizelge 6.2 Çatalağzı Termik Santralinde kullanılan kömürlerin farklı zamanlardaki hardgrove öğütülebilirlik indeks değerleri.

Tarih	Çatalağzı	Kozlu	Üzülmez	Armutçuk	Rödevans
31.05.2006	95,5	89	112	89,5	76,5
06.12.2006	70	69	69	50,5	71,5
10.05.2007	89	76	69,5	68	111,5
17.08.2007	67	72,5	71	64,5	84,5
23.11.2007	98	77	81,5	77,5	63,5

Çizelge 6.3 Hardgrove öğütülebilirlik indeksi değerlerine göre öğütülebilirlik sınıflaması.

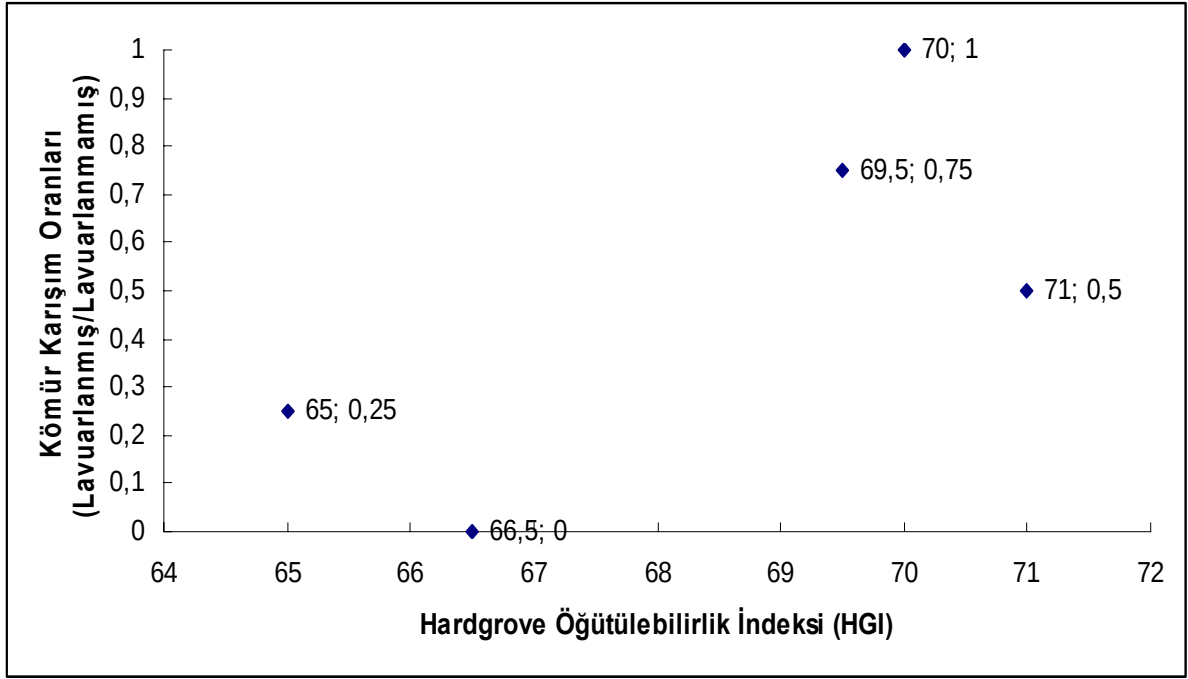
HGI	Öğütülebilirlik
>80	Kolay
65-80	Orta Der. Zor
45-65	Zor
<45	Çok Zor

Uygulamada çoğunlukla lavuarlanmış santral kömürleri kendi aralarında karıştırılarak, lavuarlanmamış kömürlerden farklı besleyicilere alınmaktadır. Analiz sonuçlarının yanında bu işletme verilerine dayanılarak, santral besleyicilerinden alınan lavuarlanmış ve

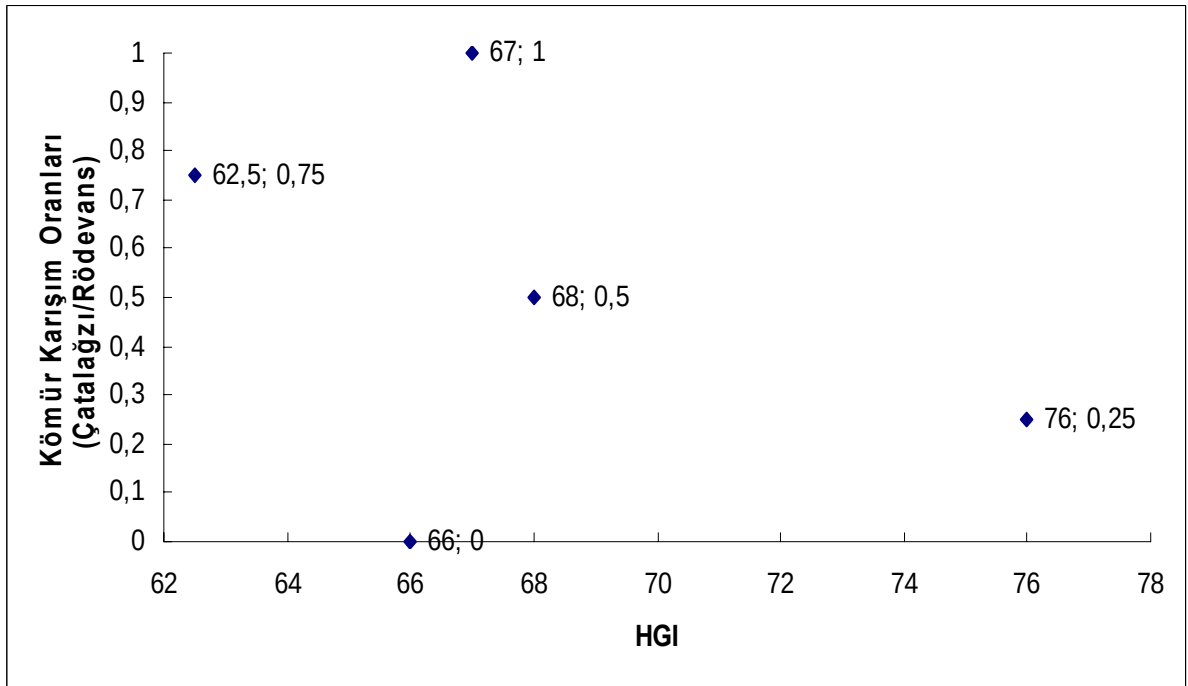
lavuarlanmamış kömür numuneleri farklı miktarlarda karıştırılmış ve HGI değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca yine aynı verilere dayanılarak en iyi öğütülebilir olduğu düşünülen Çatalağzı kömürü ve tüvenan halde santrale gönderilen, zor öğütüldüğü tahmin edilen rödevans kömüründen alınan numuneler birbirleriyle farklı oranlarda karıştırılmış ve HGI değerleri analiz edilmiştir. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2’de bu analiz sonuçları grafikler halinde sunulmuştur. Bu şekillerde ilgili analiz sonuçları noktalarla belirtilmiş, bu noktaların yanında x ve y değerleri gösterilmiştir. Her iki şekilde de x değerleri kömür numunelerinin HGI değerlerini ifade etmektedir. Şekil 6.1’de y değerleri, karışımı oluşturan lavuarlanmış kömür miktarının lavuarlanmamış kömür miktarına oranını göstermektedir. Buna göre y değeri 0 olan nokta ile belirtilen numune, sadece lavuarlanmamış (tüvenan) kömüre, 1 olan nokta ile belirtilen numune ise sadece lavuarlanmış kömüre aittir. Aynı şekilde y değerinin 0,25 olması, lavuarlanmış kömür numunesinin karışım içindeki oranının 4’te 1 olduğunu; y değerinin 0,5 olması, söz konusu kömür numunelerinin yarı yarıya karıştırıldığını; y değerinin 0,75 olması ise, lavuarlanmış numune oranının karışımın 3’te 4’ünü oluşturduğunu ifade etmektedir. Şekil 6.2’de de karışımı oluşturan lavuarlanmış kömür numunesinin yerini Çatalağzı kömürü, lavuarlanmamış numunenin yerini ise Rödevans almıştır.

