

**EREN ENERJİ ZONGULDAK TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN YANMAMIŞ
KARBON BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**2013
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

MEHMET BİLEN

**EREN ENERJİ ZONGULDAK TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN YANMAMIŞ
KARBON BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

Mehmet BİLEN

**Bülent Ecevit Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Maden Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**ZONGULDAK
Temmuz 2013**

KABUL:

Mehmet BİLEN tarafından hazırlanan "EREN ENERJİ ZONGULDAK TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN YANMAMIŞ KARBON BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ" başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir. 26/07/2013

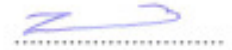
Başkan: Prof. Dr. Sait KIZGUT (BEÜ)



Üye : Prof. Dr. Ayhan Ali SİRKECİ (İTÜ)



Üye : Prof. Dr. İhsan TOROĞLU (BEÜ)



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. .../.../2013



Prof. Dr. Özden ÖZEL GÜVEN
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.”


Mehmet BİLEN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

EREN ENERJİ ZONGULDAK TERMİK SANTRALİ KÜLLERİNİN YANMAMIŞ KARBON BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet BİLEN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Sait KIZGUT

Temmuz 2013, 95 sayfa

Termik santrallerde kömüre dayalı elektrik üretimi enerji üretiminin kısa vadede en uygun ve en ekonomik yolu olarak gözükmektedir. Kömür, yapısı itibariyle bünyesinde karbon haricinde tedarik edildiği sahaya göre değişik mineraller, dolayısıyla değişik miktarda yanabilir maddeler içermektedir. Bu çalışmada pulverize kömür yakılmasıyla enerji üreten santralde yanmamış karbon ve nedenleri araştırılmıştır. Santral sahasının beş ayrı noktasından alınan örneklerle öğütülen pulverize kömürün öğütülme derecesinin ve boyut dağılımının yanmaya ve yanmamış karbon miktarına etkileri hakkında çıkarım yapılmaya çalışılmıştır. Stabil olarak tek tip kömürün kullanıldığı belirlenmiş üç günlük dönemde her vardiyaya ait değirmen girişi, değirmen çıkışı, uçucu kül, ve taban külünden, ve kömür stok sahasından alınan örnekler üzerinde çalışılarak bulgular elde edilmiştir. Bu bulgular termik santrallerde yanmamış karbon kaynaklı sorunları ve nedenlerini azaltabilmek açısından faydalı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Termik santral, yanmamış karbon, pulverize kömür

Bilim Kodu: 607.01.02

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EVALUATION OF UNBURNED CARBON IN EREN ENERGY ZONGULDAK COAL FIRED PLANT ASHES

Mehmet BİLEN

Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mining Engineering

Thesis Advisor: Prof. Sait KIZGUT

July 2013, 95 pages

The most convenient and economical way of energy production for near future seems to be coal fired power stations. Coal having a rather complicated structure is composed of variety of organic matters and variable amounts of ash forming minerals depending on the area where it is deposited, that is why coal has different amounts of reactive matters in its structure. In this study unburned carbon from pulverized coal fired power plants and its reasons are researched. With the samples from 5 different points of power station, effects of grinding level of pulverized coal and effects of size distribution of ground coal on the combustion and amount of unburned carbon were investigated. For each shift, Pulverized coal samples from mill output, samples of fly ash and bottom ash samples, and samples of coal entering to mill, and one representative sample from coal stockpile are taken for 3 days of stable plant operation with one type of coal. These samples were analyzed and results would be helpful to decrease the problems related to unburned carbon and reasons of them.

Keywords: Thermal power station, unburned carbon, pulverized coal

ABSTRACT (continued)

Science Code: 607.02.08

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesi, kapsamının ayrıntılandırılması, sonuçların yorumlanmasında çok değerli katkı ve yönlendirmeleri için tez danışmanım Prof. Dr. Sait KIZGUT'a içtenlikte teşekkür ederim.

Çalışma süresince değerli katkılarını esirgemeyen Prof. Dr. Ali Ayhan SİRKECİ, Prof. Dr. İhsan TOROĞLU ve Doç. Dr. Dilek ÇUHADAROĞLU'na; çalışmanın tüm aşamalarında destek ve yardımları için Arş. Gör. Barış AKKAYA'ya Uzm. Serdar YILMAZ'a ve her zaman desteğini esirgemeyeceğini bildiğim Arş. Gör. Candan ALPTEKİN'e; maddi destek sağlayan BEÜ ÖYP Araştırma Projeleri Birimi'ne; EREN ENERJİ bünyesinde bulunan saygıdeğer arkadaşlarıma ve yönetimine; yaşamı boyunca maddi ve manevi her konuda desteklerini gördüğüm ailemin tüm fertlerine en kalbi duygularıyla teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor).....	xiii
ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor).....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xviii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.....	5
KÖMÜR VE ENERJİ.....	5
2.1 KÖMÜRÜN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI.....	5
2.1.1 Kömürleşme.....	5
2.2 DÜNYA KÖMÜR ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ.....	8
2.2.1 Dünya Kömür Rezervleri.....	10
2.2.2 Dünya Kömür Üretimi.....	12
2.2.3 Dünya Kömür Tüketimi.....	13
2.3 TÜRKİYE’DE KÖMÜR ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ.....	15
2.3.1 Türkiye’de Kömür Tüketimi.....	18
BÖLÜM 3.....	21
KÖMÜR YAKMA SİSTEMLERİ VE KÖMÜR YANMA ÜRÜNLERİ.....	21
3.1 KÖMÜR YAKMA SİSTEMLERİ.....	21
3.1.1 Izgara Üzerinde Yakma Sistemleri.....	22
3.1.1.1 Sabit Izgara Üzerinde Yakıt Yatağında Yakma.....	22
3.1.1.2 Sabit Izgara Üzerinde Akışkan Yatakta Yakma.....	23
3.1.2 Toz Halinde (Pulverize) Yakma.....	25
3.1.2.1 Süperkritik Koşullarda Çalışan Pulverize Kömür Yakma Sistemi.....	26
3.1.3 Siklon Fırınlarda Yakma.....	28
3.2 KÖMÜR YANMA ÜRÜNLERİ.....	28
3.2.1 Uçucu Küller.....	29
3.2.1.1 Elektrostatik Filtreler.....	32
3.2.1.2 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları.....	33

3.2.2 Yatak Külleri	36
3.2.2.1 Yatak Külü Kullanım Alanları	37
BÖLÜM 4	39
YANMAMIŞ KARBON ÖZELLİKLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ	39
4.1 FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	40
4.2 YANMAMIŞ KARBONUN KULLANIM ALANLARI	43
BÖLÜM 5	45
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	45
5.1 METODOLOJİ	45
5.2 STOK SAHASINDAN ALINAN KÖMÜR ÖRNEĞİ ÇALIŞMALARI	49
5.2.1 Elek Analizi	50
5.2.2 Kısa Analiz	50
5.2.3 Yüzdürme Batırma Testleri	51
5.3 DEĞİRMEN GİRİŞLERİNDEN ALINAN KÖMÜR ÖRNEĞİ ÇALIŞMALARI	53
5.4 DEĞİRMEN ÇIKIŞLARINDAN ALINAN KÖMÜR ÖRNEĞİ ÇALIŞMALARI	56
5.5 UÇUCU KÜL ÖRNEKLERİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR	61
5.5.1 Uçucu Külde Yanmamış Karbon İle Pulverize Kömür Boyut İlişkileri	67
5.6 YATAK KÜLÜ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR	76
5.6.1 Yatak Külü Yanmamış Karbon İle Pulverize Kömür Boyut İlişkileri	77
5.7 PETROGRAFİK ANALİZLER	84
5.7.1 Stok Sahasından Alınan Kömür Örneğindeki Petrografik Çalışmalar	84
5.7.2 Uçucu Külde Petrografik Çalışmalar	86
5.7.3 Yatak Külüde Petrografik Çalışmalar	86
BÖLÜM 6	89
SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	89
KAYNAKLAR	93
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1	2009 Yılı dünya birincil enerji arzı kaynak payları 9
2.2	Enerji kaynaklarına göre dünya elektrik üretimi (TWh). 9
2.3	Dünya kömür rezervlerinin kömür kategorilerine göre dağılımı 10
2.4	Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı 11
2.5	Dünya kömür üretimi 12
2.6	Ülkelere göre 2010 yılı dünya taşkömürü üretimleri 13
2.7	Ülkelere göre 2010 yılı dünya linyit üretimleri 13
2.8	Ülkelere göre 2011 yılı dünya kömür tüketimi..... 14
2.9	Dünya elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı 15
2.10	Çeşitli ülkelerde elektrik üretiminde kömürün payı 15
2.11	Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretim miktarları (ton 16
2.12	Yıllara göre Türkiye linyit üretim miktarları (bin ton)..... 16
2.13	Ülkemiz birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı 17
2.14	Ülkemiz birincil enerji üretiminin kaynaklara dağılımı 17
2.15	Ülkemiz birincil enerji ithalatının kaynaklara dağılımı 18
2.16	Kömür arzının sektörlere göre tüketim dağılımı..... 19
2.17	Türkiye 2011 sonu elektrik kurulu gücünde kaynakların payı. 19
2.18	Türkiye 2011 yılı brüt elektrik üretiminde kaynakların payı..... 20
3.1	Endüstride kömür yakma sistemleri 21
3.2	Sabit ızgara üzerinde yakıt yatağında yakma 23
3.3	Sabit ızgara üzerinde akışkan yatakta yakma 24
3.4	Hareketli ızgara üzerinde yakma 24
3.5	Pulverize kömür yakma teknolojisi. 26
3.6	Pulverize yakma teknolojisinde superkritik ve subkritik koşullarda çalışma..... 27
3.7	Kömür yakma ürünlerinin yıllık üretimine ilişkin bir örnek 29
3.8	Uçucu Külün Görünüşü. 30

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
3.9 Uçucu Kül Tanecik Kesiti.....	31
3.10 Elektrostatik filtre ve uçucu kül tahliyesi	32
3.11 Uçucu kül ve agreganın uyumu.	34
3.12 Yatak külü.....	36
4.1 C tipi külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri($180 < d < 355 \mu\text{m}$).....	40
4.2 C tipi külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri ($d < 45 \mu\text{m}$).....	40
4.3 F Tipi külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri ($180 < d < 355 \mu\text{m}$).....	41
4.4 Küresel tanecikler ve ufalanmış tanecikler.....	41
4.5 Gözenekli tanecikler.....	42
4.6 Köpük tanecikler.....	42
4.7 Ufalanmış tanecikler.....	43
5.1 Eren Enerji Termik Santrali.....	45
5.2 Eren Enerji termik santrali akım şeması ve numune alma noktaları.....	47
5.3 Malvern Mastersizer S 2000 cihazına ait bir görünüm.....	48
5.4 Boyut analiz cihazının basitleştirilmiş çalışma teorisi.....	48
5.5 Hazırlanan pulverize kömür numunelerine ait bir görünüm.....	57
5.6 Örnek bir numunenin Malvern Mastersizer S 2000 ekran çıktısı.....	58
5.7 Bir numunenin örnek bir boyut dağılımına ait elde edilen elekaltı eğrisi	59
5.8 Uçucu kül numunelerinin alındığı yerler	62
5.9 Analizler için kullanılan fırına ait bir görüntü	63
5.10 Hazırlanan uçucu kül örneklerine ait bir görünüm	63
5.11 2. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	68
5.12 2. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	69
5.13 2. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	70
5.14 2. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	71
5.15 2. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	71
5.16 3. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	72
5.17 3. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	73
5.18 3. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	74
5.19 3. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	75
5.20 3. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.	76

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
5.21 2. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	78
5.22 2. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	78
5.23 2. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	79
5.24 2. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	80
5.25 2. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	80
5.26 3. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	81
5.27 3. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	82
5.28 3. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	82
5.29 3. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	83
5.30 3. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi. ...	84
5.31 Stok Sahası numunelerinin mikro fotoğrafları.....	85
5.32 Uçucu Kül numunelerinin mikro fotoğrafları.....	86
5.33 Yatak külü numunelerinin mikro fotoğrafları.....	87

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
2.1 Uluslararası genel kömür sınıflandırması (TKİ 2010).....	7
2.2 Çeşitli ranklarda (Kömürleşme derecesi) kömür özellikleri (TKİ 2010).	8
3.1 Uçucu küllerin inşaat sektörü ile ilişkili uygulamaları (Volkan 2006).....	35
3.2 Uçucu kül ve yatak küllerinin fiziksel özellikleri (Volkan 2006).	37
5.1 Üniteler için numune alma noktaları ve numune alma sıklıkları.....	46
5.2 Elek analiz sonuçları.....	50
5.3 Stok sahasından alınan kömürün kısa analiz sonuçları.....	51
5.4 Stok sahasından alınan kömür numunesinin yüzdürme-batırma testleri sonuçları.....	52
5.5 Stok sahasından alınan kömür numunesinin hesaben birleştirilmiş yüzdürme yüzdürme batırma test sonuçları.....	52
5.6 Değirmen Girişinden alınan örneklerin nem ve kül analizleri.....	54
5.7 Değirmen girişi numunelerinin elek analiz sonuçları.....	55
5.8 Değirmen çıkışı numunelerinin örnek bir vardiyaya ait analiz sonuçları.....	56
5.9 2. Ünitenin ortalama boyut parametre sonuçları.....	60
5.10 3. Ünitenin ortalama boyut parametre sonuçları.....	61
5.11 2. Üniteye ait uçucu Kül örneğinin yanmamış karbon analiz sonuçları.....	64
5.12 2 Üniteye ait uçucu kül silosundan alınan örneklerin yanmamış karbon analiz sonuçları.....	65
5.13 3. Üniteye ait uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon analiz sonuçları.....	66
5.14 3. Ünite ait uçucu kül silosundan alınan örneklerin yanmamış karbon analiz sonuçları.....	67
5.15 2. ve 3. Ünitelerin yatak külleri yanmamış karbon sonuçları.....	77
5.16 Numunenin petrografik analiz sonuçları.....	85

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

cm	: Santimetre
d	: Tanecik boyutu
D_i	: Partikül tane boyutu
D01	: Numunenin %10'unun geçtiği boyut (μm)
D05	: Numunenin %50'unun geçtiği boyut (μm)
D09	: Numunenin %90'unun geçtiği boyut (μm) (μm)
D32	: Hacim-yüzey ortalama çap (Sauter ortalaması)
D43	: Hacim-ağırlık ortalama çap (DeBroukere ortalaması)
h	: Saat
g	: Gram
KW	: Kilowatt
kcal	: Kilokalori
kg	: Kilogram
MW	: Megawatt
MWe	: Megawatt elektrik
MJ	: Megajoule
Mtpe	: Milyon ton petrol eşdeğeri
MPa	: Mega Pascal
mm	: Milimetre
m^3	: Metreküp
mt	: Metrik ton
R^2	: Regresyon katsayısı
t	: Ton
tep	: Ton eşdeğer petrol
TWh	: Terawatt saat
v_i	: Partikül hacmi
$^{\circ}\text{C}$: Derece, Celcius
ΔP_0	: İlk basınç farkı

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

μm : Mikrometre

KISALTMALAR

ASTM: Uluslararası standartlar

BGD : Baca gazı desülfürizasyonu

ESP : Elektrostatik filtre

EÜAŞ : Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi

PKY : Pulverize kömür yakma

SEM : Taramalı elektron mikroskobu

TS : Türk Standartları

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Enerji, gündelik hayatımızın vazgeçilmezi ve yaşam döngümüze birçok anlamda etki eden hareket ve iş yapma yeteneğiyle beraber tetikleyici kuvvet olarak çoğu sistemin çalışmasında başvurulan bir araçtır. İnsanlık ateşin bulunuşunun ardından ısınma ihtiyacını karşılamak için enerji ile tanışmış ve ateşi kullanarak elde ettiği enerjiyi çeşitli alanlarda kullanmaya başlamıştır. Bu ve buna benzer yollarla enerji elde eden insanlık günümüzde gelişen teknolojiyle çeşitli alternatiflerle enerji elde etmekte ve bu enerjiyi dönüşümlerle ihtiyaç duyulan yerlere ileterek ihtiyaç olduğu şekliyle kullanma yollarında adım adım ilerlemektedir. Bilinen ilk anlamda enerji eldesi gerek bitkisel gerek fosil kaynakların yakılmasıyla elde edilse de günümüzde de bu kurgu olarak değişmemiş ancak çevresel anlamda veya sistem anlamında çok yol alınmıştır.

Termik santrallerde çoğunlukla kullanılan fosil yakıt olan kömür, kimyasal enerjiyi bünyesinde barındıran malzemedir. Kömürün barındırdığı kimyasal enerji yakma sonunda enerji ara iletim maddesine aktarılır. Bu enerji ara iletim malzemesi sudur ve kimyasal reaksiyonla açığa çıkan enerji buharla, yüksek sıcaklık ve yüksek basınçla (iş yapabilme yeteneği yükseltilmiş olarak) son enerji dönüşümünün olacağı merkeze iletilir. Buhar, türbin denilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren merkezde iş yapabilme yeteneği azaltılarak ve turbine mekanik enerji kazandırılarak görevini yapmış olur. Mekanik enerji, dönen türbinde manyetik alanın etkisiyle elektrik akımı oluşturmaya ve elektrik enerjisine dönüşmeye başlar. Transformatörlerle de oluşan elektrik enerjisi sarım sayısıyla potansiyeli yükseltilerek iletim hatlarına verilir.

Termik santrallerde yanmamış karbon, kömürde depolanan kimyasal enerjinin tam olarak iletim ara maddesine verilmemesiyle oluşan kısımdır ve bu kimyasal enerjiden tam olarak faydalanılamaması anlamına gelmektedir. Yanmamış karbon miktarı gerek uçucu külde gerekse kazan altı küllerde yanma rejimine ve yanma verimliliğine bağlı olarak

değişmektedir. Yanmamış karbonun küllerin bünyesinde bulunması hem işletme olarak termik santralin elde edilebilecek nihai enerji miktarında bir kayıp hem de küllerin değerlendirilebilirliği anlamında bir yetersizlik olarak ortaya çıkmaktadır.

Külde yanmamış karbon yakma teknolojisi olarak değişik teknolojilerde açığa çıktığı gibi pulverize kömür yakan santrallerde de görülmektedir. Yanma teknolojilerinde iyileşme ile azaltılmaya çalışılsa da halen günümüzde çoğu santralin gündeminde olan ve çözülmesi amacıyla çalışmaların sürdürüldüğü bir problemdir. Pulverize kömür yakılarak enerji eldesinde kazana beslenen kömür tane boyutu ve boyut dağılımı düşünüldüğünde daha iri boyutta besleme yapıldığında, külde yanmamış karbon içeriğinin artması daha muhtemel olarak görünmektedir. Kömür tipindeki farklılık ve kömürün kendi içinde homojen olmayan yapısının etkisinin olabildiğince düşürülmeye çalışıldığı ve serbestleşmenin nispeten daha fazla sağlandığı teknoloji olan pulverize yakma teknolojisi; yanmanın hangi boyutlarda yapılmasının optimizasyonu ile daha da önem kazanacak, değirmen verimi değirmen performansı ve yanma arasındaki ilişki daha kolay anlaşılacaktır.

Enerji sektöründe kömür kullanımı, maliyet açısından kısa vadede en ideal enerji kaynağı olarak gözükmektedir. Tesislerde enerji ihtiyacı, kimyasal işlemlerde buhar kullanma gereksinimi ve diğer nedenler günümüzde tesislerin bir enerji santrali isteğini ve büyüyen bir sektör olarak görülen enerji sektöründen pay alma isteklerini canlandırmaktadır. Enerji bağımlılığı olan ülkemizde bu gereksinim daha da önem arz etmektedir. Termik santral teknolojilerinde çok ilerlenmiş olması ve çevresel anlamda iyiye giden gelişmeler termik santralin hala enerji sektöründe yerini koruyan bir alternatif olmasını sağlasa da aynı zamanda bu teknolojilerle arıtmaya ayrılan bütçenin günden güne artması ve bu konuda yaptırımların sertleşmesi yenilenebilir enerji alternatiflerini de gündemde tutmaktadır. Termik santrallerde verim de gelişen teknolojilerle artmış özellikle enerji dönüşümleri arasındaki enerji kaybını azaltan ve oluşan buharı ve çürük buharı kullanmaya yönelik alternatifler termik santral için iyi gelişmeler olarak görülmelidir.

Tez kapsamında, EREN ENERJİ Zonguldak termik santralinin pulverize yakma teknolojilerine sahip 2. ve 3. ünitelerinden numuneler alınmıştır. Bu tez ile incelenen termik santralin 5 farklı noktasından alınan numunelerle yapılan çalışmaların ışığında sistemin kendi iç değerlendirmesi yapılmış, sistem üzerinde kömür besleme boyutunun etkisi araştırılmış ve külde yanmamış karbonun nedenleri ve bunun öncü olduğu sorunlar araştırılmıştır. Yakma

teknolojisi olarak pulverize kömürün yakıldığı kömüre dayalı termik santralin 2 ünitesinden de 9 vardiya boyunca ünitelerin 5 değişik noktasından numuneler alınmıştır. Alınan numunelerin analiz edilmesiyle sistemin değerlendirilmesi yapılmıştır. Külde yanmamış karbonun değişen miktarlarının hangi aşamanın değişmesiyle ortaya çıktığını anlamak mümkün hale gelmiştir. Stok sahasından alınan numunelerle kömür karakterize edilmiş ve kömüre ait kısa analizler yapılmıştır. Değirmen girişlerinden alınan numunelerin boyut dağılımları kül ve nem içerikleri belirlenmiştir. Değirmen çıkışlarından alınan öğütülmüş kömür örneklerinin Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla boyut dağılımları belirlenmiş ve bu analizlerden elde edilen değerler yanmamış karbon içerikleriyle kıyas edilmiştir. Uçucu kül numunelerinin yanmamış karbon içerikleri belirlenmiştir. Uçucu kül numunelerinin petrografik analizleri yapılarak yanmamış karbon gözlemlenmiştir. Yatak külleri öğütülerek yanmamış karbon içerikleri belirlenmiş ve petrografik olarak incelenmiştir. Bu açıdan tez kapsamında yapılan çalışmalarla kömüre dayalı bir termik santral, sistemin başlangıç noktasından çıkış noktasına kadar izlenmiş ve önemli bir sorun olan yanmamış karbon konusuna bilimsel bir yaklaşım getirilmeye çalışılmıştır. Tez kapsamında yapılan çalışmalarla, sistem parametreleri giriş değerleri ile çıkış değerlerinin mukayesesi literature önemli bir katkı sunacaktır.

Tez konusu, yanmamış karbonun beslenen pulverize kömür boyutuyla ilişkilendirilmesi üzerine temellidir. Termik santrallerde önemli bir sorun ve gözardı edilemeyecek bir kayıp olan yanmamış karbon konusu üzerine odaklanılmıştır. Yanmamış karbonun nedeni olabilecek pulverize kömür boyutu irdelenmiştir. “Kazana beslenen kömür boyutunun ne olması gerekir ki, külde yanmamış karbon miktarı en az olsun” sorusu cevaplanmaya çalışılmıştır. Böylelikle öğütme üniteleri ile kazan arasında veya kazan içerisinde belli boyutlarda beslenen kömürün davranışı hakkında bilgilere ulaşılmıştır. Kazana besleme yapılan 24 ayrı noktaya ait bütün numunelerle çalışılması, yanma odasında veya yanmada varsayımların ötesine geçilmesini olanaklı kılacaktır. Kapsam iki üniteyle genişletilmiş ve bulguların desteklenmesi kolaylaşmıştır.

Termik santraller bir çok parametrenin aynı anda etkili olduğu karmaşık bir sistem olması yönüyle çalışmaların ilişkilendirilmesi zor olmaktadır. Ancak deneysel çalışmalarda olabildiğince termik santral yakma sistemlerine benzetilmeye çalışılan deney düzenekleriyle yanma daha iyi karakterize edilme şansı bulmuştur. Belli varsayımlarla gerçekleştirilen

deneylerde sistem üzerinde varsayımların etkisi azaltıldığı ölçüde sistemi anlamak kolaylaşmaktadır.

Günümüzde enerji teknolojilerinde, termik santraller en uygun enerji alternatifi olarak gözükmekte ve enerji eldesinde kayıpların azaltılması kısa ve uzun vadede birçok anlamda fayda sağlamasından dolayı konu önem arz etmektedir. Son yılların ivmeli bir şekilde büyüyen bir sektör olan enerji sektörü ve enerji sektörünün en bilindik uygulanabilir yolu olan termik santral üzerine yapılan çalışmalar sayesinde gerek çevre açısından gerek sistem verimliliği açısından çok yol alınmıştır. Yapılan çalışmalarla ve bu çalışmayla sistem parametreleri daha iyi bir şekilde gözlemlenecek ve sistem içindeki manipulasyonlarla sistemin net verimi iyileşecek, her sürecin az ya da çok zarar verdiği çevremizin süreçten daha az etkilenmesi olanaklı hale gelecektir.

BÖLÜM 2

KÖMÜR VE ENERJİ

2.1 KÖMÜRÜN TANIMI VE SINIFLANDIRILMASI

Kömür; homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla karbon (C), az miktarda hidrojen (H), oksijen (O), kükürt (S) ve azot (N) elementlerinin bulunduğu, inorganik maddeleri de içeren, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında, yanabilen, katı fosil organik kütledir.

Kömürler yakıt hammaddesi oldukları gibi, kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi değişik alanlarda da kullanılırlar. Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun (nemli ve sıcak iklimin bulunması, yeterli organik maddenin ortama gelmesi, bataklık suyunun pH şartlarının 4-5 civarında bulunması, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökmesi, bataklığın zamana bağlı olarak örtülmesi gibi) şartların sağlanması durumunda, bitki parçalarının bozulması, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler.

2.1.1 Kömürleşme

Bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökelir ve jeolojik işlevlerle birlikte yer altına gömülürler. Bu organik kütleler, yerin altında, önce gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonra ise ortamın ısı şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan bu organik maddeler zamanla daha koyu bir renge ve daha sert bir yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önce (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO₂), oksijen (O₂) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H₂) (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Bu ilerleyen

olgunlaşma sürecine "kömürleşme ("*coalification*")" denilmekte, her bir seviye ise "kömürleşme derecesi" (rank) şeklinde adlandırılmaktadır.

Kömürler; kil, silt, kum ve değişik oranlarda inorganik madde içermektedirler. Kömürlerin içerisinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini negatif yönde etkilerler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar taşıyabilir. Örneğin; kok imalinde, koklaşma özelliği olan yani şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürler kullanılır. Yakıt hammaddesi olarak kullanılacak olan kömürde en fazla aranan özellik ise yüksek ısı değere sahip olmasıdır.

Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çeşitlilik gösterirler. Bu durum, birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır.

Kömür üretimi, kullanımı ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi, uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir. Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelere üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu'nca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak, kömürler taşkömürü ve kahverengi (alt-bitümlü ve linyit) kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır:

Taşkömürü

- a) Koklaşabilir Kömür: Yüksek fırınlarda kullanılabilir kalitede koklaşma özelliğine sahiptir. Metalurjik kömür olarak da adlandırılır.
- b) Diğer bitümlü kömürlerle Antrasit: Koklaşabilir kömür olarak sınıflandırılmayan kömürlerdir.

Kahverengi kömürler

- a) Yarı bitümlü kömür: 17-24 MJ/kg (4.165-5.700 Kcal/kg) arasında kalorifik değere haiz olan kömürdür.
- b) Linyit: 17 MJ/kg (4.165 Kcal/kg) altında kalorifik değere haiz olan kömürdür.

Uluslararası genel kömür sınıflandırması Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1 Uluslararası genel kömür sınıflandırması (TKİ 2010).

A. Taşkömürü (Hard Coal)	B. Kahverengi Kömür (Brown Coal)
1. Koklaşabilir kömür (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1. Alt bitümlü kömür (4.165-5.700 Kcal/kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2. Koklaşmayan kömür a- Bitümlü kömürler b- Antrasit	2. Linyit (4.165 Kcal/kg’ın altında ısı değerinde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Uluslararası kabul gören diğer bir sınıflama da Kömür Rank Sınıflamasıdır (Kömürleşme Derecesi Sınıflaması). Bu sınıflamada karbon içeriği temel değişkendir. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde uçucu madde içeriği, düşük kömürleşme derecesine sahip kömürlerde ise kalorifik değer baz alınarak sınıflandırma yapılmıştır. Çizelge 2.2’de kömür rank sınıflaması ve özellikleri verilmektedir (TKİ 2010).

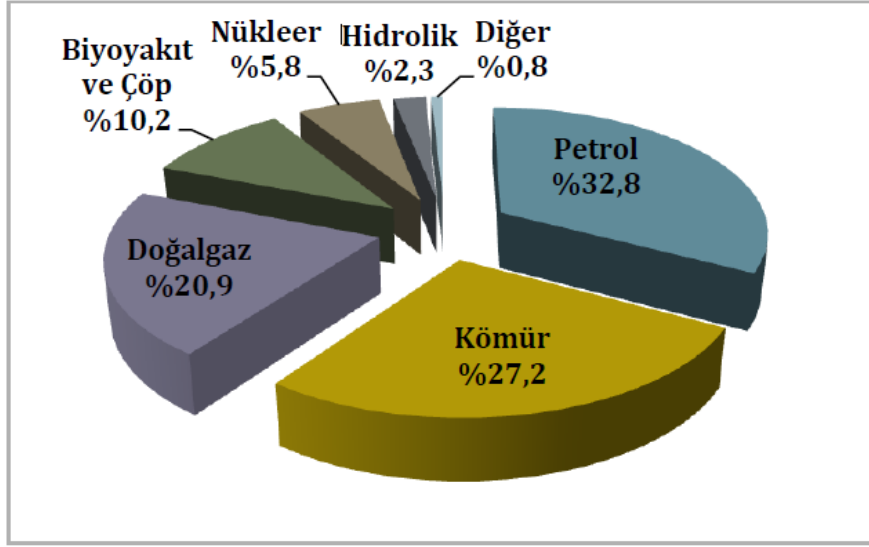
Çizelge 2.2 Çeşitli ranklarda (Kömürleşme derecesi) kömür özellikleri (TKİ 2010).

Rank (Kömürleşme Derecesi)	Uçucu Madde İçeriği (% Ağırlık, yaş- külsüz)	Karbon içeriği (% Ağırlık, yaş- külsüz)	Kalorifik değer (Btu/Lb, Mineral maddesiz)	Nem içeriği (% Ağırlık)
1. Linyit	69-44	76-62	8.300-6.300	52-30
2. Alt Bitümlü	52-40	80-71	11.500-8,300	30-12
3. Bitümlü				
a) Yüksek uçuculu-B	50-29	86-76	13.000-10.500	15-2
b) Yüksek uçuculu-C				
c) Yüksek uçuculu-A	49-31	88-78	14.000	5-1
d) Orta uçuculu	31-22	91-86	14.000	5-1
e) Düşük uçuculu	22-14	91-86	14.000	5-1
4. Antrasit	14-2	99-91	14.000	5-1

2.2 DÜNYA KÖMÜR ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ

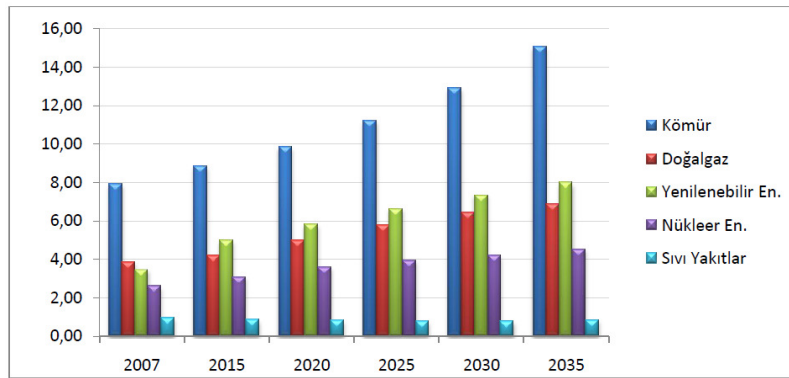
Dünya birincil enerji arzı 1973 ve 2009 yılları arasındaki 36 yılda yaklaşık iki kat artarak 2009 itibariyle 12.150 milyon ton eşdeğer petrol (tep) düzeyine ulaşmıştır. Söz konusu dönemde; petrolün payı %46'dan %32,8'e düşerken, doğal gazın payı %16'dan %20,9'a, nükleer enerjinin payı %0,9'dan %5,8'e ve hidrolik dahil yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %1,9'dan %3,1'e yükselmiştir Şekil 2.1'de bu dağılım gösterilmiştir (TKİ 2011).

Aynı dönemde kömürün payı ise 2,6 puan artışla %24,6'dan %27,2 düzeyine ulaşmıştır. 2009 yılında dünyadaki kömür arzı toplam 3.305 milyon tep olarak gerçekleşmiştir. Şekil 2.1'de 2009 Yılı dünya birincil enerji arzı kaynak payları yer almaktadır.



Şekil 2.1 2009 Yılı dünya birincil enerji arzı kaynak payları (TKİ 2011).

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından, günümüzde mevcut politikaların sürdürüleceği varsayımına göre yapılan tahminlerde; dünya birincil enerji arzının 2009 yılına göre yaklaşık %50 oranında artış göstererek 2035 yılında 18.048 milyon tep seviyesine yükseleceği, bu miktarın kaynaklara dağılımında önemli farklılıkların olmayacağı, bununla beraber petrolün birinciliği kaybedeceği öngörülmektedir. Buna göre; 2035 yılında en büyük pay %29,3 ile kömürün olacaktır. Kömürü %27,8 ile petrol ve %22,4 ile doğal gaz izleyecektir. Söz konusu yılda; nükleer enerjinin payı %6 ve diğer kaynakların payı ise %14,5 olacaktır. Şekil 2.2’de Enerji kaynaklarına göre dünya elektrik üretimi (TWh) grafik halinde sunulmaktadır.

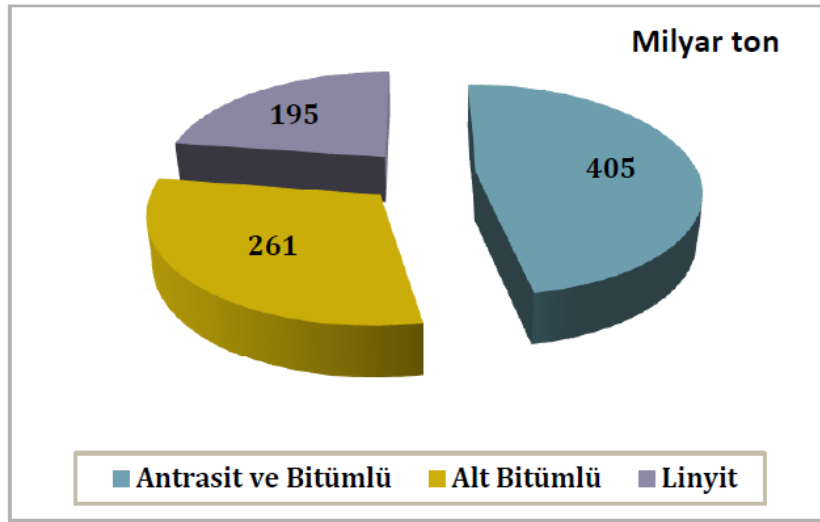


Şekil 2.2 Enerji kaynaklarına göre dünya elektrik üretimi (TWh) (TKİ 2011).

Dolayısıyla, kömürün, dünya enerji bileşimi içerisindeki belirleyici konumunu en azından önümüzdeki 25-30 yıl içerisinde de sürdüreceği öngörülmektedir.

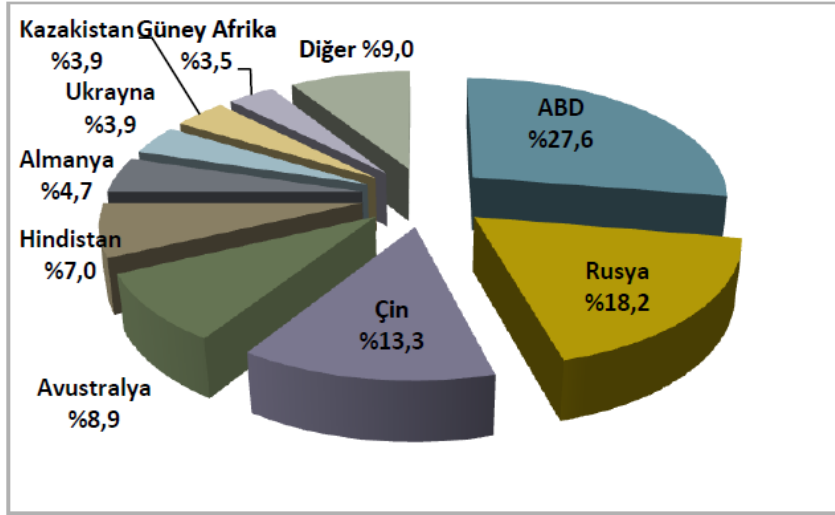
2.2.1 Dünya Kömür Rezervleri

Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 861 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 405 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 261 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 195 milyar tonu ise linyit kategorisindedir. Şekil 2.3'te dünya kömür rezervlerinin kömür kategorilerine göre dağılımı yer almaktadır.



Şekil 2.3 Dünya kömür rezervlerinin kömür kategorilerine göre dağılımı (TKİ 2011).

Dünya Enerji Konseyi tarafından 75 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinden en büyük payı ABD almaktadır. Şekil 2.4'te dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı sunulmaktadır. Toplam rezervin %27,6'sı ABD'de bulunmaktadır. ABD'yi %18,2 ile Rusya Federasyonu ve %13,3 ile Çin izlemektedir. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Avustralya (%8,9), Hindistan (%7), Almanya (%4,7), Ukrayna (%3,9), Kazakistan (%3,9) ve Güney Afrika Cumhuriyeti (%3,5) bulunmaktadır (Şekil 2.4). Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90'dan fazlası bu 9 ülkenin elinde bulunmaktadır (TKİ 2011).



Şekil 2.4 Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı (TKİ 2011).

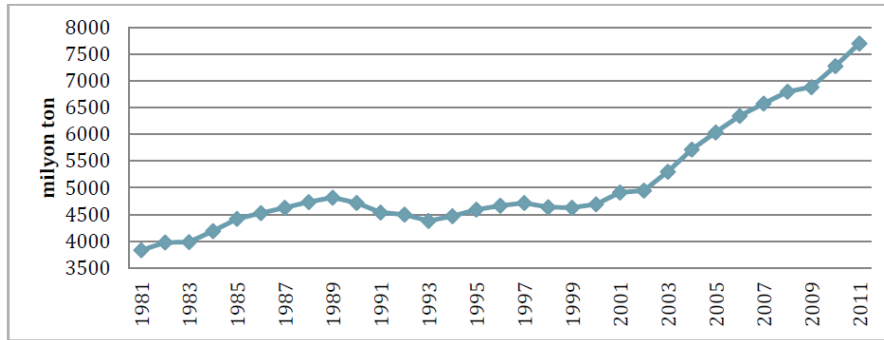
Toplam 195 milyar ton büyüklüğündeki dünya linyit rezervlerinin en büyük bölümü ise %20,8 ile Almanya’da bulunmaktadır. Bu ülkeyi %19,1 pay ile Avustralya ve %15,5 pay ile ABD izlemektedir. Çin (%9,5), Sırbistan (%6,9), Kazakistan (%6,2) ve Rusya (%5,4) geniş linyit rezervlerine sahip diğer ülkeler arasındadır (TKİ 2011). Her ne kadar ülkemiz 2010 yılı linyit rezervi, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 11,8 milyar ton olarak hesaplanmışsa da, kullanılan sınıflandırma sistemindeki farklılıklar nedeniyle Dünya Enerji Konseyi istatistiklerinde Türkiye’nin kanıtlanmış işletilebilir linyit rezervi sadece 1,8 milyar ton olarak yer almaktadır.

Dünya 2011 yılı toplam kömür üretimi dikkate alındığında, küresel kömür rezervlerinin yaklaşık 112 yıl ömrü bulunduğu hesaplanmaktadır (TKİ 2011). Aynı şekilde, dünya linyit rezervlerinin kalan ömürleri ise, 2008 yılı küresel linyit üretimi dikkate alındığında 213 yıldır. Bununla beraber, kömür rezervlerinin kalan ömrünün hesaplanmasında, günümüz koşullarında teknik ve ekonomik bakımdan kazanılabilir olan toplam 861 milyar ton büyüklüğündeki kömür rezervi temel olarak alınmaktadır. Almanya Federal Yer Bilimleri ve Doğal Kaynaklar Enstitüsü’ne göre, günümüz koşullarında henüz teknik ya da ekonomik bakımdan kazanılabilir olmayan 17 trilyon ton taşkömürü ile 4,2 trilyon ton linyit, “kaynak” olarak yerkürede kullanılabileceği zamanı beklemektedir (TKİ 2011).

2.2.2 Dünya Kömür Üretimi

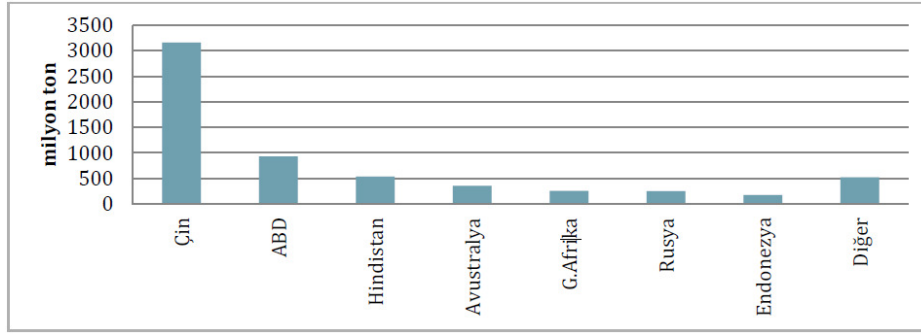
Dünya kömür üretimi son otuz yılda yaklaşık iki kat artmıştır. Kömür üretimindeki artış, başta Çin olmak üzere Asya kıtasındaki elektrik enerjisi talebinden kaynaklanmaktadır. Kömür tüketiminin, gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelere göre daha fazla artmakta oluşunun nedenleri arasında; gelişmekte olan ülkelerde görülen yüksek ekonomik büyüme oranları ve artan elektrifikasyon ile başta Avrupa Birliği olmak üzere gelişmiş ülkelerin elektrik üretiminde giderek daha fazla doğal gazı tercih etmeleri gelmektedir.

Şekil 2.5'te 1981-2011 yılları arasında dünya kömür üretimi rakamları grafik halinde sunulmuştur. Son 12 yıldır kesintisiz artmakta olan küresel kömür üretimi 2011 yılında da bir önceki yıla göre %6,1 artarak 7.695 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TKİ 2011). Söz konusu üretimin yaklaşık %85'i taşkömürü ve %15'i ise linyit kategorisindedir. Böylelikle, dünya kömür üretimi, son on yılda %55 oranında artmış olmaktadır. Son on yıldaki ortalama yıllık artış oranı ise %4,5 düzeyindedir.