Bu sonuçlara göre, karışımı oluşturan kömürlerin HGI değerlerine bakılarak, karışım kömürlerinin HGI değerlerinin öngörülelemeyeceği anlaşılmıştır. Lavuarlanmış kömürlerin lavuarlanmamış olana ve Çatalağzı kömürünün rödevans kömürüne göre daha kolay öğütülebilir olmadığı görülmüştür. HGI değerleri birbirine çok yakın da olsa, karışımı oluşturan kömür miktarlarının aritmetik ortalaması değildir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar literatür verileriyle de örtüşmektedir (Haas et al. 2001, Su et al. 2001b, Riley et al. 1989, Rubiera et al. 1999, Vuthaluru et al. 2003). Literatürde de, bu çalışmada olduğu gibi, kömür karışımlarının öğütülebilirliklerinin ancak analiz yoluyla bulunabileceği, hesaplama yolu ile tahmin edilemeyeceği; öğütülebilirliğin toplanabilir bir özellik olmadığı ifade edilmiştir. Ölçülen değerlerin, hesaplanan değerlerden düşük ya da yüksek olabileceği belirtilmiştir. Literatürde yer alan başka bir çalışmada da kömür, karbonlu şist ve şist üzerinde çalışılmış ve bu üç birimin öğütülebilirlik değerleri hesaplanmıştır. Buna göre, şistlerin mineralojik olarak kömürden daha sert olmalarına rağmen, öğütülebilirlik sonuçlarına göre daha yumuşak olduğu bulunmuştur (Agus and Waters 1971, Su’dan 2003).



Şekil 6.1 Lavuarlanmış ve lavuarlanmamış kömür karışımlarının hardgrove öğütülebilirlik indeksi analiz sonuçları.



Şekil 6.2 Çatalağzı ve Rödevans karışım kömürlerinin hardgrove öğütülebilirlik indeksi analiz sonuçları.

6.1.2 Kimyasal ve Isıl Değer Analizleri ile Hardgrove Öğütülebilirlik İndeks Bağıntıları

Çalışmanın bu bölümünde santral besleyicilerinden alınan kömür numunelerinin hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ile ısı değer ve kimyasal analizleri arasındaki ilişkiler

incelenmiştir. Her bir ilişki farklı grafiklerle gösterilmiştir. HGI ile alt ısı değer (AID) arasındaki ilişki Şekil 6.3'te; HGI ile kaba kimyasal analizler arasındaki ilişkiler Şekil 6.4'ün a, b, c ve d maddelerinde; HGI ile elementer kimyasal analizler arasındaki ilişkiler ise Şekil 6.5'in ilgili maddelerinde gösterilmiştir. Grafiklerden de görüleceği gibi HGI ile incelenen parametreler arasında anlamlı ilişkiler kurulamamıştır.

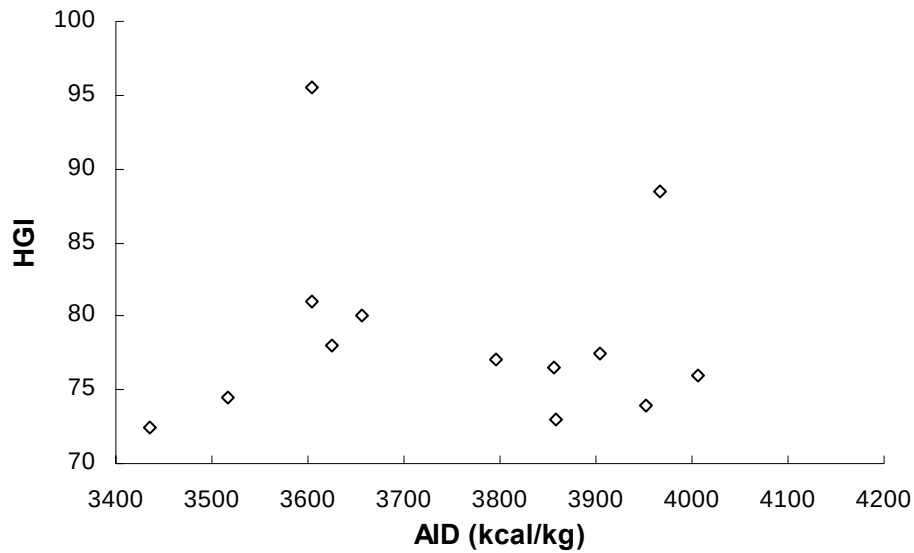
Şekil 6.3'te görüleceği üzere, 3400-4100 kcal/kg arasında değişen alt ısı değerlere sahip kömürlerin 70-100 arasında değişen HGI değerlerine sahip olduğu görülmüştür. AID artsa da, bunun kömürün HGI değerini pek etkilemediği, farklı öğütülebilirliklere sahip kömürlerin ısı değerlerinin aynı olabileceği görülmüştür.

Coşkun (1999) tarafından linyit kömürleri ile yapılan çalışmada, kömürdeki mineral madde miktarı arttıkça kömür öğütülebilirliğinin azaldığı belirtilmiştir. Kül ve nem oranının öğütülebilirliği etkilediği vurgulanmıştır. Diğer bir çalışmada ise kül ve HGI arasında bir ilişki kurulamamıştır (Su 2003). Vuthaluru et al. (2003) tarafından gerçekleştirilen çalışmada ise kömürdeki nem oranının HGI üzerine etkisini incelenmiştir. Yapılan incelemede, bünye neminin HGI üzerinde etkisinin büyük olduğu, ancak yüzey neminin aynı etkiyi göstermediği belirtilmiştir. Doğan vd. (1994) tarafından yapılan çalışmada da çeşitli bölgelerden alınan linyit numunelerinin aynı rutubet seviyesindeki öğütülebilirliklerinin büyük farklılıklar gösterdiği vurgulanmıştır. Bu çalışmada ise, birbirine yakın nem veya kül değerlerinde, HGI değerlerinin birbirinden çok farklı olabildiği görülmektedir. Şekil 6.4'ün a ve b maddelerindeki grafiklerden görüleceği gibi, kömürlerdeki nem ve kül ile HGI arasında doğrusal veya parabolik bir ilişki gözlenmemektedir. Santral kömürlerinin bünye neminin, yüzey nemine oranla çok düşük olduğu bilinmektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde, nem ve HGI arasındaki ilişki literatürle örtüşmektedir. Yapılan çalışmada kullanılan şlam ve mikst karışımı kömürlerin nemleri %12-18, külleri ise %38-48 gibi dar aralıklarda değişmektedir.

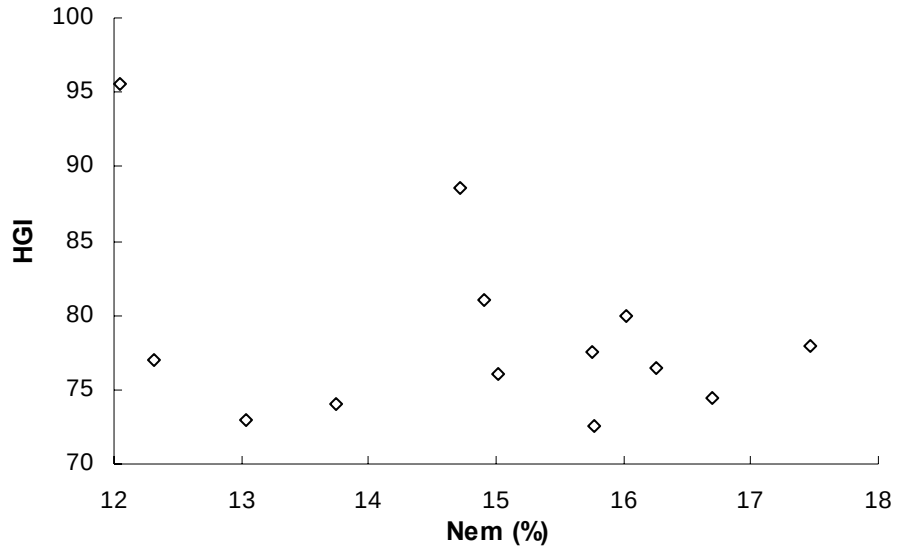
Su (2003) tarafından yapılan çalışmada kömürün öğütülebilirliği ile sadece uçucu madde arasında bir ilişki kurulmuş, sabit karbon arasında ilişki kurulamamıştır. Buna göre iki büyüklük arasında azalan yönde doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Uçucu madde değeri arttıkça HGI değerinin düştüğü gözlenmiştir. Söz konusu çalışmada kömürlerin HGI değerleri 40-100, uçucu madde aralığı %20-55 arasında değişmektedir. Bu çalışmada ise Şekil 6.4'ün c ve d maddelerindeki grafiklerden görüleceği gibi kömür numunelerinin HGI ile uçucu madde ve sabit karbon değerleri arasında doğrusal veya parabolik ilişki gözlenmemiştir. Bu

çalışmada kömürlerdeki HGI değer aralığının 70-100, uçucu maddenin %14-19, sabit karbon içeriğinin %30-35 gibi dar aralıklarda değiştiği ve kullanılan kömürlerin aslında şlam ve mikst karışımı olduğu göz ardı edilmemelidir.