Şekil 2.5 Dünya kömür üretimi (TKİ 2011).

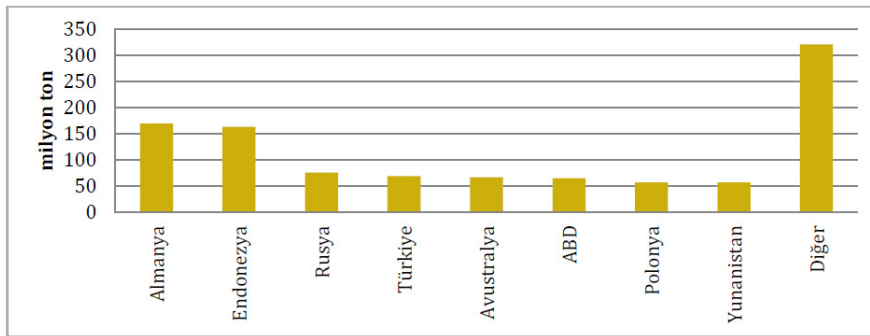
Şekil 2.6'da ülkelere göre 2010 yılı dünya taşkömürü üretimleri sunulmuştur. Toplam 6.186 milyon ton büyüklüğündeki 2010 yılı dünya taşkömürü üretiminin %51'ini (3.162 milyon ton) tek başına Çin gerçekleştirmiştir. ABD'nin payı %15,1 (932 milyon ton), Hindistan'ın payı %8,7 (538 milyon ton) ve Avustralya'nın payı ise %5,7 (353 milyon ton) oranındadır. Bu ülkeleri; Güney Afrika Cumhuriyeti, Rusya Federasyonu ve Endonezya izlemektedir. Bu yedi ülkenin küresel taşkömürü üretimi içindeki toplam payları %90'ın üzerindedir (TKİ 2011).



Şekil 2.6 Ükelere göre 2010 yılı dünya taşkömürü üretimleri (TKİ 2011).

Şekil 2.7'de ülkelere göre 2010 yılı dünya linyit üretimleri sunulmaktadır. Dünya linyit üretimi bir önceki yıla göre %1 artarak 2010 yılında 1.043 milyon ton olmuştur. Bu sınıftaki kömürlerin üretimi gelişmiş ülkelerde hızla düşerken gelişmekte olan ülkelere rekor düzeylerde artmaktadır (TKİ 2011).

2010 yılı dünya linyit üretiminde en büyük pay Almanya'nın olmuştur. Söz konusu yılda Almanya'nın linyit üretimi 169 milyon ton (%16,2) düzeyindedir. Almanya'yı 163 milyon ton ile Endonezya ve 76 milyon ton ile Rusya Federasyonu izlemektedir. 2010 yılı dünya linyit üretiminde ülkemiz 69 milyon tonla dördüncü büyük üretici konumundadır. Avustralya, ABD, Polonya ve Yunanistan da önemli linyit üreticileri arasındadır (TKİ 2011).

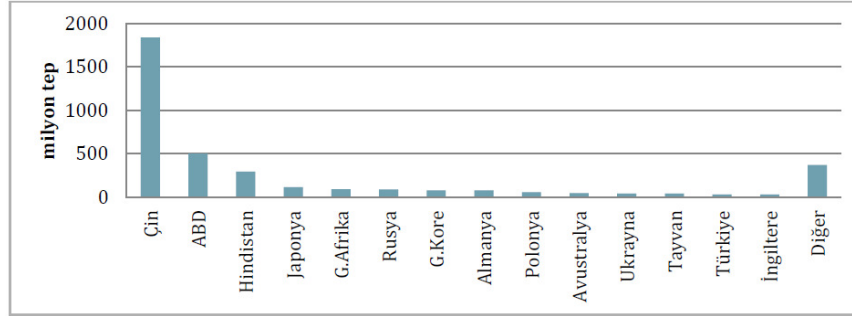


Şekil 2.7 Ükelere göre 2010 yılı dünya linyit üretimleri (TKİ 2011).

2.2.3 Dünya Kömür Tüketimi

Dünya kömür tüketimi, son otuz yılda yaklaşık iki kat artmıştır. Son on yıldaki artış oranı ise %56 düzeyindedir. 2010 yılında 3.532 milyon tep olan dünya kömür tüketimi 2011 yılı sonunda %5,4 oranında artarak 3.724 milyon tep olmuştur. 2011 yılı dünya kömür

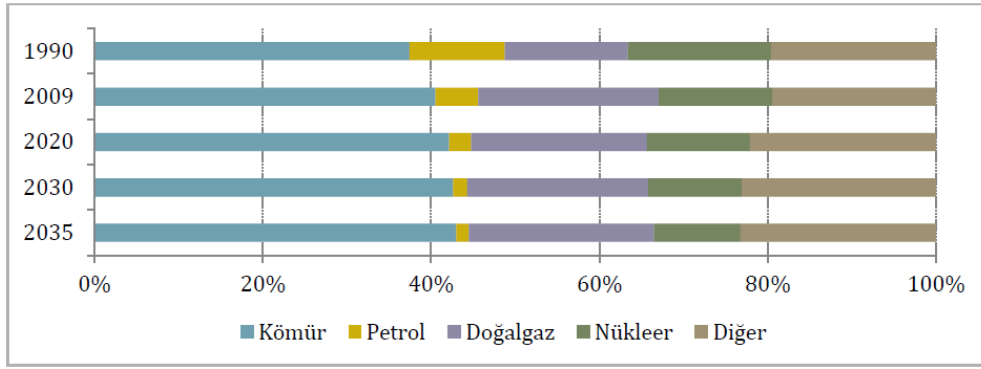
tüketiminin yaklaşık yarısı Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yılda Çin'in kömür tüketimi 1.839 milyon tep olmuştur. Diğer önemli kömür tüketicileri; sırasıyla, ABD, Hindistan, Japonya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Rusya, Güney Kore ve Almanya şeklindedir. Şekil 2.8'de ülkelere göre 2011 yılı dünya kömür tüketimine ait değerler yer almaktadır. Bu sekiz ülkenin küresel kömür tüketimindeki toplam payı %83 oranındadır. Ülkemizin dünya kömür tüketimindeki payı da 32,4 milyon tep ile azımsanmayacak bir düzeydedir (TKİ 2011).



Şekil 2.8 Ünelere göre 2011 yılı dünya kömür tüketimi (TKİ 2011).

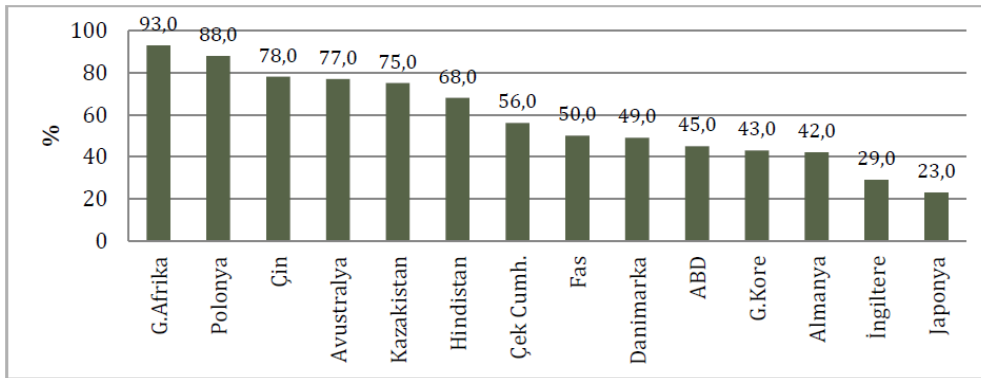
Toplam 6.317 milyon ton düzeyindeki 2010 yılı dünya taşkömürü tüketiminin 879 milyon tonu koklaşabilir kömür ve 5.437 milyon tonu ise buhar kömürüdür. Düşük kaliteli linyit, alt bitümlü kömür ve petrol şeyli tüketimi ise 2010 yılında toplam 921 milyon ton olmuştur.

Dünya kömür üretiminin yaklaşık %65'i elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Diğer kullanımları ise ısınma, demir çelik ve çimento sektörlerinde yoğunlaşmıştır. Kömür, elektrik üretimi amacıyla kullanılan yakıtlar arasında en yaygın olanıdır. Kömürün elektrik üretiminde en yüksek oranda kullanılan yakıt olma niteliğinin öngörülebilir bir gelecekte de değişmeyeceği tahmin edilmektedir. 1990 yılında dünya toplam elektrik üretiminde %37,4 oranında kullanılan kömür 2009 itibariyle %40,5 oranında kullanılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından, mevcut politikaların gelecekte de değişmeden devam edeceği varsayımıyla yapılan tahminlere göre kömürün elektrik üretiminde kullanım payı 2035 yılında %43 düzeyine kadar yükselecektir. Söz konusu tahminlere göre, bu alanda ne doğal gazın ne de nükleer enerjinin kömürün yanına yaklaşabilmesi mümkün görünmemektedir. Dünya elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımları Şekil 2.9'da sunulmaktadır.



Şekil 2.9 Dünya elektrik üretiminde kullanılan kaynakların dağılımı (TKİ 2011).

Elektrik üretiminde kömürü yüksek oranda kullanan çok sayıda ülke bulunmaktadır. Bunlar arasında; Güney Afrika Cumhuriyeti (%93), Polonya (%88), Çin (%78), Avustralya (%77) ve Kazakistan (%75) en yüksek oranda kullanan ülkelerdir. Çeşitli ülkelerde elektrik üretiminde kömürün payı grafik halinde Şekil 2.10'da yer almaktadır.

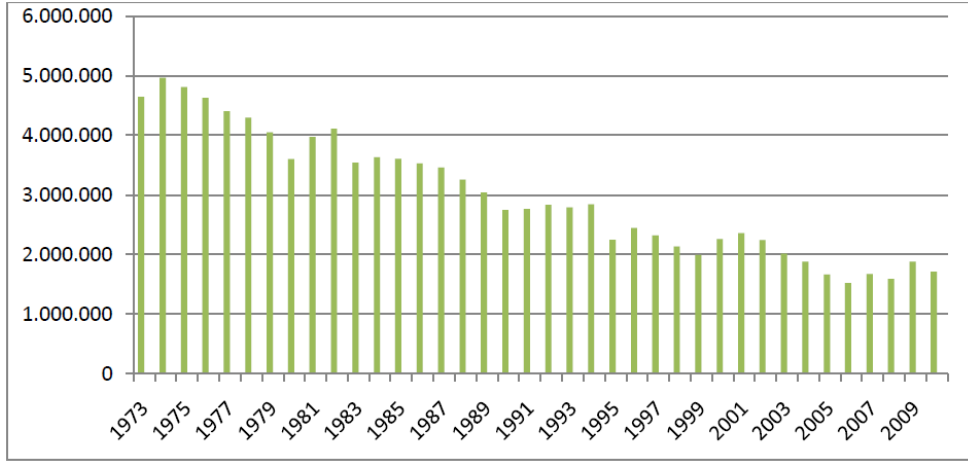


Şekil 2.10 Çeşitli ülkelerde elektrik üretiminde kömürün payı (TKİ 2011).

2.3 TÜRKİYE'DE KÖMÜR ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ

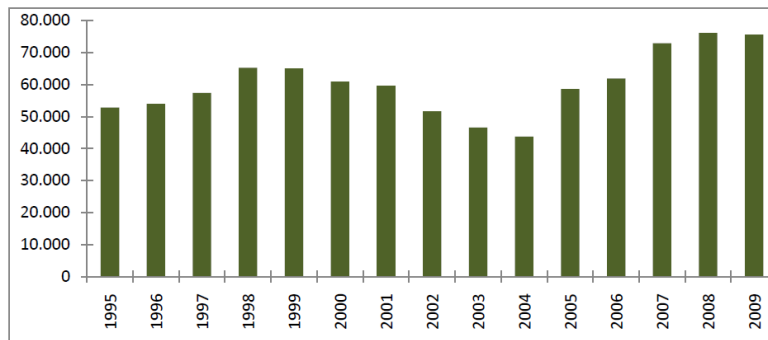
Ülkemizde, 2009 yılı itibariyle kömür üretimi 66,7 milyon ton linyit ve 2,9 milyon ton taşkömürü olmak üzere toplam 69,6 milyon ton olmuştur.

1980'li yıllardan itibaren sürekli bir azalış eğilimine giren taşkömürü üretimleri 2004 yılında 1,9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra tekrar hareketlenen üretim 2009 yılında 2,9 milyon ton düzeyine kadar yükselmiştir. Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretim miktarlarını gösteren grafiğe Şekil 2.11'de yer verilmiştir (TKİ 2010).



Şekil 2.11 Yıllara göre Türkiye taşkömürü üretim miktarları (ton) (TKİ 2010).

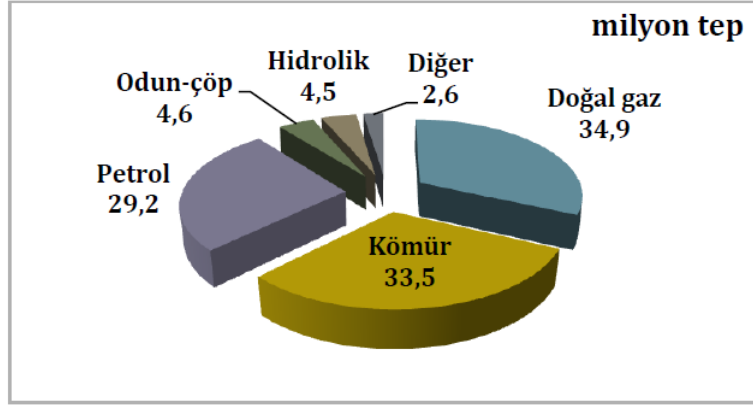
Benzer bir gelişim çizgisi linyit üretimleri için de söz konusudur. Şekil 2.12’de yıllara göre Türkiye linyit üretim miktarlarını (bin ton) gösteren grafik sunulmaktadır. Linyit üretimleri, özellikle 1970’li yılların başlarından itibaren, petrol krizlerine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında yaklaşık 5,8 milyon ton olan linyit üretimi 1998 yılında yaklaşık 65 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren, özellikle enerji yönetimleri tarafından yapılan doğalgaz alım anlaşmaları nedeniyle, sürekli bir iniş yaşayan linyit üretimi 2004 yılında 43,7 milyon ton ile en düşük seviyesini görmüş, ancak bu tarihten sonra tekrar yükselmeye başlamış, 2009 yılı üretimi 75,6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TKİ 2010).



Şekil 2.12 Yıllara göre Türkiye linyit üretim miktarları (bin ton) (TKİ 2010).

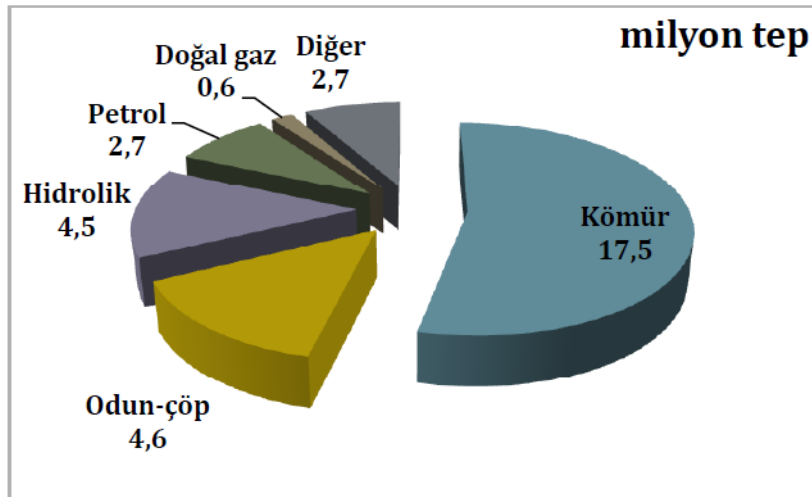
Ülkemizde 2010 sonu itibariyle toplam birincil enerji arzı 109,3 milyon tep’dir. Şekil 2.13’te yer alan ülkemiz birincil enerji arzının kaynaklara göre dağılımında dağılımında ilk sırayı 34,9 milyon tep ile doğal gaz alırken bunu sırasıyla 33,5 milyon tep ile kömür, 29,2 milyon

tep ile petrol, 4,6 milyon tep ile odun, hayvan ve bitki artıkları, 4,5 milyon tep ile hidrolik ve 2,6 milyon tep ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir kaynaklar izlemektedir (TKİ 2011).



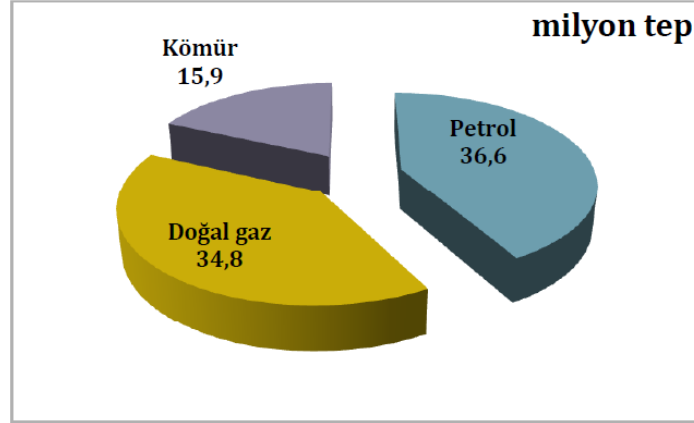
Şekil 2.13 Ülkemiz birincil enerji arzının kaynaklara dağılımı (TKİ 2011).

2010 sonu itibariyle Türkiye'nin birincil enerji üretimi ise 32,5 milyon tep olmuştur. Şekil 2.14'te görüleceği üzere 17,5 milyon tep ile kömür ilk sırayı alırken, bunu 4,6 milyon tep ile odun, hayvan ve bitki artıkları, 4,5 milyon tep ile hidrolik, 2,7 milyon tep ile petrol, 2,7 milyon tep ile jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları ve 0,6 milyon tep ile doğal gaz izlemektedir (TKİ 2011).



Şekil 2.14 Ülkemiz birincil enerji üretiminin kaynaklara dağılımı (TKİ 2011).

Dolayısıyla, ülkemizdeki enerji tüketiminin %30'u yerli enerji kaynaklarından sağlanırken, %70 gibi önemli bir kısmı ise ithal kaynaklardan sağlanmaktadır. Şekil 2.15'te görüleceği üzere ithal kaynakların dağılımı 36,6 milyon tep petrol, 34,8 milyon tep doğal gaz ve 15,9 milyon tep kömür şeklindedir.

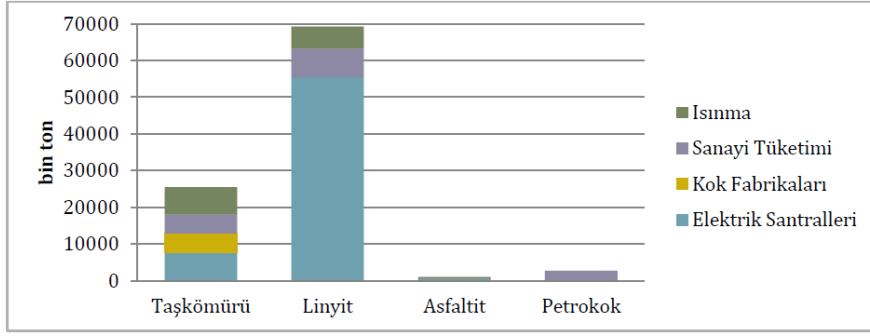


Şekil 2.15 Ülkemiz birincil enerji ithalatının kaynaklara dağılımı (TKİ 2011).

2.3.1 Türkiye’de Kömür Tüketimi

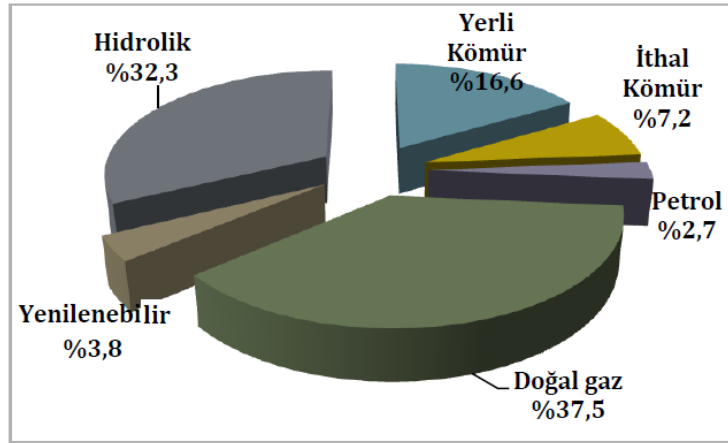
Şekil 2.16’da sunulan grafikte görüleceği üzere ülkemiz 2010 yılı taşkömürü arzının yaklaşık %30’luk kısmı elektrik üretimi ve %29’luk kısmı ise ısınma amaçlı tüketilmiştir. Kalan %40’lık bölüm ise kok fabrikaları ve diğer sanayi arasında hemen hemen eşit olarak paylaşılmıştır.

Aynı yılda, linyit arzının ise %80’lik bölümü elektrik üretimi amaçlı kullanılmıştır. Sanayi amaçlı tüketim %7,5 ve ısınma amaçlı tüketim ise %8,6 düzeyindedir. Asfaltitlerin %45’i elektrik üretimi ve %46’sı ısınma amaçlı tüketilmiş, kalan kısmı sanayi amaçlı kullanılmıştır. Petrokok ithalatının tamamı ise önemli kısmı çimento fabrikaları olmak üzere sanayi sektörlerinde tüketilmiştir (TKİ 2011).



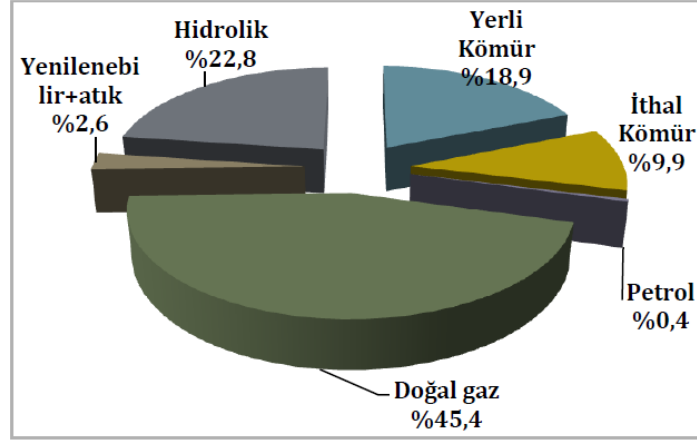
Şekil 2.16 Kömür arzının sektörlere göre tüketim dağılımı (TKİ 2011).

Ülkemizin 2011 sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü 12.356 MW olup toplam kurulu gücün %23,8'üne karşılık gelmektedir (TKİ 2011). Yerli kömüre dayalı kurulu güç ise 8.855 MW (%16,6) düzeyindedir. Şekil 2.17'de ülkemizde 2011 yılı sonu elektrik kurulu gücünde kaynakların payı yer almaktadır.



Şekil 2.17 Türkiye 2011 sonu elektrik kurulu gücünde kaynakların payı (TKİ 2011).

2011 yılında kömüre dayalı santrallerden toplam 66,2 TWh brüt elektrik üretilmiş olup, toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %28,8'dir (TKİ 2011). Bu miktarın 43,4 TWh kısmı yerli kömüre aittir. Şekil 2.18'de yer alan grafiğin incelenmesi ile görüleceği üzere yerli kömürün toplam brüt elektrik üretimindeki payı %18,9'dur.



Şekil 2.18 Türkiye 2011 yılı brüt elektrik üretiminde kaynakların payı (TKİ 2011).

Yerli kömüre dayalı santral yatırımları konusunda beklenen gelişme sağlanamamakla beraber, ithal kömüre dayalı santral kapasitesi giderek artmaktadır. 2000 yılına kadar elektrik sistemimizde ithal kömür santrali mevcut bulunmazken 2011 sonu itibariyle söz konusu santrallerin kurulu güç kapasitesi 3.820 MW düzeyindedir. Bu büyüklük, toplam santral kurulu gücümüzün %7,2'sine karşılık gelmektedir. Mevcut gelişmeler, ithal kömür santral yatırımlarının önümüzdeki yıllarda da artarak süreceğini göstermektedir (TKİ 2011).

BÖLÜM 3

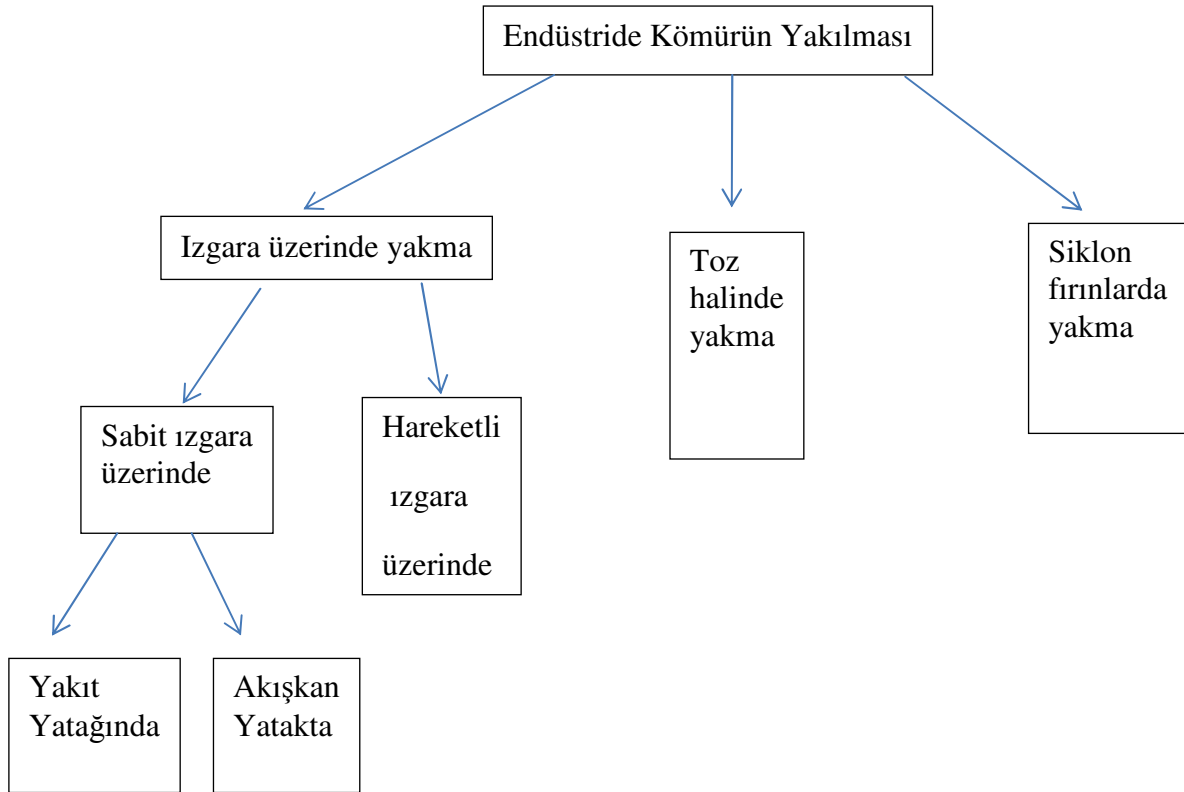
KÖMÜR YAKMA SİSTEMLERİ VE KÖMÜR YANMA ÜRÜNLERİ

3.1 KÖMÜR YAKMA SİSTEMLERİ

Kömür yakılmasında kullanılan sistemler üç ana başlıkta toplanabilir:

- Izgara üzerinde yakma
- Toz halinde yakma
- Siklon fırınlarda yakma

Bu sistemler Şekil 3.1’de şematize edilmiştir.



Şekil 3.1 Endüstride kömür yakma sistemleri (URL-1 2013).

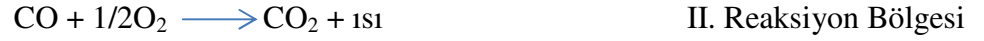
3.1.1 Izgara Üzerinde Yakma Sistemleri

3.1.1.1 Sabit Izgara Üzerinde Yakıt Yatağında Yakma

Yanmamış taze kömür en üst yüzeyde bulunur. Izgara bölgesinden verilen primer hava önce kül bölgesine geçer. Kül yüksek sıcaklıktaki reaksiyon bölgeleri ile ızgara arasında yalıtım yapar.



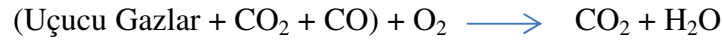
CO serbest duruma geçer ve II. Reaksiyon bölgesinde O₂ ile reaksiyona girer.



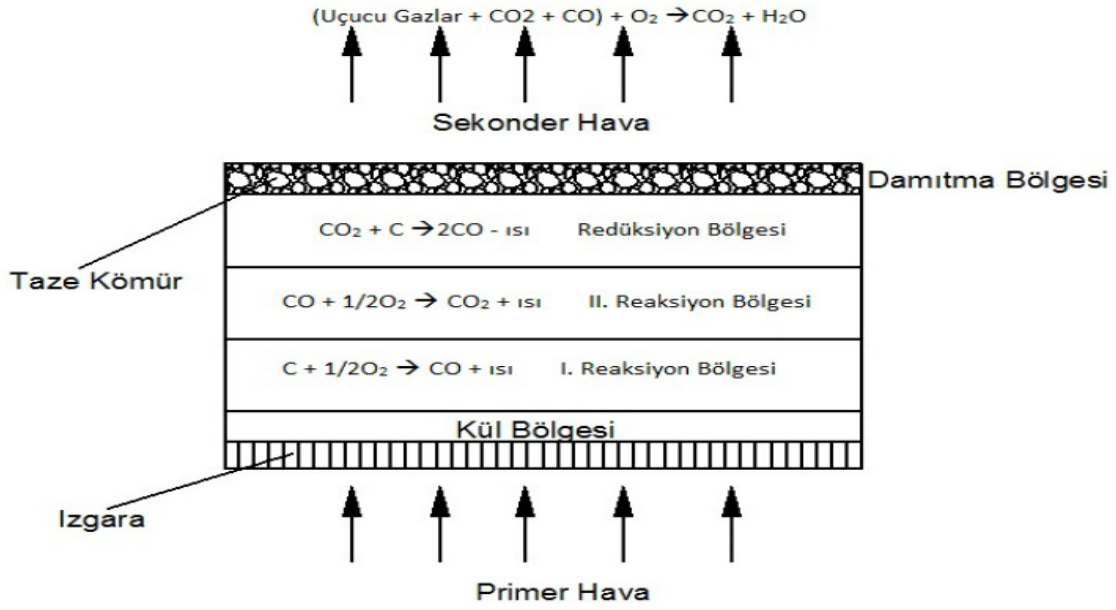
Her iki reaksiyondan çıkan ısı kömür tanelerini ısıtır. I. ve II. Reaksiyon bölgeleri yakıt yatağının en sıcak bölgeleridir. Bu bölgede O₂'nin büyük bir kısmı kullanıldığından redüksiyon bölgesinde CO₂ C ile reaksiyona girer.



Bu reaksiyon endotermik olduğundan sıcaklık düşmeye başlar. CO₂ ve CO gazları kömür tabakaları arasından geçerek kömür içerisinde bulunan uçucu gazların uçmasını sağlar. Bu gazlar sekonder hava ile reaksiyona girerler.



Şekil 3.2'de sabit ızgara üzerinde yakıt yatağında yakma sistemi şematize halde gösterilmiştir.

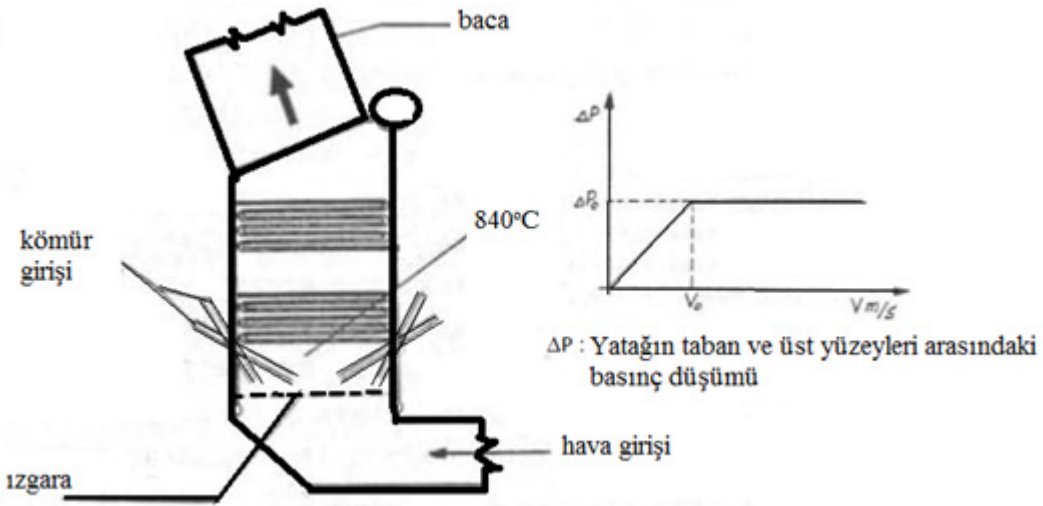


Şekil 3.2 Sabit ızgara üzerinde yakıt yatağında yakma (URL-1 2013).

3.1.1.2 Sabit Izgara Üzerinde Akışkan Yatakta Yakma

Delikli ızgara üzerinde kum, kireçtaşı, kül gibi taneli akışkan yatak maddeleri bulunur. Hava ızgaradan geçebilmekte, ancak akışkan yatak maddeleri geçememektedir. Izgaradan geçen hava düzgün olarak dağılır ve tanecikleri yukarı doğru iter. Hava hızı belli bir değeri geçince taneler hava akımı içerisinde asılı kalır. Taneli hava kütlesi sıvı özellikleri gösterir ve yatak akışkanlaşmaya başlar. Bu durumdaki hava hızına «minimum akışkanlaşma hızı» denir. Hava hızı arttırılacak olursa sıvı özellikleri gösteren hava kütlesi içerisinden geçirilen hava yatak içerisinde kabarcıklar oluşturur. Akışkanlaşmanın başladığı hızdan sonra basınç düşümü sabit kalır. ΔP_0 yatak yüksekliği ve yataktaki tane hava karışımının özelliklerine bağlıdır.

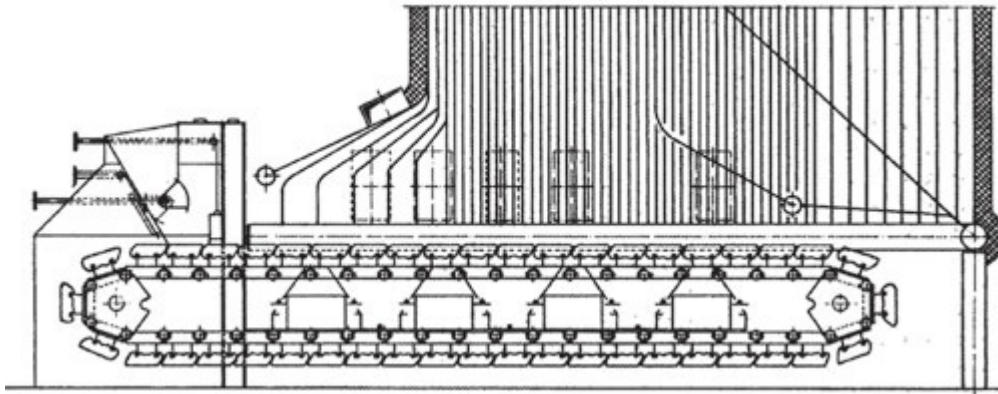
Hava hızı minimum akışkanlaşma hızından daha yüksek hızlara doğru gittikçe taneler vortexli hareket yapmakta ve yatağın tabanından yüzeye doğru yükselip parçalanmış kabarcıklar oluşmaktadır. Yatak kaynayan bir sıvı görünümü alır. Kaynamakta olan akışkan yatak yanma için çok elverişli bir ortam oluşturmaktadır. Akışkan yatak maddeleri (kum, kireçtaşı, kül gibi) ve hava yakıcı, yatağa uygun bir biçimde verilen kırılmış kömür ise yanıcıdır. Şekil 3.3'te sabit ızgara üzerinde akışkan yatakta yakma gösterilmiştir (URL-1 2013).



Şekil 3.3 Sabit ızgara üzerinde akışkan yatakta yakma (URL-1 2013).

3.1.1.3 Hareketli Izgara Üzerinde Yakma

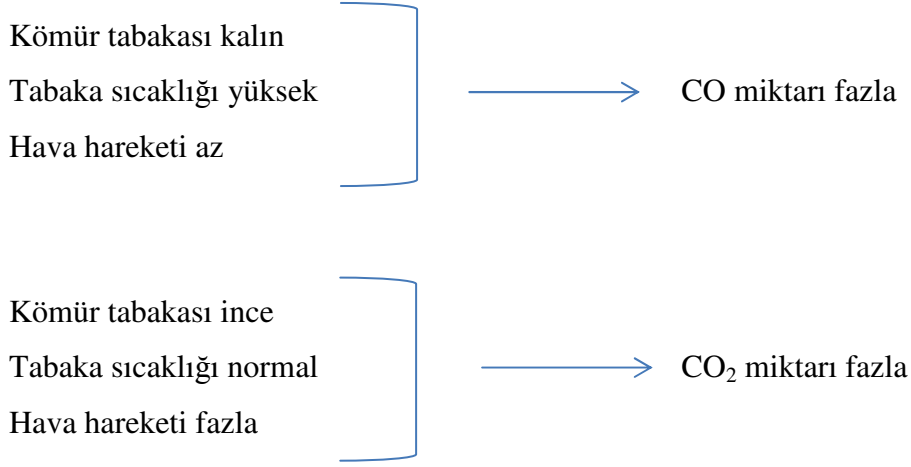
Bu sistemde önce kolay yanabilen maddeler yakılmak suretiyle ocak içi ısıtılır. Refrakter malzemelerden yapılmış ocak cidarların vermiş olduğu ısıl radyasyon ve daha sonra ocağa giren kömürün yanması sonucu meydana gelen alev radyasyonu ile ızgara üzerinde bulunan kömürün üst kısmı ısınarak kurumaya başlar bu sırada içerisinde bulunan uçucu gazlar uzaklaşır ve kömür kok haline dönüşür. Izgaranın altında duran kömür tabakaları ise yakma havasından ısı alarak yavaş da olsa ısınarak koklaşır. Şekil 3.4'te hareketli ızgara üzerinde yakma gösterilmiştir (URL-1 2013).



Şekil 3.4 Hareketli ızgara üzerinde yakma (URL-1 2013).

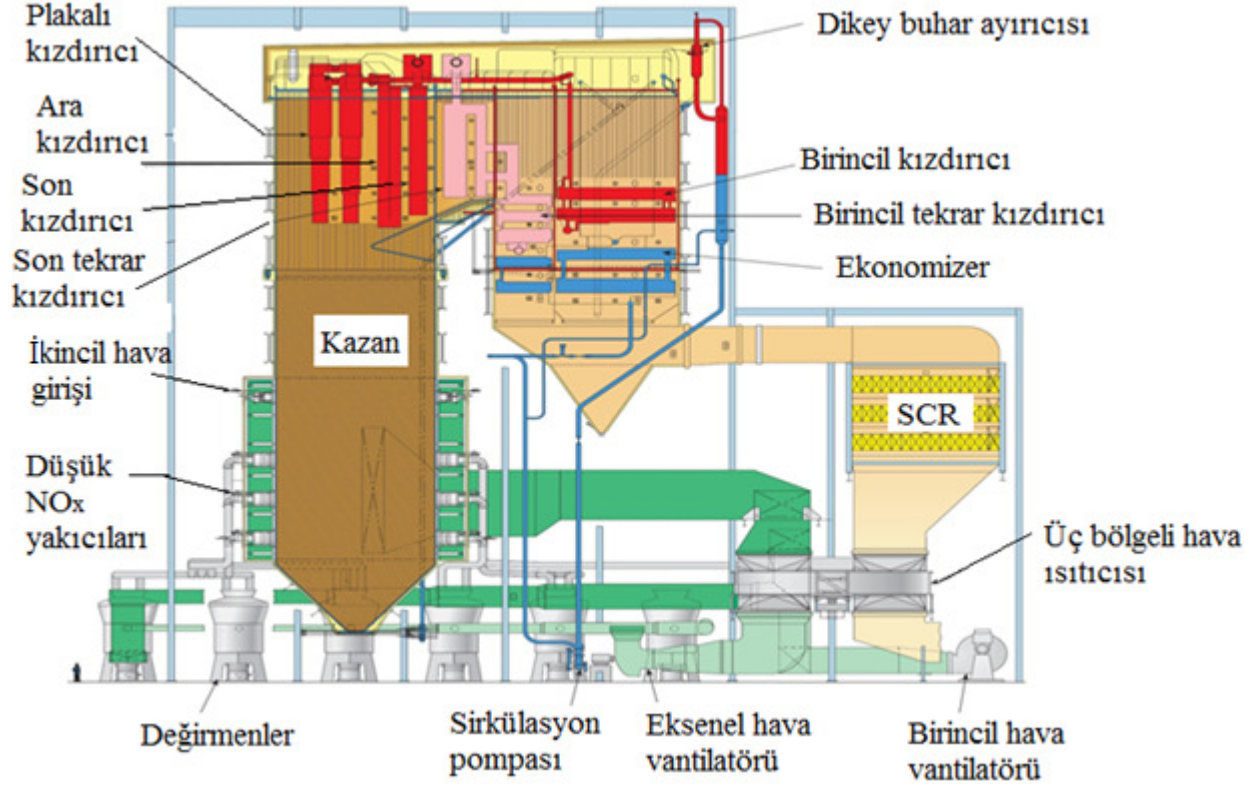
Tutuşma yüzeyden başlar. Yüzeydeki tutuşma sıcaklığı 600 – 950 °C'tır. Kömürün ısınması ile kömürden ayrılan gazlar havanın O_2 ile CO_2 ve H_2O buharı oluşturacak şekilde yanar.

Koklaşan kömür CO şeklinde gaza dönüştükten sonra O₂ ile birleşerek yanar ve CO₂'e dönüşür. Yanma esnasındaki CO – CO₂ arasındaki denge; kömür tabakasının kalınlığına, sıcaklığına ve hava türbülansına bağlıdır.



3.1.2 Toz Halinde (Pulverize) Yakma

Pulverize kömür kazanlarında yanma %70 ve fazlası 200 mesh ve daha düşük tane boyutlu kömür parçacıklarının oksidasyonu sonucu oluşur. Kazanın içindeki en sıcak bölge yakıcının etraftaki hacim olup sıcaklık yanma odasında 1200 °C ile 1500 °C kadar çıkmaktadır. Pulverize kömür yakma teknolojisine ait kazan ve elemanları Şekil 3.5'te görülmektedir.