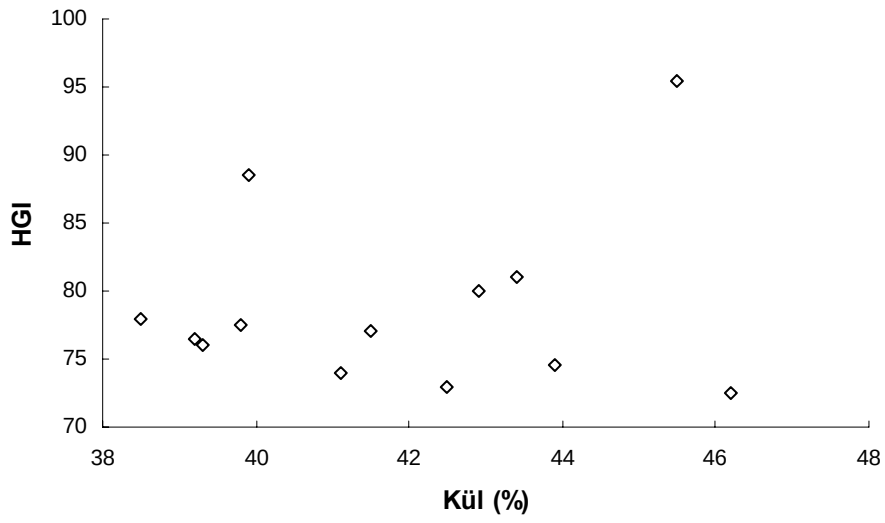
Literatürde HGI ile elementer analizlerden karbon ve hidrojen ile parabolik ilişki kurulmuş, azot, kükürt ve oksijen ile kurulamamıştır. Su (2003) tarafından yapılan çalışmada HGI ile karbon içeriği arasında literatürde bulunan ilişkiye çok yakın, ilişki katsayısı 0,84 olan parabolik bir ilişki kurulmuştur. Fakat karbon içeriği %70-95 aralığında değişirken, %75-80 arasında karbon içeriği olan numune bulunmamaktadır. Bu yüzden grafikten yapılacak bir okumanın tam olarak anlamlı olmayacağı belirtilmiştir. Hidrojen içeriği ile HGI arasında da ilişki katsayısı 0,71 olan bir parabolik ilişki kurulmuştur. Bu çalışmada Şekil 6.5'in a, b, c ve d maddelerindeki grafiklerden görüleceği gibi kömürün elementer analizleriyle HGI arasında anlamlı ilişkiler kurulamamıştır. Burada karbon içeriği %38-48 arasında değişmektedir. Literatürde ise %70'in üzerinde karbon içeren kömür numuneleriyle çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada hidrojen içeriği ile HGI arasında ise anlamlı bir ilişki ancak dördüncü dereceden parabolik olduğunda gözlenmiştir. Yapılan çalışmadaki hidrojen içeriği aralığı %2-3 arasında değişirken literatürde %4-5.4 arasındadır.



Şekil 6.3 Kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi ve alt ısı değeri arasındaki ilişki.



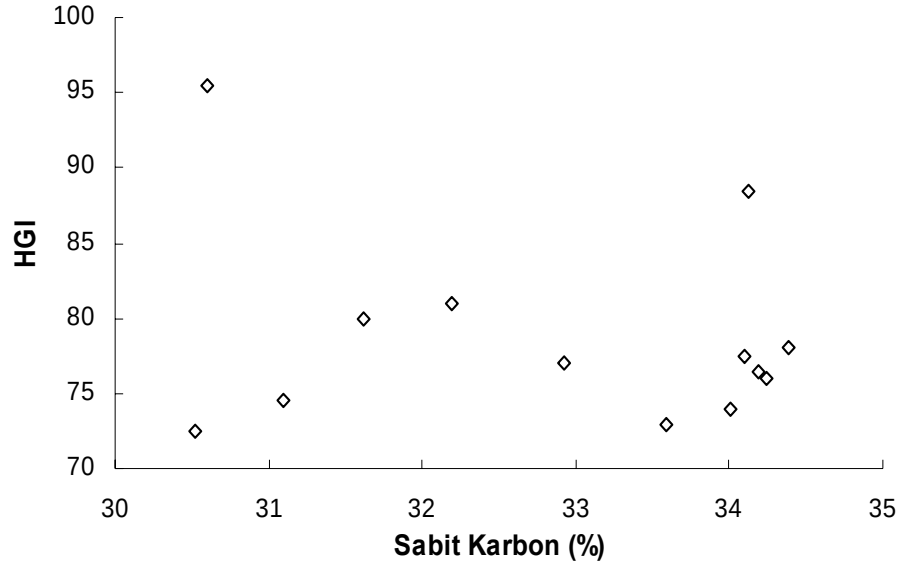
a. HGI ile nem içeriği arasındaki ilişki.



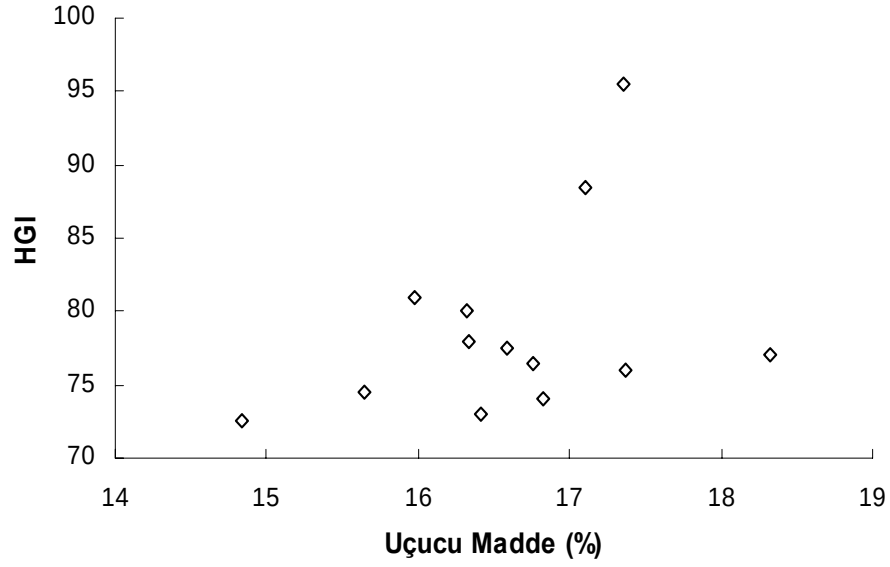
b. HGI ile kül içeriği arasındaki ilişki.

Şekil 6.4 Kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ve kaba kimyasal analizler arasındaki ilişkiler.

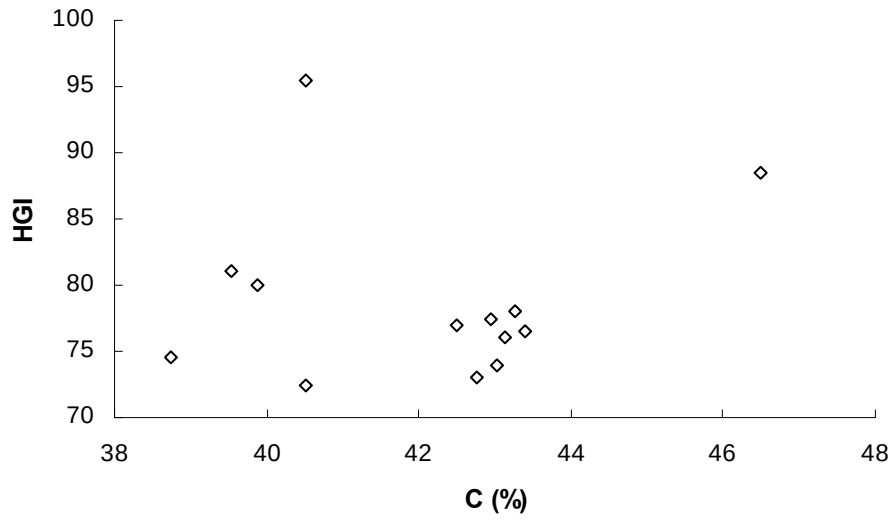
Şekil 6.4 (devam ediyor)



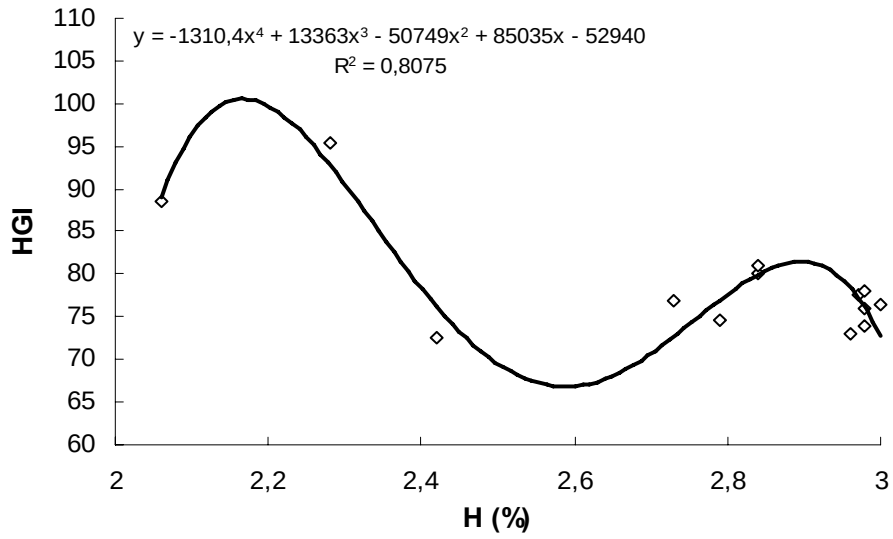
c. HGI ile sabit karbon içeriği arasındaki ilişki.



d. HGI ile uçucu madde içeriği arasındaki ilişki.



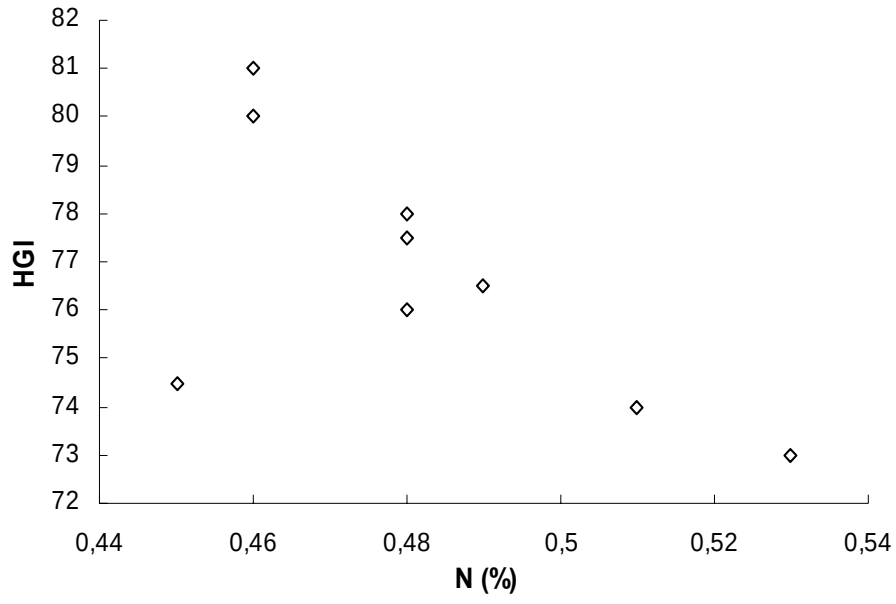
a. HGI ile karbon içeriği arasındaki ilişki.



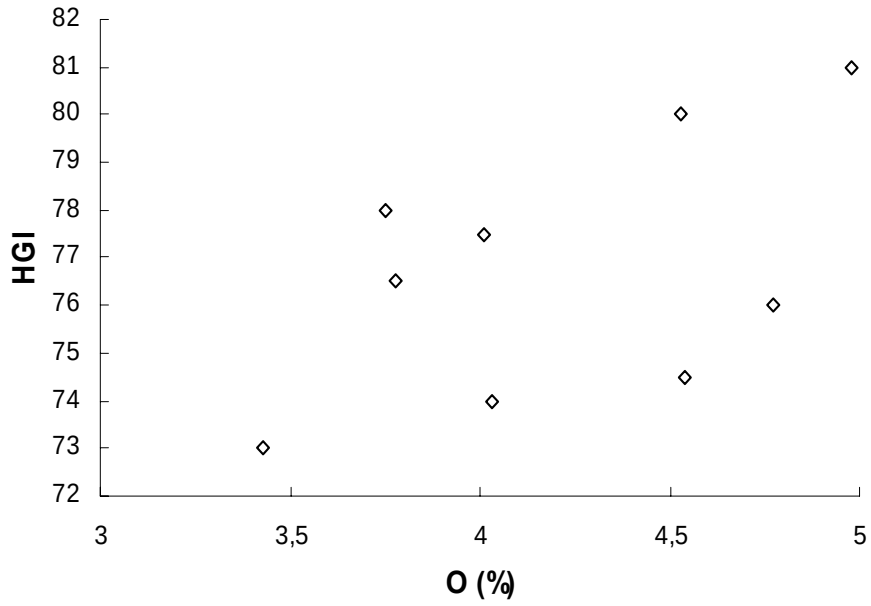
b. HGI ile hidrojen içeriği arasındaki ilişki.

Şekil 6.5 Kömürlerin hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) ve elementer kimyasal analizler arasındaki ilişkiler.

Şekil 6.5 (devam ediyor)



c. HGI ile azot içeriği arasındaki ilişki



d. HGI ile oksijen içeriği arasındaki ilişki

6.2 ALT ISIL DEĞER BAĞINTILARI

Çalışmanın bu bölümünde kömür numunelerinin alt ısı değerleriyle (AID) kimyasal özellikleri ve curufun yanan kömüre oranı arasındaki bağıntılar incelenmiş; AID'nin katı atık miktarıyla ilişkisi ortaya konmuştur.

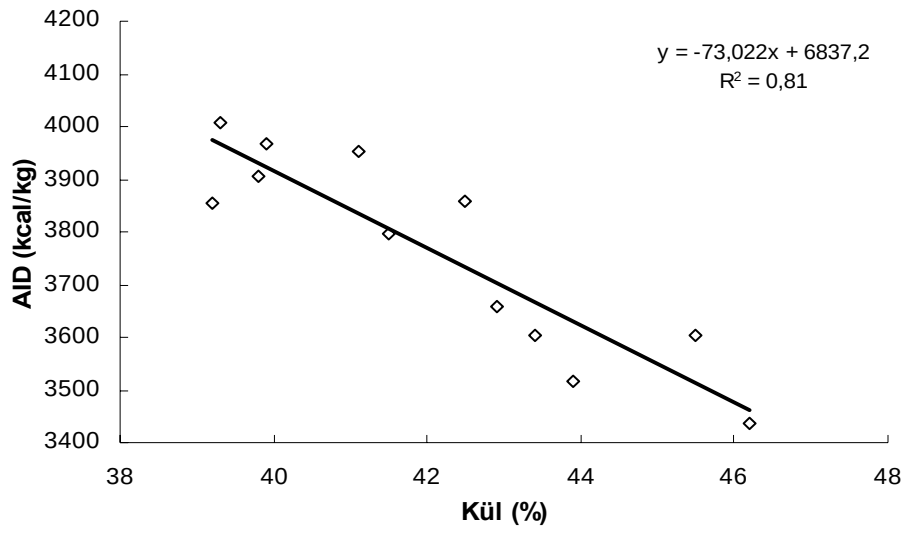
6.2.1 Kimyasal Analizler ile Alt Isıl Değer Bağıntıları

Bu bölümde, santral besleyicilerinden alınan kömür numunelerinin alt ısı değerleriyle kimyasal analiz değerleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Şekil 6.6'nın a, b, c ve d maddelerindeki grafiklerde AID ile kömürün kül, uçucu madde ve sabit karbon gibi kaba analiz ve karbon içeriği değerleri arasındaki bağıntılar görülmektedir.