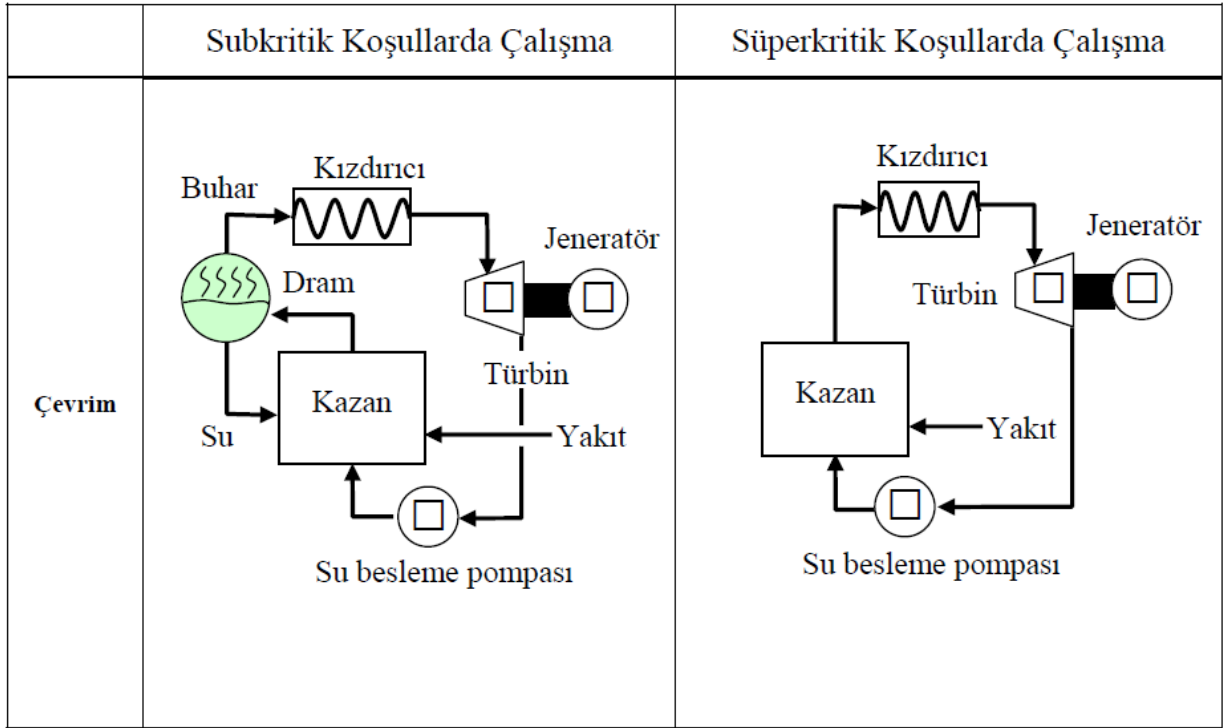
Şekil 3.5 Pulverize kömür yakma teknolojisi (URL-2 2013).

3.1.2.1 Süperkritik Koşullarda Çalışan Pulverize Kömür Yakma Sistemi

Süperkritik pulverize kömür yakma teknolojisi, subkritik pulverize kömür yakma teknolojisiyle kavramsal dizayn açısından hemen hemen aynıdır. Süperkritik olanda üretilen buharın sıcaklığı ve basıncı daha yüksektir. Bu da sistemin verimini arttırmaktadır. Subkritik sistemler 22.1 Mpa'dan daha küçük basınçlarda çalışmaktadır. Bu basıncın üzerinde sıvı ve buhar fazı yoktur. Tek faz, buhar fazı, vardır. Süperkritik sistemlerin çalışma basıncı 23-35 MPa aralığındadır. Buhar sıcaklığı da 650°C'a kadar çıkmaktadır. Bu sıcaklık subkritik sistemlerde 538°C'dir (TEPAV 2008).

Süperkritik sistemler daha yüksek buhar basıncı ve sıcaklığı için dizayn edildiğinden verimi %39-45 arasındadır (alt ısı değer bazında). Oysa bu değer, subkritik sistemlerde %30-38 arasındadır (TEPAV 2008).

Süperkritik ve subkritik koşullarda çalışan sistemler şematize edilerek Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 Pulverize yakma teknolojisinde süperkritik ve subkritik koşullarda çalışma (TEPAV 2008).

İki sistem arasındaki çevrim olarak tek fark, süperkritik sistemlerde buhar dramının olmamasıdır. Zaten sıvı fazı olmadığından bu drama gerek yoktur. Ancak, süperkritik sistemlerde işletmeye alış daha karmaşıktır. Sıcaklıklar çok yüksek olduğundan sistem elemanlarının aşırı ısınma nedeniyle korunması gerekmektedir.

Süperkritik sistemlerde önemli olan diğer bir konu da yapım malzemesidir. Buhar basıncı ve sıcaklığının yüksek olması nedeni ile özellikle kazan, kazan boruları, kızdırıcı ve tekrar ısıtma sistemleri, türbin giriş ve çıkışının dayanımı yüksek, çok kaliteli malzemelerden ve özel alaşımlardan yapılması gerekmektedir.

Subkritik ve süperkritik sistemler arasındaki diğer bir fark da besleme suyunun kimyasının kontrolünde ortaya çıkmaktadır. Süperkritik sistemlerde yoğuşturucudan çıkan suyun demineralize edilmesi gereklidir. Yine süperkritik sistemlerde proses kontrolü daha karmaşık ve daha detaylıdır. Tüm santralin entegre kontrolü gerekmektedir. Proses kontrol cihazlarının daha gelişmiş ve otomatik kontrollü olması istenmektedir.

Dünyada superkritik teknolojiyi kullanan ve ticari olarak kurulmuş 470 kadar tesis vardır. Süperkritik teknoloji ile kurulmuş en fazla tesis ABD’de bulunmaktadır. Bu tesisler 1960’lı ve 1970’li yıllarda kurulmuş, halen çalışan tesislerdir. Ancak, son yıllarda bu teknoloji ile kurulmuş tesis yoktur. Japonya bu teknolojiyi etkin olarak kullanan bir ülkedir. 1990’lı yıllarda buhar basıncı ve sıcaklığı 24.6 MPa/538°C/566°C iken 1993’lerden sonra yapılan yeni santrallarda ultra süperkritik koşullara geçilmiş ve buhar sıcaklığı 600°C’a yaklaşmıştır.

Maliyet açısından yapılan son çalışmalarda varılan genel görüş, süperkritik sistemlerin yatırım maliyetlerinin subkritik sistemlere göre %8 kadar yüksek olduğudur. Dolayısı ile süperkritik sistemlerin yatırım maliyeti 825-1180 USD/KW olmaktadır. Buna karşın subkritik sistemlerin maliyeti de 800-1100 USD/KW dır. Tüm PKY sistemlerinde yatırım maliyetine BGD dahil, seçici katalitik indirgeme hariçtir.

Dikkat edilmesi gereken diğer bir nokta da süperkritik sistemlerin belli bir kapasitenin üzerinde, örneğin 500 MW’tan daha büyük, yapılması durumunda fiyatların daha azaldığıdır. Ancak, santral yapan firmalar yakıtın pahalı olduğu ve çok büyük sistemlerin istenmediği durumlar için 350-500 MW arasında sistemler geliştirmektedirler (TEPAV 2008).

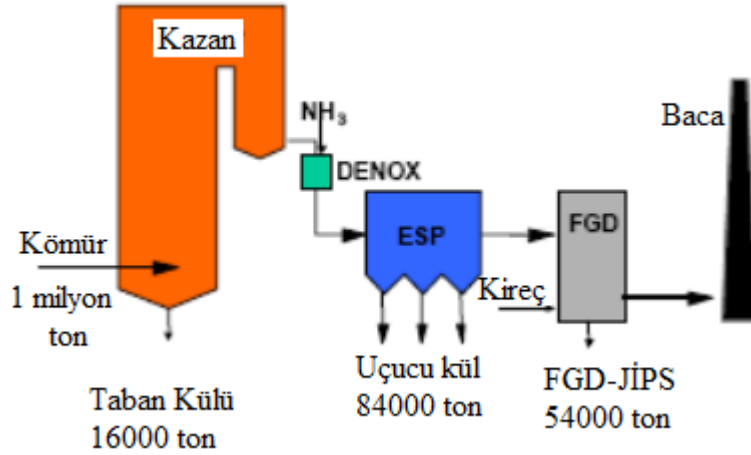
3.1.3 Siklon Fırınlarda Yakma

Siklon fırınlarda kullanılan kömür boyutu -6 mm’dir. Kömür yakıcıya teğetsel olarak girer. Yanma için gereken havanın %15’i birincil ve üçüncül hava olarak yakıcıya girer. Bu havalar kömür taneciklerine dönme hareketi verir. Taneciklerin dönmesi teğetsel olarak gönderilen sekonder hava ile daha da arttırılır. Yanma siklon içinde olmakta ve yüksek sıcaklığın etkisiyle kül ergiyerek ince tabaka halinde siklonun iç cidarlarına yapışmaktadır. Daha büyük kömür taneleri santrifüj kuvvetin etkisiyle cidarlara doğru savrulur, sekonder hava ve bu büyük kömür taneleri cidarlardaki erimiş kül tabakalarını kopararak yeniden yanmasını sağlarlar (URL-1 2013).

3.2 KÖMÜR YANMA ÜRÜNLERİ

Kömür endüstriyel anlamda yakıldıktan sonra elde edilen ürünler uçucu kül, yatak külü ve oksidasyon sonucu oluşmuş gazlardır. Yanma sonucu oluşan gazlar kömürün yapısına, yakma ünitesine, yakma rejimine bağlı değişkenlik gösterirken bu gazların çevre kirliliğine neden

olmaması açısından arıtılması gerekmektedir. Gazların arıtılması işleminde çeşitli ürünler elde edilmekte olup, bu ürünler sanayide çeşitli alanlarda kullanılabilir. Bu kısımda kömür yanma ürünleri olarak uçucu kül ve yatak külünden bahsedilecektir. Örneğin; 750 MW gücündeki bir enerji santralinin tam kapasite ile 6000 saat çalışmasıyla 84 000 ton uçucu kül 16000 ton yatak külü elde edilmektedir. Şekil 3.7’de kömür yakma ürünlerinin yıllık üretimine ilişkin bir örnek verilmiştir.



Şekil 3.7 Kömür yakma ürünlerinin yıllık üretimine ilişkin bir örnek (URL-3 2013).

3.2.1 Uçucu Küller

Modern yakma tesislerinde büyük miktarlarda katı yakma ürünü atıklar oluşmaktadır. Bu ürünlerin çoğu baca gazı ile sürüklenen ve elektrofiltre gibi çeşitli yöntemlerle tutulan “uçucu kül” adı verilen ince taneli üründür. Uçucu kül amorf ve kristalin fazların her ikisini de içeren heterojen, kompleks bir maddedir. Başlıca Al, Si, Fe, Ca, K ve Na elementlerini içeren bir ferroaluminosilikat bileşimindedir. Uçucu kül hemen hemen doğal elementlerin tümünü içerir.

Uçucu küllerin ve yatak küllerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri çeşitli etkenlere bağlıdır. Bunlar;

- Uçucu külün kaynağını oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulverizasyon) derecesine,
- Kazan türüne,
- Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine ve

• Çevre korunması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere (Volkan 2006) bağlıdır.

Küllerin belli başlı özellikleri ortaktır. Uçucu küllerin genelde küçük, camsı, oyuk yapılı, 0,01-100 µm arasında tane boyutuna sahip ve yoğunluğu 2,1 ile 2,6 g/cm³ arasında değişen tanecikler olduğu bilinmektedir. Bunların içi boş yapılarından dolayı birim hacimde oldukça geniş yüzey alanına sahiptirler.

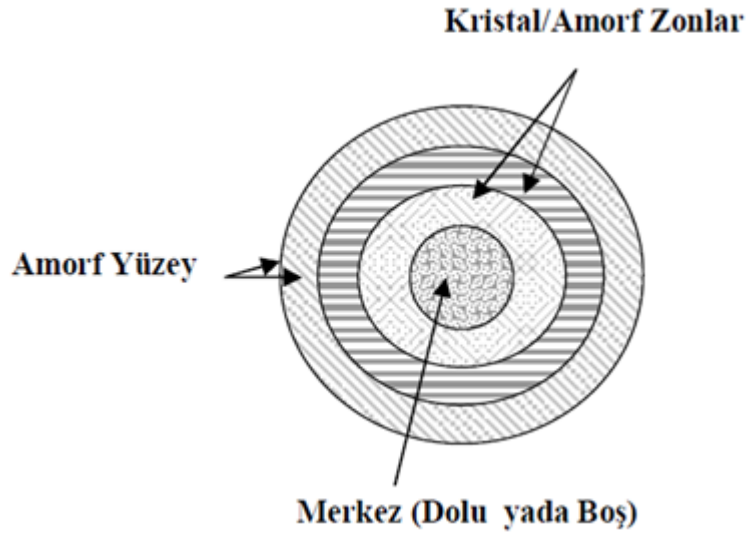
Kimyasal kompozisyon olarak incelendiklerinde, uçucu küllerin, SiO₂, Fe₂O₃ ve MgO'in yer aldığı bileşiklerden ve diğer bileşenlerden oluştuğu görülmektedir. İçerisinde bulunabilen karbon miktarı kömür tipine ve yakma işlemine göre değişiklikler göstermektedir. Ayrıca, kullanılan kömür tipine bağlı olarak bazılarında önemli miktarda CaO bulunabilmektedir (Volkan 2006).

Uçucu kül çimentodan daha koyu gri renkte, çok ufak ve ince tanelidir ve yumuşak bir yapıya sahiptir .Mikroskopla incelendiğinde çeşitli şekil ve büyüklükte, genellikle küresel, şeffaf, bazen açık renkli, bir kısmı siyah ve çok az koyu kırmızı taneciklerden oluşan bir yapı gösterir. Şekil 3.8'de uçucu küle ait bir görüntü yer almaktadır.



Şekil 3.8 Uçucu Külün Görünüşü.

Uçucu kül taneleri 4 kısımdan oluşmaktadır. Merkezde dolu ya da boş olabilen bir kısım, onun dışını çevreleyen kristal ve amorf zonlar bulunmaktadır. Büyük tanecikler yavaş soğuma sonucu kristaller oluştururken, küçük partiküller ise hızlı soğuma sonucu camsı formda gelişirler. En dışta kristal ve amorf zonlar bulunmaktadır. Uçucu kül tanecik kesiti Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Uçucu Kül Tanecik Kesiti (Volkan 2006).

ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

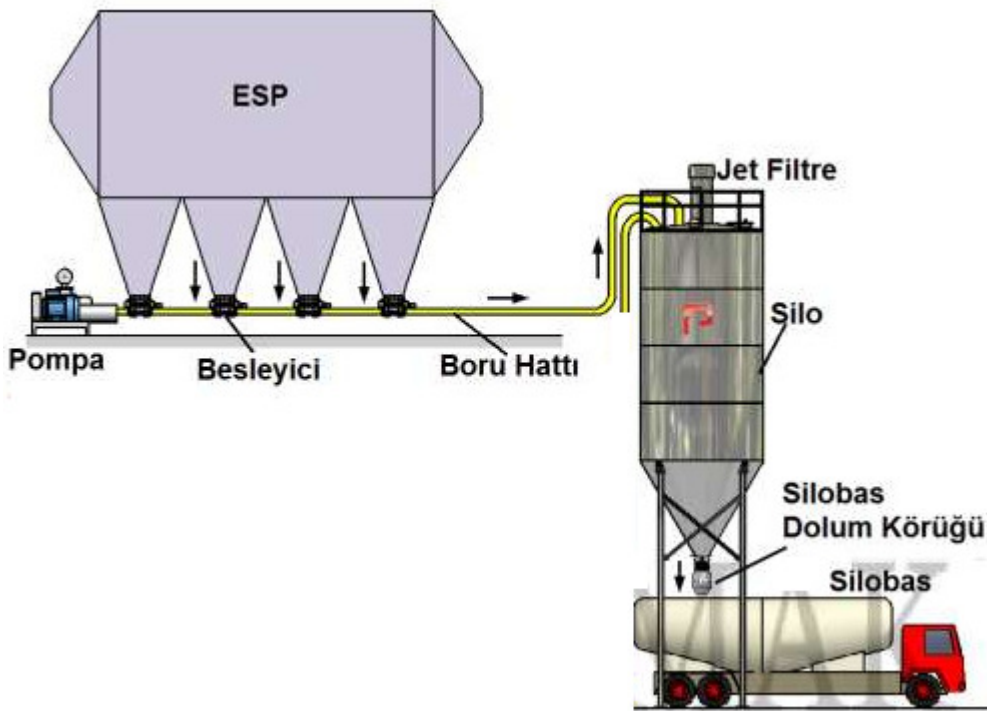
a) F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.

b) C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO} > \%10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılır. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğine de sahiptirler (URL-6 2013).

Uçucu küllerin baca gazından temizlenmesinde en yaygın yöntemlerden biri Elektrostatik filtrelerdir.

3.2.1.1 Elektrostatik Filtreler

Elektrostatik filtreler büyük yakma tesislerinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır ve geniş sıcaklık, basınç ve toz yükü aralıklarında çalıştırılmaya uygundur. Özellikle partikül boyutuna duyarlı değildir ve tozu hem kuru, hem ıslak koşullarda toplayabilir (TEPAV 2008). Elektrostatik filtre yoluyla sıralardan toplanan uçucu küller pompa yoluyla silolara aktarılmaktadır. Silolarda toplanan uçucu küller talep doğrultusunda satılmakta veya santralden uzaklaştırılmaları sağlanmaktadır. Şekil 3.10'da elektrostatik filtre ve uçucu kül tahliyesi ait bir görünüm verilmiştir.



Şekil 3.10 Elektrostatik filtre ve uçucu kül tahliyesi (URL-7 2013).

Elektrostatik filtre, metalden yapılmış bir dizi levhanın belli aralıkla (yaklaşık 10 cm) dikey olarak dizildiği ve levhalar arasında oluşan geçitlerden de tozlu gazın aktığı bir kutudan meydana gelir. Levhaların yüzeyinde toplanan partiküller periyodik olarak bir silkme sistemiyle alt tarafa düşürülür ve kül haznesine gönderilir. (TEPAV 2008)

Partiküller gaz akımından dört basamakta ayrılırlar:

- Partiküllerin negatif elektrikle yüklenmesi
- Elektrik yüklü partiküllerin pozitif anoda doğru hareket etmesi

- Tozun anot (levhalar) üzerinde tutulması (toplanması)
- Tozun alt taraftaki toz hanesine dökülmesi

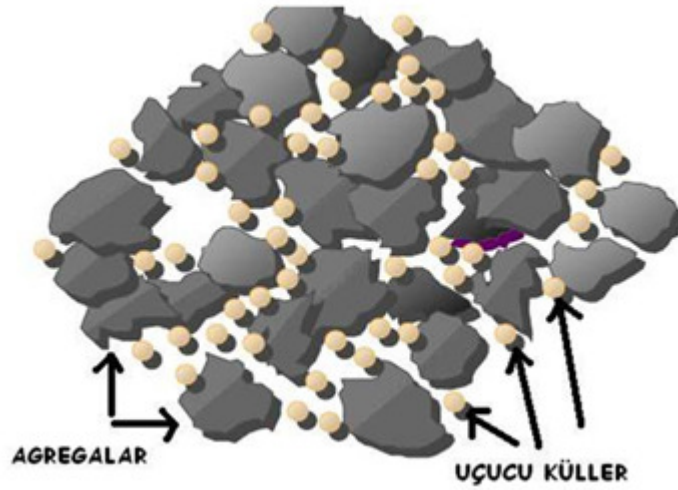
Elektrostatik filtrenin toz toplama verimi çok yüksektir (%99,9'un üzeri). Ayrıca basınç kaybı oldukça düşük, yapımı da basittir. Bu yüzden termik santrallerde uçucu küllerin baca gazından temizlenmesinde çok yaygın olarak kullanılmaktadır (TEPAV 2008).

3.2.1.2 Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Uçucu küller üzerinde yapılan araştırmalar gerek ekonomik sebepler gerekse çevresel sınırlamalar sebebiyle son 25 yılda büyük yoğunluk kazanmıştır. Uçucu külün genel yapısı ve özellikleri ile kullanım olanaklarına yönelik çalışmalar, zamanla laboratuvar ve arazide gerçekleştirilen analizlerle geliştirilmiş ve uçucu külün değişik sektörlerde de kullanılabilceği ortaya konulmuştur. Uçucu külün inşaat alanında, özellikle yol yapımında ve çimento üretiminde kullanılmasının, termik santrallerde büyük miktarlarda atık madde olarak oluşan bu malzemenin uzaklaştırılması veya değerlendirilmesi sorununa büyük ölçüde çözüm getirmiştir. Çalışmaların sonucunda, uçucu külün özellikle yol yapımında, çimento üretiminde katkı malzemesi olarak, zemin stabilizasyonunda, ayrıca dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde kullanılabilceği belirlenmiştir. Uçucu kül sanayi atığı durumunda iken değerlendirilmesiyle ekolojik sorun giderici ekonomik değeri olan bir hammadde olarak kullanılabilir. Bunun yanında uçucu küller çevre rehabilitasyonlarında, atık yönetiminde ve polimerlerde kaplayıcı olarak kullanılmaktadır. Uçucu küllerin farklı alanlarda kullanılmasında farklı özelliklere sahip olması istendiğinden birçok gelişmiş ülke külün farklı alanlarda kullanılmasını geçerli kılacak standartlara ihtiyaç duymuştur. Uçucu küle ilgili standartların belirlenerek küllerin sektörlerde değerlendirilebilmesi için gerekli özellikleri standartlaştırılmıştır. Ülkemizde bu konuda Türk Standartları Enstitüsü tarafından TS- 639 "Uçucu Küller" ve TS-640 "Uçucu Küllü Çimento" standartları çıkarılmıştır. (Volkan 2006)

Uçucu küller dünyada, çimento ve beton olarak baraj duvarları, köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında ve diğer pek çok inşaat yapılarında; tarımda ve ağaçlandırma çalışmalarında; agrega olarak otoyol, köprü, yol ve briket yapımında, endüstride hafif mineral dolgu maddesi ve asfalt içinde dolgu maddesi olarak yol drenaj kanallarında kullanılmaktadır.