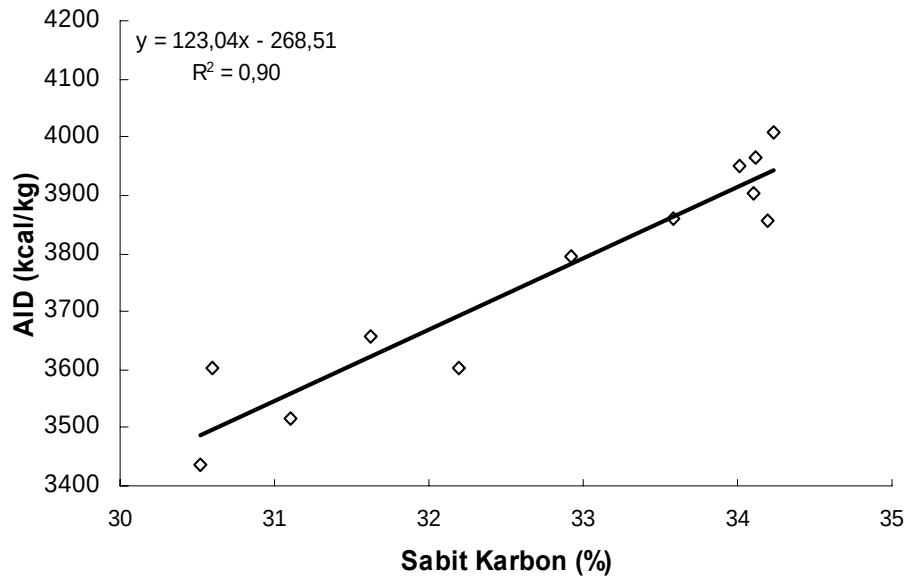
Kömürün külü arttığında ısı değerinin azalacağı literatürden ve uygulamalardan bilinmektedir. Bu çalışmada da, Şekil 6.6'nın a maddesinde görüldüğü gibi, kullanılan kömürlerin kül ile alt ısı değeri arasında katsayısı 0.81 olan azalan yönde doğrusal bir ilişki kurulmuştur.

Kömür numunelerinin sabit karbon ve uçucu madde içeriklerine bakıldığında, kömürün alt ısı değeriyle aralarında ilişki katsayıları sırasıyla 0,9 ve 0,86 olan artan yönde doğrusal ilişkiler kurulmuştur. Bu ilişkiler Şekil 6.6'nın b ve c maddelerinde görülmektedir. Kömür numunelerinin sabit karbon içeriğinin %30-35, uçucu madde içeriğinin %14-18, alt ısı değerinin 3400-4100 kcal/kg arasında değiştiği görülmektedir. Buna göre kömürdeki sabit karbon ve uçucu madde miktarı arttığında alt ısı değerlerinin artacağı anlaşılmaktadır.

Kömürün karbon içeriği arttığında ısı değerinin de artacağı aşıkardır. Şekil 6.6'nın d maddesinde görülen grafikte de, bu çalışmada kullanılan kömür numunelerinin karbon içeriği arttığında, alt ısı değerlerinin de arttığı görülmektedir. İki değer arasında katsayısı 0,79 olan doğrusal bir ilişki gözlenmiştir.



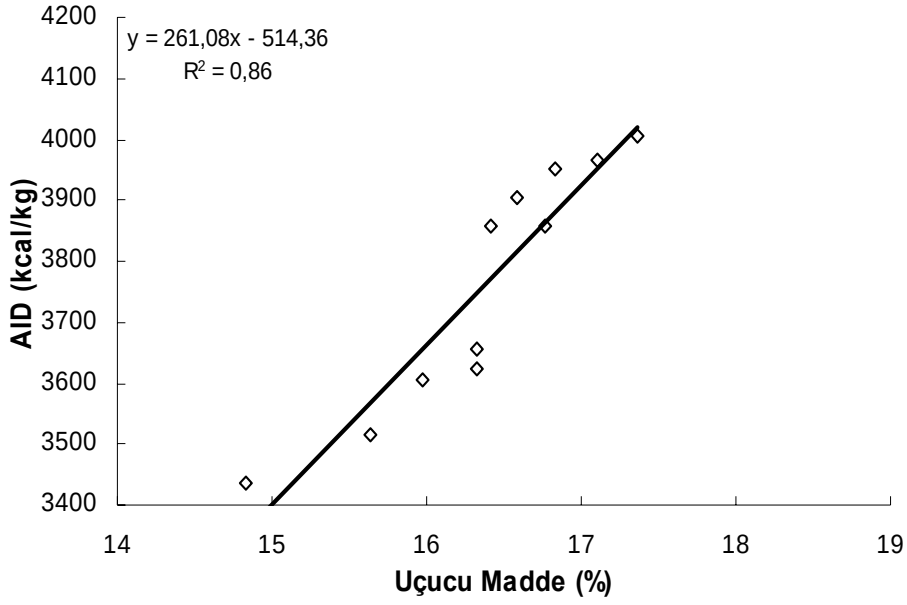
a. AID ile kül içeriği arasındaki ilişki.



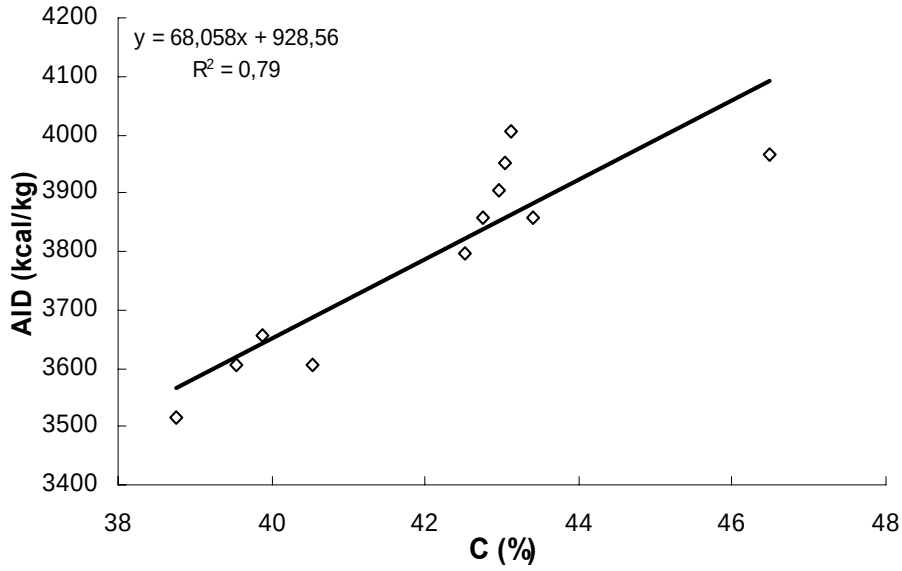
b. AID ile sabit karbon içeriği arasındaki ilişki.

Şekil 6.6 Kömürün alt ısı değeri (AID) ile kimyasal analizleri arasındaki ilişkiler.

Şekil 6.6 (devam ediyor)



c. AID ile uçucu madde içeriği arasındaki ilişki.

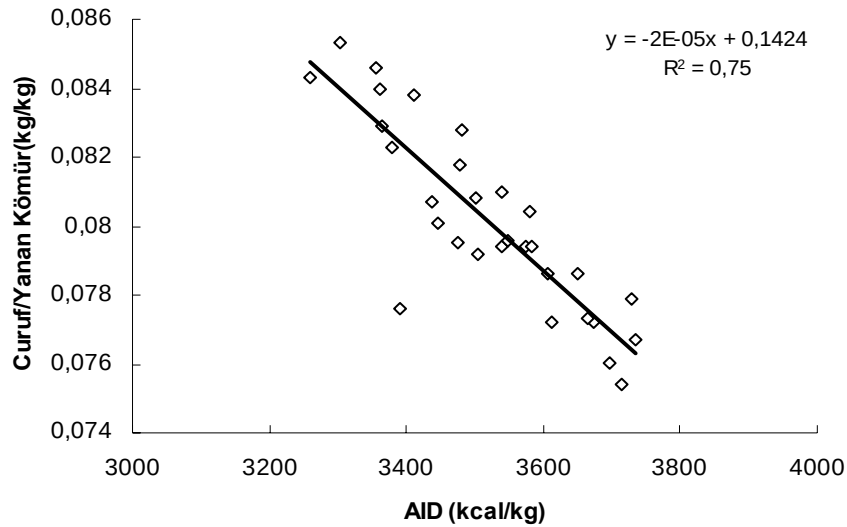


d. AID ile karbon içeriği arasındaki ilişki.