Uçucu küllerinin çeşitli alanlarda kullanılabilmesiyle ilgili çalışmalarla ortaya konmakta ve farklı alanlarda kullanılabilmesiyle ilgili çalışmalarla desteklenmektedir. Ancak malzeme, ülkemizde pratik açıdan yeterli düzeyde tanınmamakta; kullanım alanları, teknik ve ekonomik yararlarına gerektiği kadar önem verilmemektedir. Dolayısıyla kullanımı yaygın hale gelmemiş durumdadır. Bu konuda gelişim sağlanabilmesi için, uçucu kül özelliklerinin ve standartların belirlenmesinin ötesinde kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi, taşıma ve özellikle pazarlama gibi faktörlerin incelenmesi zorunludur. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak Türkiye uçucu küllerinin, çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesi, hafif agrega ve beton yapımında kullanılması, su yapıları ve inşaatlarında yararlanılması önerilmiştir (Volkan 2006). Şekil 3.11’de uçucu kül ve agreganın uyumu gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Uçucu kül ve agreganın uyumu (URL-7 2013).

Uçucu küller, yapısı itibarıyla agrega aralarındaki boşlukları doldurması ve küresel yapıda olmaları sebebiyle çimento katkı malzemesi olarak ihtiyaç duyulan malzeme haline gelmiştir. Uçucu küllerin en yoğun kullanıldığı sektör inşaat sektörüdür. İnşaat sektörüyle ilişkili uygulamalarında en fazla çimento üretiminde ve çimento ürünlerinde kullanılırken dolgu malzemesi olarak da kullanılabilir. Yapısı itibarıyla killere benzediği için su uzaklaştırıcı olarak kullanılan uçucu kül özellikle baraj yapılarında aranan malzeme niteliğindedir. Uçucu küllerin kullanılabilirliğini küllün yapısında bulunabilen yanmamış karbon veya küllün hidrolik özellikleri gibi çeşitli faktörler kısıtlamaktadır. Çizelge 3.1’de uçucu küllün inşaat sektörüyle ilişkin uygulamaları verilmiştir.

Çizelge 3.1 Uçucu küllerin inşaat sektörü ile ilişkili uygulamaları (Volkan 2006).

Uygulamalar	Kullanım Miktarı		Toplam Kullanım Miktarı (%)
	Milyon Metrik Ton	Milyon Ton	
Çimento üretimi, çimento ürünlerinde	7,2	8,0	60
Dolgu malzemesi yada su uzaklaştırıcı olarak	1,9	2,2	17
Diğer atık dolgu malzemelerin stabilizasyonunda	1,7	1,9	14
Yol temeli yapımında	0,63	0,7	5
Akışkan dolgu malzemesi karışımında	0,27	0,3	2
Asfalt kaldırımlarda Kaplayıcı olarak	0,15	0,2	2
Toplam	11,85	13,3	100

Uçucu küllerin bir taraftan yarattığı sorunlar ve bu sorunların enerji üretimine paralel olarak artışı, diğer taraftan endüstriyel artık olarak kullanılmaya elverişli bir malzeme niteliği taşıması, çeşitli alanlarda değerlendirilmesi olanaklarının araştırılmasına neden olmuştur. Gerçekten uçucu küller ve termik santralde onunla birlikte oluşan cürufklar, bünyelerinde bulunan toksin maddelerin bir şekilde zararsız hale getirilmiş olması koşuluyla, mühendisliğin çeşitli dallarından, endüstride çeşitli metallerin elde edilmesine, hatta tarım alanına kadar çok geniş bir yelpazede kullanılarak değerlendirilebilirler. Termik santral atıklarının bu şekilde değerlendirilmesi, depolama sorununu büyük ölçüde ortadan kaldıracığı gibi, çevresel sorunları bertaraf edecek, özellikle kısıtlı diğer doğal hammaddelerden tasarruf edilmesini sağlayacak, bunların da ötesinde nitelik ve nicelik açısından daha iyi ürünler elde edilebilecektir. Bunlara ek olarak uçucu küller;

- İçindeki bazı nadir metallerin elde edilmesinde,
- Taşkın önlenmesinde, Döküm kumu olarak,
- Metal yüzeylerin püskürtme ile temizlenmesinde,
- Dolgu maddesi olarak çatı malzemeleri, sabun, kağıt, lastik, plastik, ve suni gübre sanayinde,

- Kömür madenlerinde yangın ve  okme kontrolünde,
- Asfalt yol yüzeylerinde kaymayı önleyici olarak,
- Buz kontrolünde,
- Emülsiyon  retiminde,
- Petrol kuyuları sondajlarında ve
- Seramik sanayinde

kullanım alanı bulmaktadır. (Volkan 2006)

3.2.2 Yatak Külleri

Yanan kömür partiküllerinin baca gazları ile taşınmayıp kazanın dibine biriken kısmı (%10-15 lik) yatak küllerini oluşturur. Termik santrallerde üretilen yatak külü içeriği bakımından ağırlıklı olarak SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO bileşiklerinden oluşur. Gözenekli bir yapıya sahiptir. Tane iriliği 1.00 mm ile 15 mm aralarında olabilen bir karışımdır. Yatak külünde karbon miktarı artıkça gözenekli yapı artar ve kabarcıklı doku gösterir, dolayısıyla da sıkıştırma ve yükleme sırasında daha kolay kırılğan bir yapıya sahiptir (Trifunovic P D et. al 2010). Şekil 3.12'de yatak külüne ait bir görüntü yer almaktadır.



Şekil 3.12 Yatak külü.

Uçucu kül ve yatak külü farklı fiziksel özelliklere sahiptir. Tane çapı olarak uçucu külde 20-80 µm iken yatak külü daha büyük tanelerden (500-7000 µm) oluşmuştur. Özgül ağırlık olarak küllerin boşluklu yapısı da düşünüldüğünde değişik aralıklarda olabilmektedir. Yüzey alanı açısından uçucu küllerin yüzey alanı 200 ile 1060 mm² arasında iken, yatak külleri 400 mm² civarlarındadır. Çizelge 3.2’de uçucu kül ve yatak küllerinin fiziksel özelliklerine yer verilmiştir.

Çizelge 3.2 Uçucu kül ve yatak küllerinin fiziksel özellikleri (Volkan 2006).

Fiziksel Özellik	Uçucu Kül	Yatak Külü
Tane Çapı (µm)	20-80	500-7000
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	1,59-3,1	2,17-2,78
Özgül Yüzey Alanı (cm ² /g)	200-1060	400
Permeabilite Katsayısı	5,10-9/1,1-6	2,5-9,4
Uniformity Katsayısı	2-9,8	8,2-8,8

3.2.2.1 Yatak Külü Kullanım Alanları

Yatak külleri briket, hazır sıva ve blok tuğla üretimlerinde hammadde olarak kullanılır. Ayrıca çimento üretiminde de puzolan amaçlı katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Yatak külü yapısı itibariyle iyi bir izolasyon görevi yapar. Bu amaçla yatak külü katkılı briket ve blok tuğlalar izolasyon avantajı nedeniyle inşaat sektöründe tercih sebebidir (URL-8 2013).

Yatak külü yüksek oranda SiO₂ ve Al₂O₃ içerdiğinden dolayı çimento karışımlarında Ca(OH)₂ ile reaksiyona girerek çimentonun bağlayıcılık özelliğini artırır, hidrasyon ısını ve dona karsı duyarlılığını azaltır, işlenebilirliği artırır ve ekonomik kazanımlar sağlamaktadır. Bunların dışında yatak külleri toprak dolgularda, setlerde, yol üst temellerinde, alt yapılarda ve madencilikte kullanılmaktadır.

Yatak külünün olumlu bir etkisi de betonarme çeliği üzerinedir. Beton karışımında yatak külü kullanılması durumunda betonarmede donatı korozyonunun azaldığı deneysel olarak belirlenmiştir. Diğer taraftan yatak külü, betonun hidrasyon ısını düşürmek amacıyla Türkiye’de ve Dünyada bir çok barajın yapımında da kullanılmıştır. Tüm bunlar ile birlikte erken mukavemetlerinin düşük olması yatak küllerinin bir dezavantajdır (URL-9 2013).

BÖLÜM 4

YANMAMIŞ KARBON ÖZELLİKLERİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

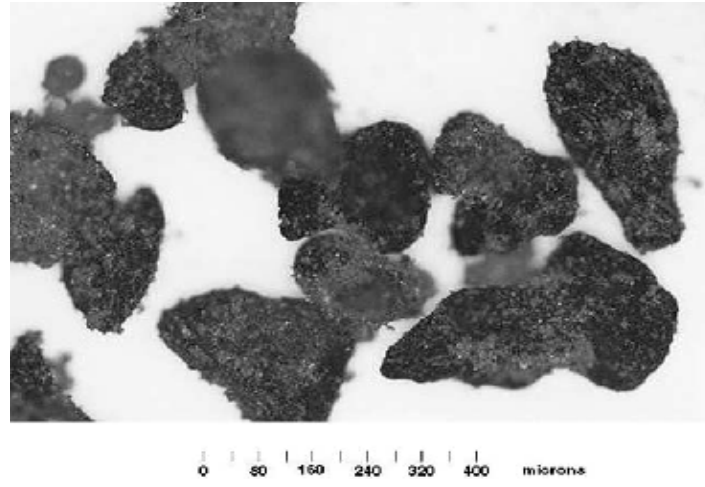
Kömürle çalışan güç santralinde yanma sonrası Yatak külü ve uçucu kül olmak üzere iki ayrı katı atık açığa çıkmaktadır. Yatak külleri ve uçucu küller arazilerin doldurulması amacıyla kullanılmış olup zamanla değişik sektörlerde bu malzemelere ihtiyaç doğmuştur. Küldeki yanmamış karbon, çimento sektöründe külü kullanılamaz hale getirir. Çünkü karbon çimento içerisinde renk yaratır ve düşük hava sıcaklıklarının haiz olduğu durumlarda betonun dayanımını azaltır. Yanmamış karbon, enerji santralinde enerjiyi üretmek için beslenen tüm kömürün yanma sırasında potansiyel enerjisini elektrik enerjisine dönüştürememesi sonucunda oluşur. Külün içerdiği yanmamış karbon oranı birçok nedene bağlıdır (Volkan 2006). Bunlar;

- Kömürün cinsi,
- Yakma kazanın dizaynı,
- Yakma şartları,
- Emisyon indirgeme teknolojileridir.

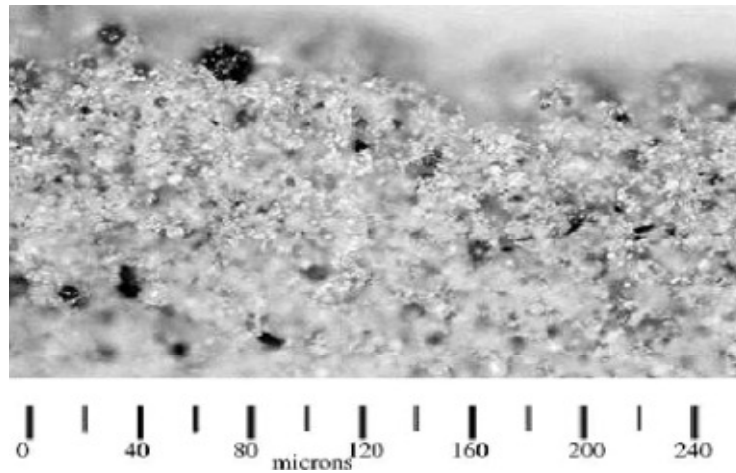
Enerji santrallerinde külde yanmamış karbon farklı miktarlarda olabilmektedir. Yatak külünde ve uçucu küllerde farklı miktarlarda yanmamış karbona rastlamak mümkündür. Uçucu küldeki yanmamış karbon, termik santrallerde yakma verimini yansıtan önemli bir veridir (Yan and Li 2009). Yanmamış karbon miktarları uçucu küllerde genelde daha fazladır ancak bu miktar yakma rejimine bağlı değişim göstermektedir. Bartonova'ya (2006) göre çalışmasına göre bütümlü kömürle çalışan bir santralde, yatak külünde yanmamış karbon miktarı %1.23 iken uçucu külde yanmamış karbon miktarı %5.57 olarak bulunmuştur. Deneysel yada bilgisayarlı yollarla yanmamış karbon tahmin sistemi geliştirmek için bir çok yaklaşım mevcuttur (Pallarés et al. 2009). Moron et al. (2007) uçucu küldeki yanmamış karbonun, kömür karışımı için beslenen fazla hava oranıyla ilişkisini araştırmıştır (Lee et al. 2012).

4.1 FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

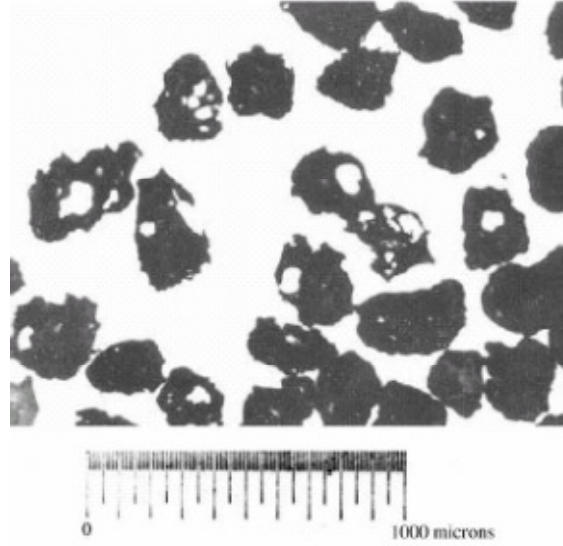
Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 C sınıfı küllerde bulunan yanmamış karbonun tipik doğasını göstermektedir. C sınıfı küller ekonomik olarak düşük değerli olurlar ve uçucu madde giderme işlemi sırasında yumuşamazlar. Bu özelliklerinden dolayı keskin hatlı özelliklere sahip yanmamış karbon taneciklerine sahip olurlar. Diğer yandan F sınıfı küller de tam tersi olarak uçucu madde giderme işlemi sırasında yumuşama gösterirler. Bundan dolayı bu tür kömürlerden oluşan yanmamış karbon tanecikleri Şekil 4.3'te görüldüğü üzere üzerlerinde "blow-holes" olarak adlandırılan delikler bulunmaktadır (Volkan 2006).



Şekil 4.1 C tipi külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri ($180 < d < 355 \mu\text{m}$) (Volkan 2006).



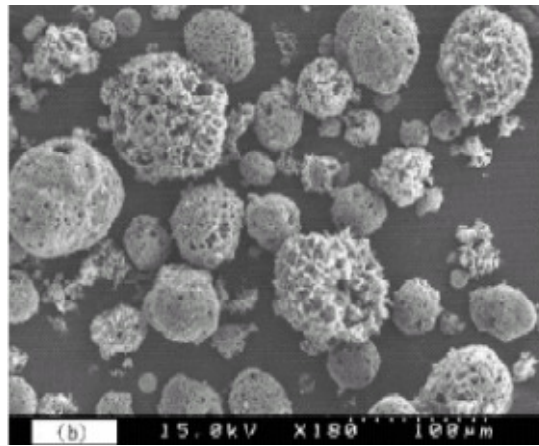
Şekil 4.2 C tipi külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri ($d < 45 \mu\text{m}$) (Volkan 2006).



Şekil 4.3 F Tipi külde bulunan yanmamış karbon tanecikleri ($180 < d < 355 \mu\text{m}$) (Volkan 2006).

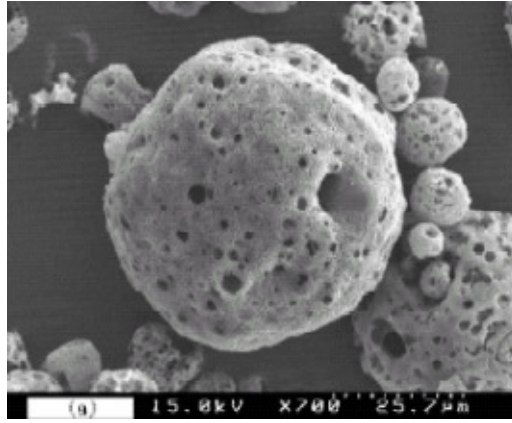
Uçucu küllerdeki tüm yanmamış karbon örneklerinin tanecik boyutu $100 \mu\text{m}$ altında bulunmaktadır. Bir kısım örneklerde $5\text{--}100 \mu\text{m}$ aralığında düzgün bir konsantrasyon dağılımı görülmektedir. Fakat diğer örneklerde $1\text{--}40 \mu\text{m}$ ve $40\text{--}100 \mu\text{m}$ olmak üzere birden fazla gruplar halinde stabil olmayan bir konsantrasyon dağılımı gözükmektedir.

Yanmamış karbon örneklerinin tümü siyah toz şeklindedir. Şekil4.4'te SEM mikroskobu ile çekilen yanmamış karbon örnekleri; küresel ve ufalanmış, gözenekli, köpük tanecikler olarak görülmektedir (Volkan 2006).

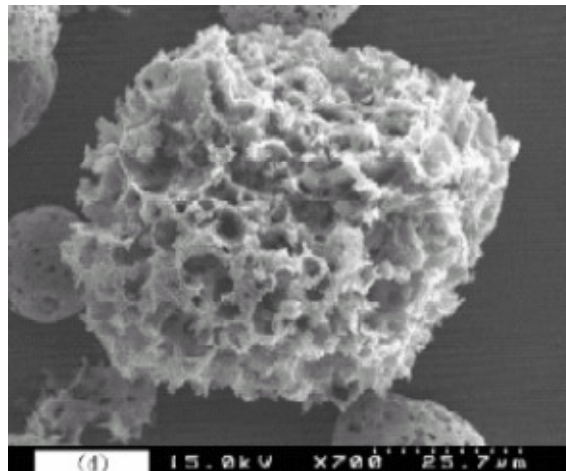


Şekil 4.4 Küresel tanecikler ve ufalanmış tanecikler (Volkan 2006).

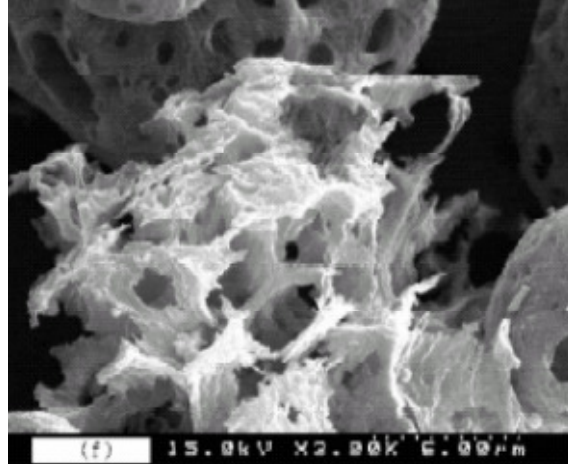
SEM mikro grafikleri taneciklerin yüzey özellikleri daha ayrıntılı olarak Şekil 4.4'te görülmektedir. Buna göre küresel tanecikler yüzey özelliklerine göre iki tipe ayrılır. Bunlardan bir tanesi gözenekli tanecikler, bir diğeri ise köpük tipte taneciklerdir. Gözenekli tipteki genel olarak 1-5 µm boyutlu yuvarlak gözeneklere ve yumuşak bir yüzeye sahiptir. Gözenekler tanecik yüzeyinde ardışık ve gelişigüzel bir halde sıralanmıştır. Gözenekler, taneciğin oluşumu sırasında gazın taneciğin iç tarafından fıskırmasıyla oluşmuşlardır. Şekil 4.5'te görüldüğü üzere gözenekli tipten farklı olarak köpük tipteki taneciklerde ise sivri uçlu yapıya sahip bir yüzey ve çok daha büyük gözenekler bulunmaktadır. Şekil 4.6'da mikro grafiklerinin benzerliği göz önünde bulundurularak ufalanmış taneciklerin köpük tipteki taneciklerden oluştuğu söylenebilir (Volkan 2006).



Şekil 4.5 Gözenekli tanecikler (Volkan 2006).



Şekil 4.6 Köpük tanecikler(Volkan 2006).



Şekil 4.7 Ufalanmış tanecikler (Volkan 2006).

Yanmamış karbonlar amorf bir yapıya sahiptir. Yanmamış karbon örneklerinin oluşum yoğunluk değerleri $0,15 \text{ gr/cm}^3$ civarındadır. Yanmamış karbon hafif bir malzemedir

Yanmamış karbon diğer karbon türleriyle karşılaştırıldığı zaman içerisinde ihtiva ettiği uçucu madde miktarının daha farklı olduğu görülür. Yanmamış karbon içinde bulunan uçucu madde miktarı, siyah karbon ve kalsine koka yakın miktarda, aktif karbondakinden ise daha az miktarda bulunmaktadır. Bu nedenle yanmamış karbonun tek başına yanması zordur. Yanmamış karbon yakılabilmesi için 1:1000 oranında kömür ile karıştırılır. Karbon içerisindeki uçucu maddeler büyük oranda küçük yüzey gruplarına sahip, tam olarak karbonize olmamış hidrokarbonlar içerir. Yanmamış karbon emici bir özelliğe sahiptir (Volkan 2006).