6.2.2 Yanan Kömürün Curuf Oranı ile Alt Isıl Değer Bağlılıları

Çalışmanın bu bölümünde, santral kazanlarında yanan kömürler (besleyici kömürleri) ve yanma sonucu açığa çıkan curuf miktarlarının oranı ile yanan kömürlerin alt ısıl değeri (AID) arasındaki bağıntılar araştırılmıştır. Bu amaçla 2007 yılı içinde santral ünitelerinin çalıştığı günler göz önünde bulundurularak sonuçlar değerlendirilmiştir. Yanan kömürlerin alt ısıl değerleri, analizler sonucunda belirlenmiştir. Yanan kömür miktarları için işletmenin vardiya defterlerinden yararlanılmıştır. Pulverize kömür yakan termik santrallerde oluşan kül atıklarının büyük kısmı (yaklaşık %80) uçucu kül olarak oluşmaktadır (Tripodi and Cheremisinof 1980, Onacak'tan 1999). Santral tasarımı da, %80 uçucu kül ve %20 taban külü (curuf) esas alınarak gerçekleştirilmiş ve kazan deneme sürecinde yapılan ölçümlerde yaklaşık bu sonuçlar elde edilmiştir. Curuf miktarları bu bilgiye dayanılarak hesaplanmıştır.

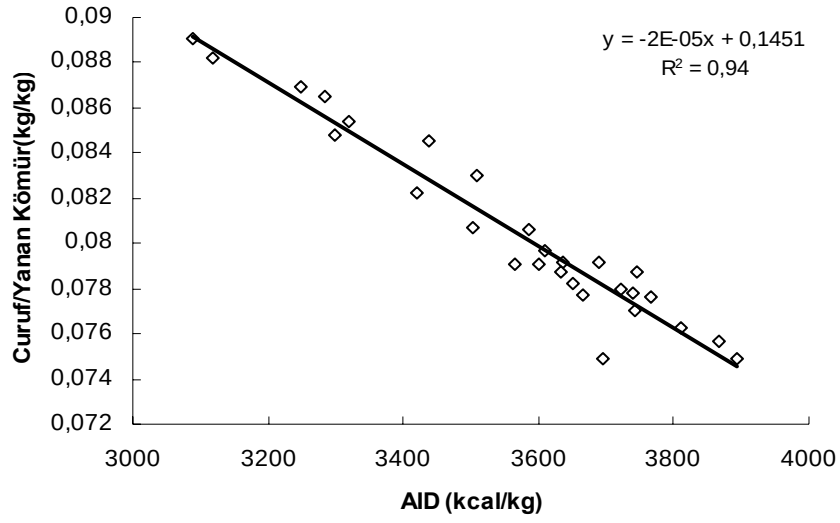
2007 yılının farklı aylarında yapılan analizlere göre çizilen grafikler Şekil 6.7'nin a, b, c, d, e, f ve g maddelerinde görülmektedir. Bu çalışmada kullanılan kömürlerin alt ısıl değer aralıkları 3000-4000 kcal/kg olmakla beraber alt ısıl değer arttıkça curufun yanan kömür miktarına oranının azaldığı gözlenmektedir.



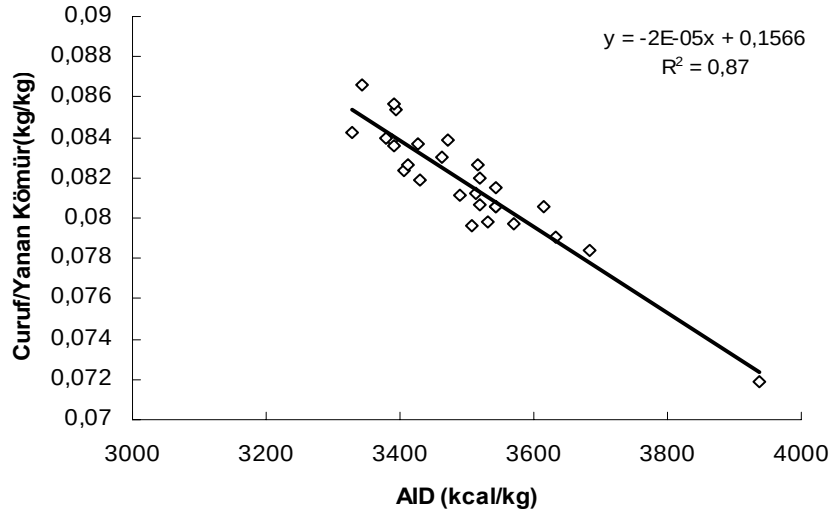
a. Ocak 2007 besleyici kömürleri alt ısıl değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.

Şekil 6.7 2007 yılı çeşitli aylar santral besleyici kömürleri alt ısıl değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.

Şekil 6.7 (devam ediyor)

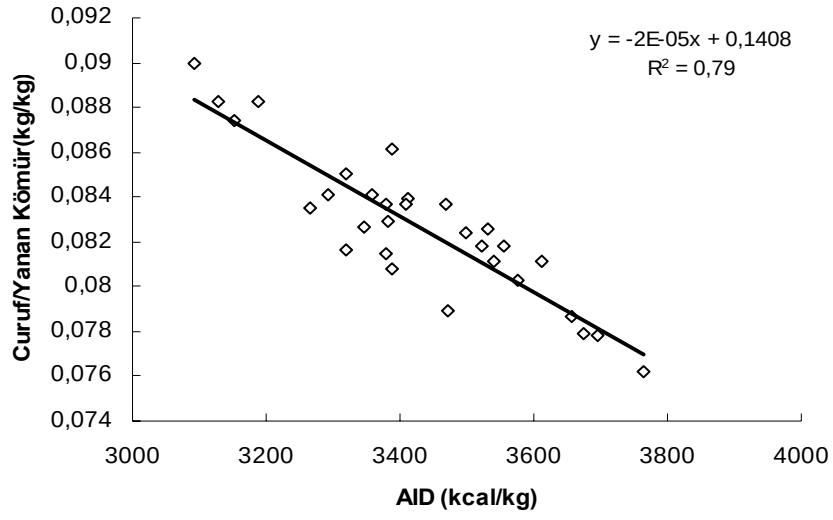


b. Haziran 2007 besleyici kömürleri alt ısı değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.

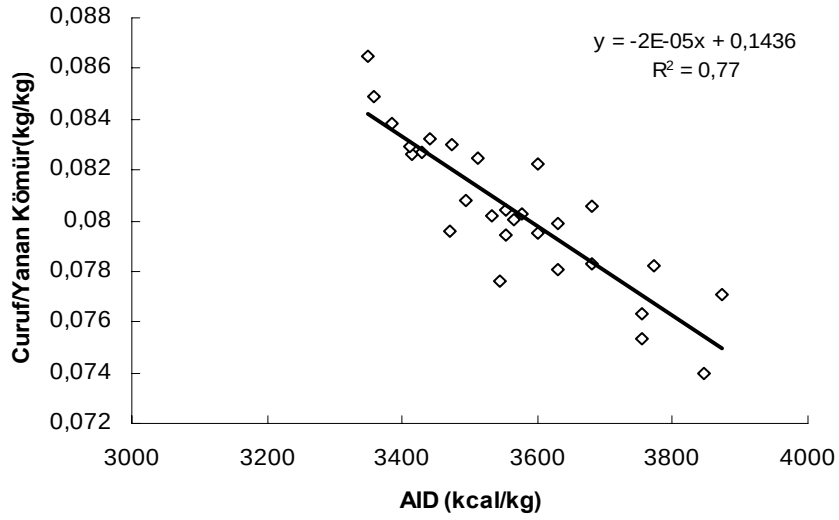


c. Temmuz 2007 besleyici kömürleri alt ısı değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.

Şekil 6.7 (devam ediyor)

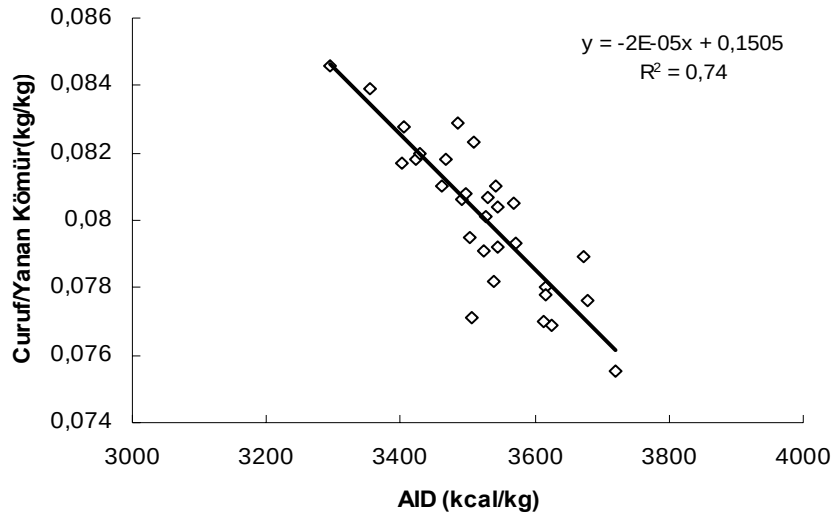


d. Ağustos 2007 besleyici kömürleri alt ısı değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.

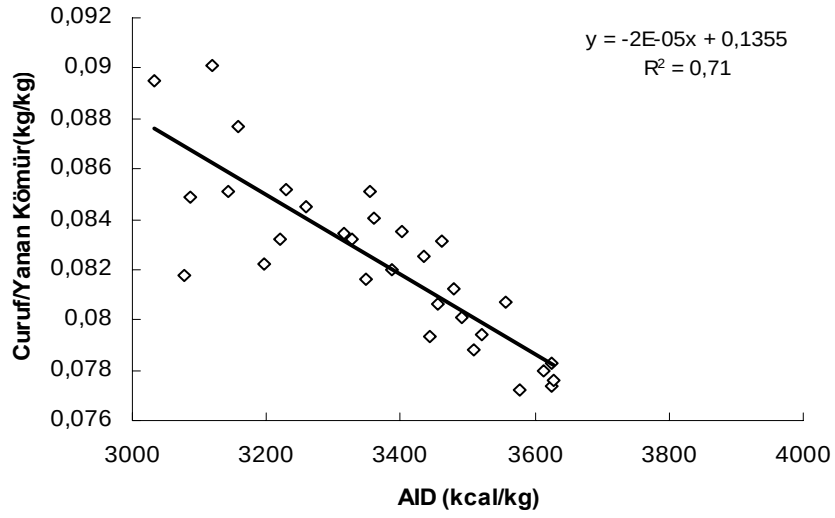


e. Eylül 2007 besleyici kömürleri alt ısı değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.

Şekil 6.7 (devam ediyor)



f. Ekim 2007 besleyici kömürleri alt ısı değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.



g. Aralık 2007 besleyici kömürleri alt ısı değerlerine karşı curuf/yanan kömür oranları.

Korelasyon katsayıları 0,71 ve 0,94 arasında değişse de curufun yanan kömür miktarına oranı ile alt ısı değer arasında denklemin neredeyse değişmediği görülmektedir. Bu durumda kömür yandığında oluşan katı atık miktarı aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$\text{Curuf} / \text{YananKömür} = -2 \times 10^{-5} \times (AID) + 0,145 \quad (6.1)$$

Buna göre, Çatalağzı Termik Santralinde kullanılan kömürlerin yanması sonucu açığa çıkan katı atık miktarlarına karar vermek için en önemli parametrenin alt ısı değer olduğu anlaşılmıştır. Elde edilen bu sonuç termik santralde yanma veriminin sabit ve yaklaşık olarak %35 olduğu kabul edildiğinde geçerlidir. Ayrıca yanma sonucu ortaya çıkan curufun kimyasal analiz sonuçları Çizelge 6.4'te sunulmuştur.

Çizelge 6.4 Çatalağzı Termik Santralinde oluşan curuf bileşenlerinin ortalama analiz sonuçları.

Curuf Bileşenleri	Miktar (%)
SiO ₂	56,32
Fe ₂ O ₃	7,35
TiO ₂	1,10
Al ₂ O ₃	21,27
CaO	3,90
MgO	1,87
Na ₂ O	0,61
K ₂ O	2,15
SO ₃	0,34
P ₂ O ₅	0,14
Yanma Kaybı	4,03

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlarla, santralde yapımı devam eden kül barajının ne kadar süre kullanılabileceği konusunda öngörülebilir. Örneğin, denklem (6.1) yardımı ile santralde yanan kömürlerin alt ısı değerleri temel alınarak curuf miktarları hesaplanabilir. Ayrıca elde edilen sonuçlar, kül barajından dolayı yeraltı su kirliliğinde oluşabilecek etkilerin tahmininde de kullanılabilir. Çizelge 6.4'ten görüldüğü gibi curufun çoğunluğu SiO₂ ve Al₂O₃ bileşiklerinden oluşmakta ve kül barajının yeraltı suyu kirliliğine etkisinin olmaması beklenmektedir. Ancak bu konuda daha kesin sonuçlara ulaşmak için en azından curufta yer alan ağır metal analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu analizler yapıldığı takdirde, toplam curuf miktarları hesaplanabildiğinden, kül barajından ortaya çıkabilecek toplam ağır metal kirlilik yüklerinin tahmini mümkün olabilecektir.

BÖLÜM 7

SONUÇLAR

ÇATES, Kurtuluş Savaşı'nın sona ermesinin ardından ülkemizde başlayan sanayi hamleleri sonucunda doğan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla 1948 yılında işletmeye açılmıştır. ÇATES-A 1991 yılında ekonomik ömrünü tamamladığı gerekçesiyle servis dışı bırakılmış; ÇATES-B devreye alınmıştır. Günümüzde ülkemiz elektrik enerjisinin yaklaşık %1,5'ini karşılayan, 2x150 megawattlık kurulu gücü ve yılda 2 milyar kilowatt saate yaklaşan elektrik enerjisi üretimiyle termik santraller arasında ilk sıralarda yer alan ÇATES, ülkemizin ekonomik kalkınmasında önemli bir yere sahiptir.

ÇATES'in kurulmasında, elektrik enerjisi üretmenin yanı sıra, ticari değeri düşük ve piyasaya arz edilmeyen mikst, şlam gibi yüksek küllü ara ürünlerin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Santralde ana yakıt olarak, TTK'nın taşkömürü atığı olan, ticari değeri olmayan, kalorisi düşük kömürler kullanılmaktadır. Santralin günlük ortalama kömür ihtiyacı iki ünite için toplam 5000-5500 ton/gün'dür. Yerli kaynakları kullanarak ekonomik kalkınmada bu denli pay sahibi olan santral, çevreye duyarlı elektrik enerjisi üretebilmek adına çalışmalar sürdürmektedir. Bu kapsamda yapılan çalışmalardan biri, kömürün yanması sonucu açığa çıkan katı atığın depolanacağı kül barajıdır. ÇATES gibi pulverize kömür yakan santrallerde oluşan kül atıklarının büyük kısmının uçucu kül olduğu; santral tasarımının %80 uçucu kül ve %20 taban külü esas alınarak gerçekleştirildiği ve kazan deneme sürecinde yapılan ölçümlerde yaklaşık bu sonuçların elde edildiği bilinmektedir. Kömürün inorganik içeriği arttığında yanma sonucu oluşan katı atık miktarı da artacaktır. Bu çalışmada bu bilgilerle beraber, santral kömürlerinin özellikleri incelenerek katı atık miktarının kömür kalitesini belirleyen parametrelerden nasıl etkileneceği araştırılmıştır. Buna göre kömürlerin kimyasal, ısıl değer, öğütülebilirlik özellikleri tayin edilmiş, aralarındaki ilişkiler incelenmiş ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

- Santral kömürleri kolay ile zor öğütülebilirlik dereceleri arasındadır. Armutçuk kömürü diğerlerine göre en zor, Çatalağzı en kolay öğütülebilir; Kozlu, Üzülmüş ve Rödevans

çoğunlukla orta derecede öğütülebilir kömürlerdir. Çatalağzı ve Rödevans kömürlerinin HGI değerlerindeki değişimler fazladır.

- Karışım kömürlerinin HGI değerleri, karışımı oluşturan kömürlerin HGI değerlerinin aritmetik ortalaması değildir. Bu nedenle farklı yerlerden gönderilen kömürlerin HGI ortalamasını almak, karışım kömürlerinin HGI tahmini için kullanılamaz.
- Kömürün HGI ile alt ısı değeri ve kimyasal özellikleri arasında doğrusal veya parabolik ilişkiler kurulamamıştır.
- Kömürün alt ısı değeri ile kül arasında katsayısı 0.81 olan azalan yönde doğrusal bir ilişki kurulmuştur. Sabit karbon ve uçucu madde içeriği ile kömürün alt ısı değeri arasında ilişki katsayıları sırasıyla 0,9 ve 0,86 olan artan yönde doğrusal ilişkiler kurulmuştur. Karbon içeriği arttığında, alt ısı değeri artmış; iki değer arasında katsayısı 0,79 olan doğrusal bir ilişki kurulmuştur.
- Kömürün alt ısı değeri arttıkça curufun yanan kömür miktarına oranının azaldığı gözlenmiştir. İki büyüklük arasında korelasyon katsayıları 0,71 ve 0,94 arasında değişen azalan yönde doğrusal ilişki gözlenmiştir. Curufun yanan kömür miktarına oranı ile alt ısı değeri arasındaki denklemin neredeyse hiç değişmediği görülmüştür.