4.2 YANMAMIŞ KARBONUN KULLANIM ALANLARI

Pennsylvania Eyalet Üniversitesi araştırmacıları tarafından yapılan çalışmada uçucu külden yanmamış karbonun ekonomik olarak kazanılması amacıyla bir yöntem geliştirilmiştir. Yanmamış karbonun uçucu külden kazanılması ile kazanılan karbon tanecikleri aktif karbon olarak kullanılabilir. Aktifleştirilmiş karbon gazların saflaştırılması ve su kaynaklarının temizlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. Aktifleştirilmiş karbon tanecikleri günümüz pazarlarında yılda 350,000 metrik tonun üzerinde bir satışa sahiptir. Uçucu kül içerisindeki yanmamış karbon tanecikleri temizlenmeye, boyut küçültülmeye veyahut içindeki safsızlıkların uzaklaştırılması için herhangi bir ısıl işleme girmeleri

gerekmemektedir. Bu durumda yanmamış karbonun uçucu kül içerisinde kazanım maliyeti uçucu külde ton başına 10–15 \$ gibi bir rakama mal olmaktadır. Ayrıca yanmamış karbon taneciklerinin uçucu kül içerisinde kazanılması sonucunda uçucu kül çimento sektöründe daha kolay kullanılabilir hale gelmektedir.

Yumuşak toprağın stabilizasyonu için etkili alternatif bir yöntemde C sınıfı uçucu kül ile toprağın karıştırılmasıdır. Bu metot inorganik yapılar için etkili olmasına karşın organik toprak için etkili değildir. Fakat yapılan bir takım testlerin sonucunda yüksek oranda yanmamış karbon içeren küller yumuşak organik toprağın stabilizasyonu için etkin bir yöntem oluşturmaktadır. Yüksek yanmamış karbon içeriği aynı zamanda metallerin yanmamış karbon tarafından emilimi sonucunda çevresel etkileri azaltır.

Yanmamış karbon düşük sülfür içeriği dolayısıyla petrokok'a alternatiftir. Yanmamış karbonun uçucu kül içerisinde ayrıştırılması için birçok teknik geliştirilmiş olmasına karşın yalnızca birkaç elektrik tesisi bu teknikleri kullanmaktadır. Bu durum ayrıştırılmış olan malzemelerin piyasa değerlerinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Örneğin 1 ton uçucu kül 10-20 \$ arasında satılmakta, yanmamış karbon tanecikleri ise enerji santrallerinin kazanlarına geri beslenmektedir. Eğer yanmamış karbon tanecikleri yüksek kalitedeki özel karbon mamullerinin yapımında kullanılacak olursa bu malzemeler piyasa içerisinde daha çok değer kazanacaklardır. Yanmamış karbon doğal yapı itibariyle kalsine petrokok ile çok benzeşmektedir. Kalsine petrokok karbon gövdelerin yapımında, alüminyumun eritilmesi için anot yapımında ve çelik kazanların eritilmesi için elektrot yapımında kullanılmakta ve tonu 220-250 \$ dan satılmaktadır. Kalsine petrokok başlıca sorun yüksek kükürt içeriğidir. Petrokok %2-4 arasında kükürt içerirken bu değer yanmamış karbondaki %0,5 değerindedir (Volkan 2006).

BÖLÜM 5

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu tez kapsamındaki çalışmalar Eren Enerji Zonguldak santralinin beş farklı noktasından alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

Eren Enerji Zonguldak santrali biri akışkan yataklı yakma sistemine sahip diğer ikisi pulverize yakma teknolojisine sahip 3 üniteden oluşmaktadır. Akışkan yatak yakma sistemli ünite 1. Ünite olarak ve diğer iki pulverize yakma sistemine sahip üniteler 2. ünite ve 3. ünite olarak isimlendirilmiştir. Akışkan yataklı ünitenin kurulu gücü 160 MW olup, 2. ve 3. Ünitelerin herbirinin kurulu güçleri 615 MW olup ve 1390 MW toplam güce sahiptir. Şekil 5.1’de Eren Enerji Zonguldak santralinden bir görüntü verilmiştir.



Şekil 5.1 Eren Enerji Termik Santrali (URL-9 2013).

5.1 METODOLOJİ

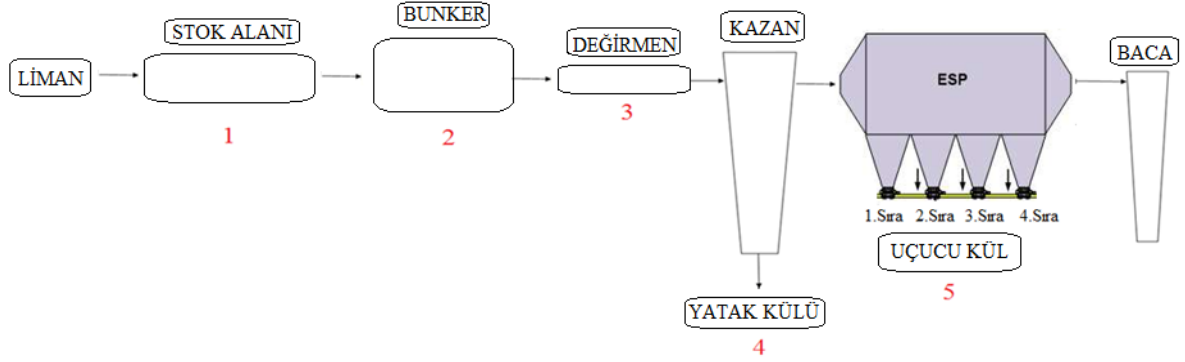
Örnekler kömür stok sahasından, değirmen girişinden, değirmen çıkışından, elektrostatik filtre (ESP) sıralarından ve uçucu kül silolarından, yatak küllerinden her vardiyada dış bir müdahalenin en az olduğu bir süreçte üç gün boyunca alınmıştır. 2. ünite ve 3. ünite için numune alma noktaları ve numune alma sıklıkları Çizelge 5.1’de yer almaktadır.

Çizelge 5.1 Üniteler için numune alma noktaları ve numune alma sıklıkları.

Numune Alındığı Yer	Numune Alma Sıklığı
Kömür Stok Sahası	Temsili numune alma
Değirmen Girişi	3 gün boyunca her vardiyada bir defa
Değirmen Çıkışı (Pulverize Kömür)	Her vardiyada her değirmen çıkışından vardiya başı ve vardiya ortası olmak üzere iki defa numune alınmıştır.
Yatak Külü	Her vardiyada bir defa numune alınmıştır.
Uçucu Kül	Her vardiyada 2 kez olmak üzere numune alınmıştır. Her sıradan 1. sıra, 2. sıra, 3. sıra, 4. sıra ve 1. ve 3. silolardan numune alınmıştır.

- Kömür stok sahasından alınan örnek, santral sahasından yaklaşık 1 ton kömürün standart örnek azaltma işlemleri takip edilerek yaklaşık 200 kilograama düşürülmesiyle alınmıştır.
- Değirmen girişleri, değirmenlere kömür besleyen ‘coalfeeder’ ünitesinden her vardiyada vardiya ortalarında alınmıştır.
- Değirmen çıkışı numuneleri diğer bir deyişle pulverize kömür örnekleri santralde değirmende öğütülüp kazana yanma için beslenen örneklerdir. Bu örnekler vardiya başında ve vardiya ortasında olmak üzere her vardiyada iki kez ‘burner’ denilen ve numune almanın havayla gerçekleştiği düzenek yoluyla alınmıştır. Pulverize kömür numunelerinin alınmasıyla paralellik gösteren uçucu kül numunelerinin alınması analizler ve kıyaslamalar için önemlidir.
- Yatak külü numuneleri her vardiyanın ortasında vardiyayı temsil edecek şekilde alınmıştır.
- Uçucu küller her vardiyada vardiya başı ve vardiya ortası olmak üzere iki kez alınmıştır. Uçucu küllerden alınan numuneler her bir ESP sırasından ve ESP sıralarının birleşimi olan silolardan alınmıştır.

Yatak külü ve uçucu küllerden alınan numunelerin kazanda yanan ve numunesi alınan numuneyi birebir yansıtması istenmiştir. Numune sayısı bu yüzden olabildiğince fazla tutulmuştur. Şekil 5.2’de santralin akım şeması ve numune alınan noktalar gösterilmektedir.



Şekil 5.2 Eren Enerji termik santrali akım şeması ve numune alma noktaları.

Numune alımı akım şeması üzerinde numaralandırılmış noktalardan Çizelge 5.1’de belirtilen sıklıklarda gerçekleştirilmiştir. Alınan numuneler sınıflandırılmış, sistematik olarak kodlanmış ve standartlara uygun olarak numune azaltma yöntemleri ile azaltılarak hazırlanmıştır. Numunelerin kodlandırılmasında pulverize kömür örnekleri gün-saat-ünite-değirmen-brülör kısaltmaları kullanılarak bir sistematik izlenmiştir. Örnek olarak Çizelge 5.2’de yer alan kodlandırmada;

Ç17002C1 Kodlu Numune : Çarşamba günü, saat 17:00, 2. ünite, C değirmeni, 1. Brülör’den alınan numunedir.

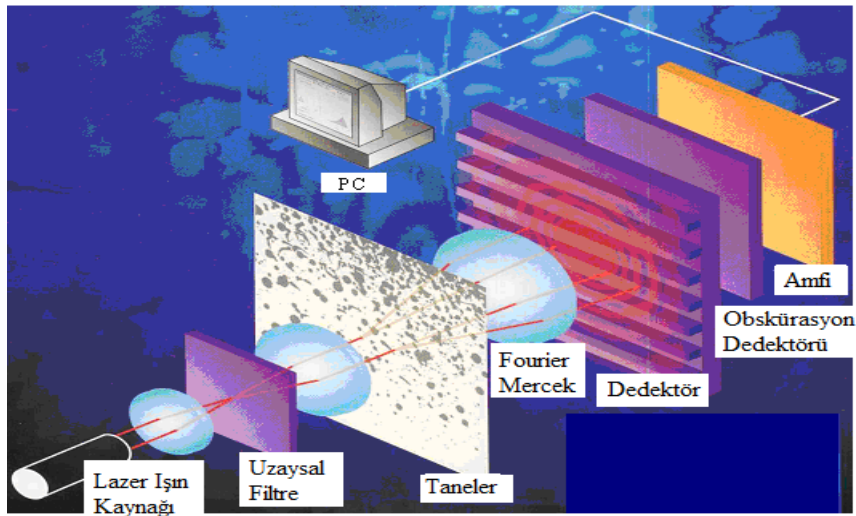
Farklı noktalardan alınan numunelerde farklı analizler uygulanmış ve termik santralin girdi ve çıktılarıyla kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Numunelerin alındığı süreçte santralde tek tip kömür kullanılmış ve santral sistemine müdahaleden olabildiğince kaçınılmıştır. Stok sahasından alınan numunelerde kömür karakteristiği açısından kısa analizler yapılmış, yüzdürme-batırma testleri uygulanmıştır. Aynı zamanda stok sahasından alınan örnekler petrografik olarak incelenmiş, yakılan kömürün petrografik özellikleri belirlenmiştir. Değirmen girişinden alınan örneklerin boyut dağılımları belirlenmiş ve kül analizleri yapılmıştır. Kazana beslenen kömürün boyut dağılımını belirleyerek, boyut dağılımının etkisini anlamak üzerine çalışma yapılması planlandığı için çok sayıda numune ile çalışılmıştır. Değirmen çıkışından alınan pulverize kömür örnekleri Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla çalışılmış ve her bir vardiyada kazana beslenen kömürün boyut ortalamaları

elde edilmiştir. Şekil 5.3'te laboratuvarımızda bulunan Malvern Mastersizer S 2000 cihazına ait bir görünüm verilmiştir.



Şekil 5.3 Malvern Mastersizer S 2000 cihazına ait bir görünüm.

Lazer difraktometre yöntemiyle çalışan “*Malvern Mastersizer S*” boyut analiz cihazı helyum-neon lazer ışın kaynağından yararlanarak ölçüm yapmaktadır. Bu yöntemin gerçek adı “*düşük açılı lazer ışık saçınımı (low angle laser light scattering-LALLS)*” dır. Yöntem 0,1-2000 μm arası boyutlu malzemelerin boyut dağılımlarının belirlenmesinde bir çok endüstri alanında tercih edilen standart bir yöntem haline gelmeye başlamıştır. 30 yıl kadar öncesine dayanan yöntem, saçınım açısı ile tane boyutu arasındaki ters orantı prensibine dayanmaktadır. Boyut analiz cihazının basitleştirilmiş çalışma teorisi şematik olarak Şekil 5.4'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4 Boyut analiz cihazının basitleştirilmiş çalışma teorisi (URL-10 2013).

He-Ne Lazer ışık kaynağından çıkan ışın uzaysal olarak filtre edildikten sonra mercekler yardımıyla paralel ışık çizgileri şekline getirilir. Bu çizgiler Fourier ya da ters Fourier mercekleriyle, merkezden dışa doğru yayılmış ve boyutları da yayılma çapı arttığı oranda büyüyen 15-40 kadar ışığa duyarlı dilimciğin birlikte bulunduğu bir algılayıcının merkezinde bir noktaya odaklanır. Lazer ışığının önüne bir tane akışı rastlamazsa, ışık saçınımına (kırılmaya) uğramadan algılayıcının merkezindeki iğne deliği gibi küçük bir delikten geçer ve arkadaki karartma algılayıcısının üstüne düşer. Tane akışına rastlayan ışık, tane boyutuyla ters orantılı bir açıyla kırılır. Fourier merceğinin temel özelliği, bir tane kümesinden geçerken kırılan lazer ışığının saçınımını toplar ve belli açılardakileri gruplandırarak algılayıcı dizisine gönderir. Gruplandırılan ışık kümeleri algılayıcı parçacıklarında değerlendirilir ve “ *ışık enerjisi dağılımı* ” olarak adlandırılan ışık şiddeti verilerine dönüştürülür. Bu ışık verileri ile tane boyut dağılımı arasındaki ilişki kullanılarak lazer ışığı önünden geçirilen tanelerin boyut dağılımı hesaplanır.

Değirmen çıkışlarından alınan numunelerde her bir değirmene ait 4 brülörden çıkan numunelerle birlikte vardiyada; vardiya başı ve ortası olmak üzere alındığından ve 6 değirmen olduğundan 48 numune ile çalışılmıştır. Değirmen çıkışlarından numuneler 9 vardiya boyunca 2. ünite ve 3. ünitelerden alınmıştır.

Uçucu kül örnekleri santralden ESP sıralarından ve silolardan ayrı ayrı olarak tedarik edilmiş, uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon içeriğini bulmak üzere yakılmış ve yanmamış karbon analizleri gerçekleştirilmiştir. En fazla yanmamış karbon içeren uçucu kül örneği petrografik olarak incelenmiş ve yapısı ortaya koyulmuştur. Yatak külü örnekleri de benzer şekilde öğütülerek yanmamış karbon analizleri yapılmış ve petrografik olarak incelenmiştir.

5.2 STOK SAHASINDAN ALINAN KÖMÜR ÖRNEĞİ ÇALIŞMALARI

Stok sahasından alınan kömür örneğinin boyut dağılımını belirlemek için boyut analizi yapılmış, kısa analizler ile kül, uçucu madde, sabit karbon, toplam kükürt ve ısı değeri belirlenmiştir. Bu numune üzerinde yüzdürme batırma testleri yapılmıştır.

5.2.1 Elek Analizi

Kömür stok sahasında alınan yaklaşık 1 tona yakın numune sahada numune azaltma işlemleri uygulanarak yaklaşık 200 kilograama kadar azaltılarak BEÜ Maden Mühendisliği Bölümü Yakup Keskin Cevher Hazırlama Laboratuvarları'na getirilmiştir. Bu numune standartlara uygun azaltma aşamalarından geçirilerek boyut analizi yapılmış ve Çizelge 5.2'de analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.2 Elek analiz sonuçları.

Boyut Aralığı (mm)	Miktar (%)	$\Sigma E\ddot{U}$ (%)↓	ΣEA (%)↑
-50+35	8,98	8,98	100,00
-35+25	11,87	20,85	91,02
-25+18	15,85	36,7	79,15
-18+12,5	11,62	48,32	63,3
-12,5+10	9,03	57,35	51,68
-10+6,70	5,69	63,04	42,65
-6,70+4,75	7,01	70,05	36,96
-4,75+2,36	7,78	77,83	29,95
-2,36+1,7	3,13	80,96	22,17
-1,7+0,5	7,60	88,56	19,04
-0,5	11,44	100,00	11,44
Toplam	100,00		

Çizelge 5.2 incelendiğinde numunenin %11.44'ü 0.5 mm'nin, %91.02'sinin de 35 mm'nin altında olduğu görülmektedir.

5.2.2 Kısa Analiz

Stok sahasından alınan örnek menşei Kolomibiya olan 170 000 tonluk kömürü temsil eden bir numunedir. Stok sahasından alınan örneğin kısa analizi yapılmış ve Çizelge 5.3'te verilmiştir.

Çizelge 5.3 Stok sahasından alınan kömürün kısa analiz sonuçları.

<u>Analiz</u>	<u>Kuru Kömür</u>	<u>Orijinal Kömür</u>
Nem (%)	-	14,63
Kül (%)	9,52	8,13
Uçucu Madde Miktarı (%)	27,49	24,71
Sabit Karbon (%)	51,89	46,64
Toplam Kükürt (%)	0,44	0,40
Üst Isıl Değer (Kcal/kg)	6628	5958
Alt Isıl Değer (Kcal/kg)	6403	5755

Numune orjinal bazda %8.13 kül, %24.71 uçucu madde, %46.64 sabit karbon içermektedir. Numunenin üst ısıl değeri 5958 kcal/kg'dır. Nem miktarının %14 civarında olması numunenin şubat aylarında temin edilmesi ve numune sürecindeki hava koşullarının etkisi olduğu söylenebilir. Kısa analizleri yapılan kömürün alt bitümlü kömür olduğu tespit edilmiştir.

5.2.3 Yüzdürme Batırma Testleri

Santrale alınan kömürün yıkanmış kömür olup olmadığını, istenilen kül+kalori değerini elde edecek şekilde hazırlanmış birden fazla kömür karışımı olup olmadığını anlamak için numuneye yüzdürme batırma testleri yapılarak kömürün yapısı hakkında bilgi edinilmiştir. Stok sahasından alınan kömür numunesinden boyut analizi için ayrılan numunenin boyut analizi yapıldıktan sonra bazı boyutlar birleştirilerek o boyutlarda yüzdürme-batırma deneyleri uygulanmıştır. Bu deneylerle elde edilen bulgularla kazana beslenen kömürün yapısı daha iyi anlaşılacaktır. Termik santrallerde kullanılacak kömür ve özellikleri istenilen standartlarda olmalıdır.

Numune, -50+25mm, -25+10mm ve -10mm boyut gruplarında sınıflandırılarak yüzdürme batırma testleri için hazırlanmış ve her boyut grubunda 1.60 g/cm³ ve 1.90 g/cm³ yoğunluklarda yüzdürme batırma testi yapılmıştır. Çizelge 5.4'de bu yüzdürme batırma testlerinin sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.4 Stok sahasından alınan kömür numunesinin yüzdürme-batırma testleri sonuçları.

-50+25 mm Boyut Grubu		
Yoğunluk (g/cm ³)	Ürün	
	Miktar (%)	Kül (%)
-1,60	95,54	2,79
+1,60 -1,90	0,00	-
+1,90	4,46	82,81
Toplam	100,00	6,36
-25+10 mm Boyut Grubu		
Yoğunluk (g/cm ³)	Ürün	
	Miktar (%)	Kül (%)
-1,60	96,54	2,05
+1,60 -1,90	0,36	36,99
+1,90	3,10	77,05
Toplam	100,00	4,50
-10+0,5 mm Boyut Grubu		
Yoğunluk (g/cm ³)	Ürün	
	Miktar (%)	Kül (%)
-1,60	96,30	2,79
+1,60 -1,90	0,00	-
+1,90	3,70	64,59
Toplam	100,00	5,08

Çizelge 5.4'te verilen sonuçlar hesaben birleştirilerek -50+0,5 boyut grubu yüzdürme batırma test sonuçları Çizelge 5.5 'te verilmektedir.

Çizelge 5.5 Stok sahasından alınan kömür numunesinin hesaben birleştirilmiş yüzdürme yüzdürme batırma test sonuçları.

Yoğunluk (g/cm ³)	Ürün	
	Miktar (%)	Kül (%)
-1,60	96,08	2,47
+1,60 -1,90	0,16	36,99
+1,90	3,76	78,47
Toplam	100,00	5,38

Çizelge 5.5'teki sonuçların incelenmesi ile görüleceği üzere -50+0,5 mm boyut gruplu stok sahasından alınan numunede % 3,76 oranında 1.90 gr/cm³ den daha büyük yoğunluklu (+1,90 gr/cm³) malzeme bulunmakta olup, bu malzemenin kül içeriği % 78,47 dir.

Tüm boyut gruplarında özellikle 1.60 gr/cm^3 yoğunlukta yüzen miktarlarda bir birikme olmuştur. Bir kömür hazırlama tesisinden alınmış olan yıkanmış kömür normalde çok düşük miktarda yüksek yoğunluk malzemesi ($1,90 \text{ gr/cm}^3$) içerir. Eren Enerji kömür stok sahasından alınan Kolombiya menşee bu kömürün bir kömür hazırlama tesisinden alınmış ve kül yapıcı malzemelerin uzaklaştırılmış olduğu yüzdürme batırma testleri sonuçlarından görülmektedir. Çizelge 5.3'te verilen sonuçlarda görüldüğü üzere tövenan kömürün külü % 8.13 iken $-50+0,5$ mm malzemenin külünün 5.38 çıktığı görülmektedir. Burda -0.5 mm (0.5 mm altı) malzemenin külünün % 28.3 olması ve miktar olarak da bütün boyut grupları toplamı arasında yaklaşık %12 lik bir payının olmasından kaynaklanmaktadır.