Bu sonuçlardan anlaşılacağı gibi santralde kömürün yanması sonucu oluşan katı atık miktarı, söz konusu denkleme (Eşitlik 6.1) göre hesaplanabilir. Katı atık miktarına etki eden en önemli parametrenin AID olduğu söylenebilir. AID etkileyen kömür özellikleri karbon, uçucu madde ve yandıktan sonra oluşan kül içeriğidir. Kömürün karbon ve uçucu madde içeriği arttıkça AID artacağı, kömürdeki mineral madde ne kadar fazlaysa ısı değerinin o kadar azalacağı görülmektedir. Santrale gönderilen kömürlerin alt ısı değeri artarsa, katı atık miktarının azalacağı anlaşılmaktadır. Ancak, ısı değerinin dizayn değerinin çok üzerine çıkması halinde kazan borularının kavrulma ve kazanda curuf birikmesi gibi problemleri de beraberinde getireceği unutulmamalıdır.

Santral besleyici kömürünün HGI değerinin, kömürün incelenen özellikleriyle ilişkisi kurulamadığından, bu parametrenin katı atık miktarıyla birebir bir ilişkisi olduğunu söylemek mümkün görünmemektedir. Bununla beraber, yıkanmış ve yıkanmamış kömürün

öğütülebilirlikleri arasında büyük fark görülmemiştir. Kömürler karışım haline getirildiğinde HGI değerlerinin hesaplama yoluyla değil, analiz edilerek belirlenebileceği, karışım kömürlerinin HGI değerlerinin, karışımı oluşturan kömürlerin HGI değerlerinden çok farklı olabileceği anlaşılmaktadır. Santrale aynı yerden gönderilen kömürün bile çok değişken HGI değerlerine sahip olabildiği görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Banerjee D, Hirani M and Sanyal S K** (2000) Coal-quality deterioration in a coal stack of a power station. *Applied Energy*, 66: 267-275.
- Bozkurt D** (1996) Kozlu Taşkömürünün Damar Derinliğine Göre Kimyasal Yapısının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 125 s.
- Coşkun M** (1999) Zonguldak Havzası Kömürlerinin Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 95 s.
- Doğan Z M, Hoştan Ç ve Başol A U** (1984) Kömür rutubetinin Türkiye'deki bazı linyitlerin öğütülebilirliğine etkisi. *Türkiye 4. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, TMMOB MMO Zonguldak Şubesi, Zonguldak, s. 251-259.
- Esenlik S** (2005) Orhaneli Termik Santralinde Yanan Kömürlerin Ve Katı Atıkların Mineralojisi, Petroğrafisi ve Element İçeriği. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, 166 s.
- Günbulut D** (2000) Çatalağzı Termik Santrali Atık Malzemelerinin Düşünülen Islak Depolama Projesi Kapsamında Dolgu Malzemesi Olarak Kullanılması Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 109 s.
- Haas J, Tamura M and Weber R** (2001) Characterisation of coal blends for pulverised fuel combustion. *Fuel*, 80: 1317-1323.
- Kazagic A and Smajevic I** (2007) Experimental investigation of ash behavior and emissions during combustion of Bosnian coal and biomass. *Energy*, 32: 2006-2016.
- Liu H, Qiu J, Wu H and Li J** (2003) Direct modification of solid residues during co-firing of coal sludge and coal. *Fuel*, 82: 2323-2329.
- Onacak T** (1999) Türkiye'deki Termik Santrallara Beslenen Kömürlerin ve Yanma Sonucu Oluşan Katı Atıkların Çevresel Etkileri. Doktora Tezi (yayımlanmamış), HÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara, 206 s.
- Perçinel S** (2000) Çatalağzı Termik Santralinin Kömür Kullanımından Doğan Çevre Etkilerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 93 s.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Qiu J R, Li F, Zheng Y, Zheng C G and Zhou H C** (1999) The influences of mineral behaviour on blended coal ash fusion characteristics. *Fuel*, 78: 963-969.
- Rubiera F, Arenillas A, Fuente E, Miles N and Pis J J** (1999) Effect of the grinding behaviour of coal blends on coal utilisation for combustion. *Powder Technology*, 105: 351–356.
- Su O** (2003) Kömürün Dayanım Özellikleri İle Öğütülebilirliği Arasındaki İlişkilerin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 116 s.
- Su S, Pohl J H and Holcombe D** (2003) Fouling propensities of blended coals in pulverized coal-fired power station boilers. *Fuel*, 72: 1653–1667
- Su S, Pohl J H, Holcombe D and Hart J A** (2001a) Slagging propensities of blended coals. *Fuel*, 80: 1351-1360.
- Su S, Pohl J H, Holcombe D and Hart J A** (2001b) Techniques to determine ignition, flame stability and burnout of blended coals in p.f. power station boilers. *Progress in Energy and Combustion Science*, 27: 75–98.
- Tekir U** (2004) Kömür Özelliği Değişiminin Termik Santral Verimine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi (yayımlanmamış), DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir, 110 s.
- Ural S** (1999) Afşin-Elbistan Linyitlerinin Sınıflandırılarak Termik Santralin Performansı Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması. Doktora Tezi (yayımlanmamış), ÇÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Adana, 152 s.
- URL-1** (2007) <http://80.251.40.12/~kavusan/komlab.html>, AÜ Mühendislik Fakültesi, Doç Dr Gültekin Kavuşan Kömür Jeolojisi Ders Notları, 02 Şubat 2007.
- Vuthaluru H B, Brooke R J, Zhang D K and Yan H M** (2003) Effects of moisture and coal blending on Hardgrove Grindability Index of Western Australian coal. *Fuel Processing Technology*, 81: 67– 76.
- Zhong Z, Ooi J Y and Rotter J M** (2005) Predicting the handlability of a coal blend from measurements on the source coals. *Fuel*, 84: 2267–2274.

BİBLİYOGRAFYA

- Agus F and Waters P** (1971) Determination of the grindability of coals, shales and other minerals by a modified Hardgrove-machine method, *Fuel*, Vol. 50, pp. 405-431.
- Baxter L and Dora L** (1992) The combustion behaviour of a blend of eastern and western coals: comparison between a blend and its individual componenets. *Proceeding of the International Power Generation Conference*, Atlanta, USA, ASME paper no. 92-JPGC-FACT 14.
- Meintjes A A** (1965) The grindability and abrasive properties of South African coals, *J. South African. Inst. Min. Metal*, July, pp. 629-641.
- Meriçboyu A E, Beker Ü G ve Küçükbayrak S** (1998) Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli Özellikleri, *Kömür Özellikleri Teknolojisi ve Çevre ilişkileri*, ed. O. Kural, İstanbul, s. 149-163.
- Pişkin S** (1988) Kömürün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri, *Kömür Kimyası ve Teknolojisi*, ed. O. Kural, İstanbul, s. 59-88.
- Riley J T, Gilleland S R, Forsythe R F, Graham H D and Hayes F J** (1989) Non-additive analtical values for coal. *Proceedings of the seventh international conference on coal testing*, Charleston, WV, USA.
- Şeyler C A** (1908) Composition and Analysis of Coal. *Practical Coal Mining*, ed. W.S.Boluten, Chapter 2, Vol. 1, London, pp. 69-94.
- Tripodi R A and Cheremissinof** (1980) *Coal ash disposal solid waste impacts*, Technomic Publishing Company, pp. 11-26.
- Vecci S J and Moore G F** (1978) Determine coal grindability, *Power*, 74 p.

ÖZGEÇMİŞ

Duygu DURGUN 1981’de Ankara’da doğdu. İlköğreniminin ardından orta ve lise öğrenimini TED Ankara Koleji’nde tamamladı. 2000 yılında başladığı Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği bölümünden 2004 yılında onur derecesiyle mezun oldu. 2005 yılında çalışmaya başladığı EÜAŞ Çatalağzı Termik Santralindeki görevini ve ZKÜ Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’ndaki yüksek lisans programını sürdürmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres: Elektrik Üretim A.Ş.
Çatalağzı Termik Santrali İşletme Müdürlüğü, Işıkveren
67160 ZONGULDAK

Tel: (372) 264 30 50
Faks: (372) 264 24 21
E-posta: duygudurgun81@yahoo.com
Web adres: www.catestermik.com