5.3 DEĞİRMEN GİRİŞLERİNDEN ALINAN KÖMÜR ÖRNEĞİ ÇALIŞMALARI

Değirmenlerde nemli kömürlerin öğütülmesi güçtür. Gelişen teknolojilerle öğütülen kömür ısıtılmış hava ile kazana üflenmektedir. Kömürdeki nem kazana girmeden önce giderilmektedir. Dolayısıyla değirmen girişleri numunelerinin nem içeriklerinin yanmamış karbon ile bir bağlantısı olmayacağı varsayılabilir. Ancak değişen vardiyalarda değişik nem miktarları kömürün öğütülmesiyle birebir ilişkili olduğu için nem miktarlarındaki farklılıkların anlaşılması çok belirgin farklılıkların olmadığı görülmesi önemlidir. Bir girdi parametresi olan değirmen girişi numunelerinin nem miktarlarının yanmamış karbona etkisi bu çalışmada ilişkilendirilmemiş ancak sistemin girdi parametresi olduğu için analizleri yapılarak bulgular elde edilmiştir.

Değirmen girişlerinden alınan numuneler konileme dörtleme yoluyla azaltılarak kül analizi için numune alınmış ve bu numuneler öğütülerek kül analizleri yapılmıştır. Bu analizlerle değirmen girişi numunelerinde vardiya vardiya farklılıklar araştırılmıştır. Değirmen girişleri numunelerinin kül analiz sonuçlarıyla yanmamış karbon arasında bağlantı kurulması mümkün değildir. Ancak burdaki öne çıkan farklılıklar, dolaylı olarak bir çok parametreyi etkilediği için sonuçta bir farklılığa sebep olabilecektir. Çizelge 5.6'da değirmen girişlerine ait numunelerinin nem ve kül analizleri verilmiştir.

Çizelge 5.6 Değirmen Girişinden alınan örneklerin nem ve kül analizleri.

2. Ünite(13.02)	Nem (%)	Kül(%)	3. Ünite(14.02)	Nem (%)	Kül(%)
Cfa	13,60	10,21	Cfa	11,96	12,44
Cfb	13,41	10,82	Cfb	12,99	10,79
Cfc	13,53	11,17	Cfc	11,65	11,63
Cfd	13,72	10,43	Cfd	11,83	10,34
Cfe	13,40	11,04	Cfe	11,28	13,44
Cff	13,85	9,70	Cff	10,87	11,67
2. Ünite(14.02)	Nem %	Kül(%)	3. Ünite(15.02)	Nem %	Kül(%)
Cfa	12,90	8,78	Cfa	13,18	8,56
Cfb	13,23	10,52	Cfb	13,30	13,70
Cfc	13,01	9,80	Cfc	13,69	11,94
Cfd	12,67	9,62	Cfd	8,02	12,37
Cfe	13,12	9,65	Cfe	13,28	12,47
Cff			Cff	18,37	8,97

Değirmen girişi numunelerinde nem miktarları %8.02 ile %13.85 arasındadır ve bu değer %14.63 olan stok sahası kömür örneği ile büyük ölçüde tutarlılık göstermektedir. Nemdeki kaybın nedeni sistem içine giren kömürün değirmen girişine kadar olan süreçteki nem kaybıdır. Kül değerleri incelendiğinde %8.78 ile %13.70 arasında olduğu görülmektedir. Bu değerler stok sahasından alınan orjinal kömürün kül değeriyle büyük ölçüde tutarlıdır. Değirmen girişi kömür örneklerinde kül miktarının değişik değerlerde olmasının nedeni; serbestleşmesinin artması ve alınan örneklerin stok sahası kömür örneğini temsil etmemesi olarak düşünülmektedir. Değirmen girişi numunelerin aynı zamanda boyut dağılımları belirlenmiş ve bu değerler incelendiğinde değirmen girişlerinde kömür örneklerinin boyut dağılımlarının farklılık gösterdiği görülmüştür. Boyut dağılımları elde edilmesi için her bir değirmen girişinden alınan farklı miktardaki numunelerden numune alınmış ve elek analizi farklı miktarlarda yapılmıştır. Değirmen girişi kömür numunelerinin elek analiz sonuçlarıyla yanmamış karbon arasında bağlantı imkansız gibi gözüksede değirmen performansının sabit olduğu kabul edildiğinde ve diğer parametrelerdeki farklılaşmalar gözardı edilginde bu sonuçlar da anlamlı hale gelebilecektir. Bu aşamada, daha çok kazana beslenen kömür boyutları karakterize edilmeye çalışılmış, değirmen girişi numunelerin boyut analizleri

vardiyalar arasındaki farklılıkların belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Değirmen girişi örnekleri Cfa, Cfb, Cfc, Cfd, Cfe, Cff şeklinde kodlandırılmıştır. Cfa ile kodlanan değirmen girişi 'Coalfeeder A' yani A değirmeninin girişine ait örnektir. Çizelge 5.7'de değirmen girişi numunelerin elek analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.7 Değirmen girişi numunelerinin elek analiz sonuçları.

13.02.2013 Tarihli 2. Ünite Numuneleri						
	Cfa	Cfb	Cfc	Cfd	Cfe	Cff
+6.7	24,56	18,17	15,80	19,96	24,62	16,46
-6.7+4.75	7,94	9,79	7,65	10,32	10,14	8,42
-4.75+2.36	16,38	18,62	18,52	19,25	17,68	19,08
-2.36+1.18	16,59	17,74	20,06	16,43	16,27	18,45
-1.18+0.6	11,67	12,04	13,14	11,14	11,00	12,79
-0.6	22,86	23,63	24,83	22,89	20,29	24,79
14.02.2013 Tarihli 2. Ünite Numuneleri						
	Cfa	Cfb	Cfc	Cfd	Cfe	Cff
+6.7	32,36	15,66	23,41	25,75	21,73	*
-6.7+4.75	8,91	8,34	8,62	8,33	7,64	*
-4.75+2.36	15,37	19,59	17,32	16,19	17,15	*
-2.36+1.18	13,90	17,93	15,81	15,52	16,91	*
-1.18+0.6	9,21	12,09	11,27	10,82	11,46	*
-0.6	20,26	26,39	23,57	23,38	25,09	*
14.02.2013 Tarihli 3. Ünite Numuneleri						
	Cfa	Cfb	Cfc	Cfd	Cfe	Cff
+6.7	12,23	15,12	11,52	18,64	23,49	23,48
-6.7+4.75	5,91	9,90	9,74	8,35	9,30	10,19
-4.75+2.36	13,37	19,23	12,72	16,01	18,21	17,42
-2.36+1.18	16,87	18,80	21,19	17,57	16,06	16,10
-1.18+0.6	14,99	12,82	15,10	12,98	11,06	10,65
-0.6	36,63	24,11	29,74	26,45	21,89	22,16
15.02.2013 Tarihli 3. Ünite Numuneleri						
	Cfa	Cfb	Cfc	Cfd	Cfe	Cff
+6.7	22,66	9,04	15,68	8,00	12,39	23,32
-6.7+4.75	7,58	8,16	8,06	5,40	7,78	9,32
-4.75+2.36	15,98	19,27	18,32	16,59	18,54	29,36
-2.36+1.18	17,70	20,28	20,03	21,44	20,52	22,40
-1.18+0.6	12,64	14,95	14,36	16,72	14,53	7,37
-0.6	23,43	28,31	23,55	31,86	26,23	8,23

* Numune alınmamıştır.

Numunelerin elek analizi incelendiğinde vardiyalar arasında değirmenlere beslenen kömürün boyut dağılımlarında farklılıklar görülmektedir. Her bir değirmen girişi örneği için -0.6 mm'de malzeme miktarı %8.23 ile %36.63 arasında değişmektedir. Elek analizi yapılan

örneklerde +6.70 mm malzeme miktarının %8 ile %32.36 arasında değişim gösterdiği görülmektedir.

5.4 DEĞİRMEN ÇIKIŞLARINDAN ALINAN KÖMÜR ÖRNEĞİ ÇALIŞMALARI

Değirmen çıkışlarından her vardiyada, vardiya başı ve vardiya ortası olmak üzere iki kez örnek alınmıştır. Kazana beslenen her bir unite için ortalama 48 numune üzerinde yapılan boyutlandırma çalışmalarıyla, kazanda yakılan tane boyutunda ve vardiyaya ait ortalama boyutlardaki değişimler araştırılmıştır. Çizelge 5.8’de örnek bir vardiyaya ait değirmen çıkışı numunelerinin örnek bir vardiyaya ait analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.8 Değirmen çıkışı numunelerinin örnek bir vardiyaya ait analiz sonuçları.

Tarih: 13.02.2013,Çarşamba Saat:17:00 Ünite:2						Tarih: 13.02.2013, Çarşamba Saat:21:00 Ünite:2					
(Ç17002a1:Çarşamba,1700, 2 ünite, A Değirmeni, 1.brülör)											
Numune Kodu	D01	D05	D09	D32	D43	Numune Kodu	D01	D05	D09	D32	D43
Ç17002a1	8.34	50.26	110.82	9.16	56.19	Ç21002a1	14.73	75.42	166.30	11.37	84.66
Ç17002a2	8.02	59.55	150.96	8.49	71.27	Ç21002a2	15.62	75.40	161.58	13.14	82.97
Ç17002a3	11.34	68.21	158.06	10.17	78.20	Ç21002a3	6.11	43.16	105.21	6.96	50.64
Ç17002a4	8.10	49.86	114.75	8.73	57.22	Ç21002a4	7.00	47.73	109.85	8.41	54.55
Ç17002b1	5.59	49.23	126.08	7.11	58.65	Ç21002b1	12.56	78.84	190.89	10.14	92.43
Ç17002b2	5.90	53.24	128.96	7.70	61.35	Ç21002b2	17.31	80.06	170.25	13.85	88.53
Ç17002b3	5.36	36.51	94.67	12.27	44.25	Ç21002b3	*	*	*	*	*
Ç17002b4	5.93	48.15	118.85	7.36	56.66	Ç21002b4	8.37	60.10	137.69	9.56	68.23
Ç17002c1	9.59	54.05	120.25	9.11	60.91	Ç21002c1	14.34	68.29	157.85	12.50	79.06
Ç17002c2	12.00	60.81	134.44	10.79	68.34	Ç21002c2	14.04	67.79	151.43	12.19	76.76
Ç17002c3	2.84	21.27	65.28	4.04	28.80	Ç21002c3	2.29	17.03	52.70	3.49	23.94
Ç17002c4	2.63	19.01	62.24	3.81	27.15	Ç21002c4	6.37	49.98	125.20	7.44	59.26
Ç17002d1	5.01	39.23	123.20	6.26	53.37	Ç21002d1	8.10	59.12	139.17	8.96	68.05
Ç17002d2	5.46	46.49	124.79	6.65	57.18	Ç21002d2	13.35	69.07	146.81	12.86	76.19
Ç17002d3	13.67	75.28	159.35	12.03	82.45	Ç21002d3	10.06	51.79	115.53	9.73	58.93
Ç17002d4	18.76	69.29	128.79	26.33	72.33	Ç21002d4	12.98	68.10	148.35	11.82	75.93
Ç17002e1	0.58	5.42	41.09	1.59	15.13	Ç21002e1	1.14	13.65	89.93	2.39	31.95
Ç17002e2	2.07	32.65	164.88	3.20	60.61	Ç21002e2	17.88	102.82	253.33	12.26	121.68
Ç17002e3	1.09	11.23	61.97	2.28	23.10	Ç21002e3	7.45	59.74	154.48	7.55	72.31
Ç17002e4	1.12	11.02	57.93	2.29	21.84	Ç21002e4	10.02	70.33	163.50	9.73	80.40
Ç17002f1	4.23	31.96	98.44	5.45	43.62	Ç21002f1	8.79	64.25	149.97	6.28	73.51
Ç17002f2	3.95	41.00	130.50	5.25	55.60	Ç21002f2	10.96	63.86	150.77	10.91	74.11
Ç17002f3	1.20	8.97	29.52	2.27	13.04	Ç21002f3	9.04	41.26	102.40	17.19	49.56
Ç17002f4	4.63	28.89	81.96	5.73	38.45	Ç21002f4	7.70	63.72	154.27	8.41	73.82
ortalama	6.14	40.48	107.82	7.42	50.23	ortalama	10.27	60.50	143.36	9.87	70.32
Vardiya ortalaması: (D01=8.20), (D05=50.49), (D09=125.60), (D32=8.65), (D43=60.28)											

* Numune alınmamıştır

Boyut analizleri Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla yapılmış ve cihazın sağladığı 5 boyut parametresinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu boyut parametreleri ve anlamları;

D01: Numunenin %10'unun geçtiği boyut (μm),

D05: Numunenin %50'unun geçtiği boyut (μm),

D09: Numunenin %90'unun geçtiği boyut (μm),

D32: Hacim-yüzey ortalama çap (Sauter ortalaması)

$$D32 = \frac{\sum_1^n D_i^3 v_i}{\sum_1^n D_i^2 v_i} \quad (1)$$

D43: Hacim-ağırlık ortalama çap (DeBroukere ortalaması)

$$D43 = \frac{\sum_1^n D_i^4 v_i}{\sum_1^n D_i^3 v_i} \quad (2)$$

şeklindedir.

Her hangi bir numuneye ait bir analiz sonucunda bu numuneye ait yukarıdaki değerleri hiç bir interpolasyon yapmadan sonuç ekranından okumak mümkündür.

Her vardiyadaki kazana beslenen ünite içindeki her bir değirmenden çıkan numuneler ayrı ayrı kodlanmış ve her birinin ayrı ayrı boyut dağılımları belirlenmiştir. Kodlandırılan ve hazırlanan numuneler santrifüj tüplerine konularak deney için hazırlanmıştır. Şekil 5.5'te hazırlanan pulverize kömür numunelerine ait bir görünüm yer almaktadır.



Şekil 5.5 Hazırlanan pulverize kömür numunelerine ait bir görünüm.

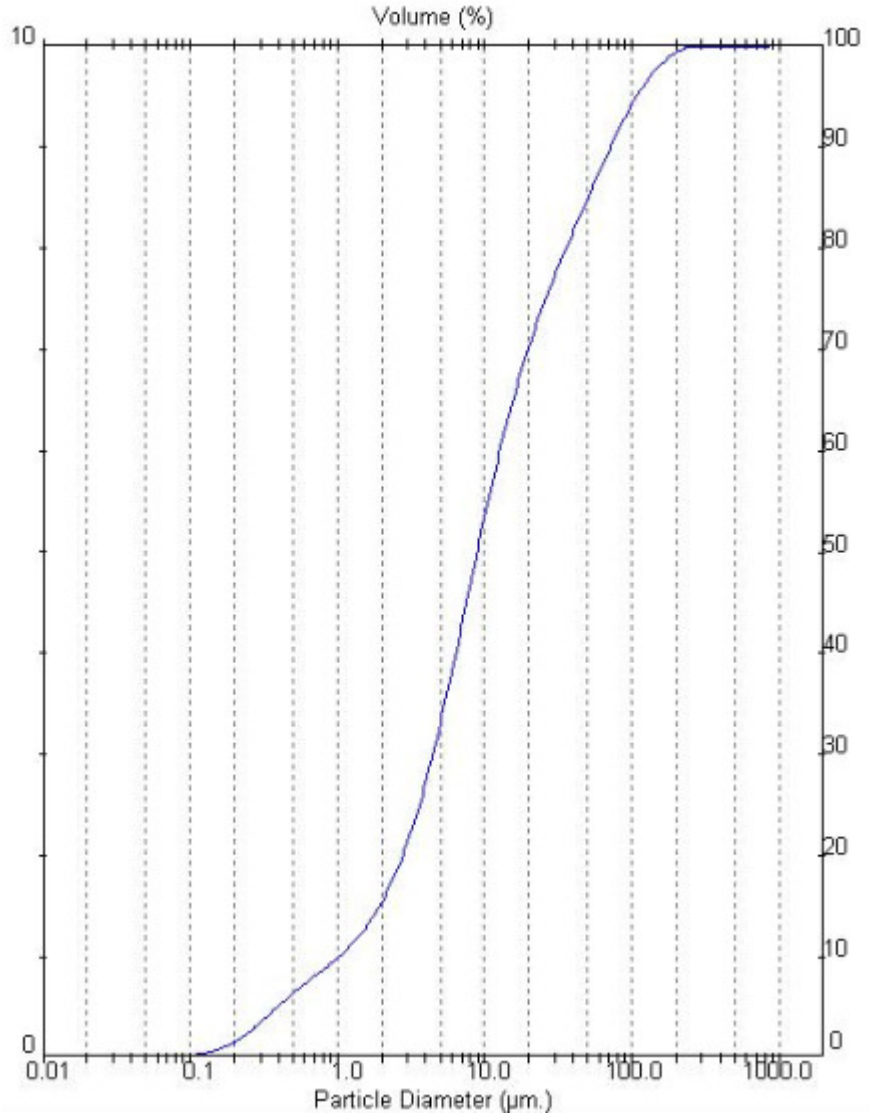
Boyut Analizleri Malvern Mastersizer S 2000 cihazıyla yapılmıştır. Pulverize kömür örneklerinden 1 grama yakın numuneler alınmış ve bunlar sanrifüj tüplerine konularak numuneye ait bilgiler kodlanmıştır. Tüpler 40 ml seviyelerine kadar su ile doldurularak su-kömür karışımı sağlanmış. Numunelerin topaklanma ihtimaline karşı tüpler deneyler öncesi çalkalanmıştır. Mastersizer cihazı ile hazırlanan yaklaşık 800 numunenin analizleri su ortamında yapılmış ve cihazın çalışma aralıklarında her bir numune için standart ölçülerde analizleri yapılmıştır. Şekil 5.6'da bir numunenin Malvern Mastersizer örnek boyutlandırma sonuçları verilmiştir.

ID: Q09002E2	Run No: 17	Measured: 2.3.2013 14:04					
File: Q09002E2	Rec. No: 1	Analysed: 2.3.2013 14:04					
Path: C:\SIZERS\DATA\		Source: Analysed					
Range: 300RF mm	Beam: 2.40 mm	Sampler: None					
Presentation: 30HD	Analysis: Polydisperse	Obs': 15.9 %					
Modifications: None		Residual: 0.967 %					
Conc. = 0.0099 %\vol	Density = 1.000 g/cm ³	S.S.A= 2.7788 m ² /g					
Distribution: Volume	D[4, 3] = 24.39 μ m	D[3, 2] = 2.16 μ m					
D(v, 0.1) = 1.02 μ m	D(v, 0.5) = 8.92 μ m	D(v, 0.9) = 71.91 μ m					
Span = 7.950E+00	Uniformity = 2.311E+00						
Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%	Size (um)	Volume Under%
0.05	0.00	0.67	7.87	9.00	50.27	120.67	96.10
0.06	0.01	0.78	8.60	10.48	54.73	140.58	97.38
0.07	0.05	0.91	9.37	12.21	58.94	163.77	98.41
0.08	0.10	1.06	10.20	14.22	62.84	190.80	99.19
0.09	0.18	1.24	11.13	16.57	66.39	222.28	99.72
0.11	0.30	1.44	12.22	19.31	69.60	258.95	100.00
0.13	0.47	1.68	13.52	22.49	72.50	301.68	100.00
0.15	0.72	1.95	15.07	26.20	75.14	351.46	100.00
0.17	1.06	2.28	16.94	30.53	77.57	409.45	100.00
0.20	1.52	2.65	19.19	35.56	79.84	477.01	100.00
0.23	2.13	3.09	21.84	41.43	82.08	555.71	100.00
0.27	2.88	3.60	24.92	48.27	84.31	647.41	100.00
0.31	3.74	4.19	28.43	56.23	86.52	754.23	100.00
0.36	4.62	4.88	32.33	65.51	88.70	878.67	100.00
0.42	5.49	5.69	36.58	76.32	90.81		
0.48	6.32	6.63	41.06	88.91	92.79		
0.56	7.12	7.72	46.67	103.58	94.57		

Şekil 5.6 Örnek bir numunenin Malvern Mastersizer S 2000 ekran çıktısı.

Malvern Mastersizer cihazından alınan herhangi bir vardiyadaki örnek boyutlandırma sonuçları incelendiğinde ilgilenilen D01, D05, D09, D32, D43 değerleri görülmektedir. Her bir pulverize kömür örneği için yapılan analizler sonucu bu boyut parametreleri elde edilmiştir. Bu boyut parametrelerinin yanında boyut dağılımları analizleri sonucunda elekaltı

grafiği elde edilmiştir. Örnek bir boyut dağılımına ait elde edilen elekaltı eğrisi Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 Bir numunenin örnek bir boyut dağılımına ait elde edilen elekaltı eğrisi.

Bu boyut parametreleri D01, D05, D09, D32, D43 her bir numune için belirlenmiş ve her bir vardiyadaki kazana beslenen kömürlerin ortalama boyut parametreleri aritmetik olarak elde edilmiştir. Her vardiyadaki ortalamalar her üniteye ait 6 değirmenin 24 çıkışından çıkan pulverize kömür numunelerinin yani diğer bir ifadeyle ortalama 48 numunenin ortalama boyutlarıdır. Bu analizler sonucunda Çizelge 5.9 ve 2. Ünitenin ortalama boyut parametre sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.9 2. Ünitenin ortalama boyut parametre sonuçları.

2. Ünite	D01	D05	D09	D32	D43
1. vardiya	6.38	42.06	114.44	7.02	52.72
2. vardiya	8.21	50.49	125.60	8.65	60.28
3. vardiya	9.16	56.79	141.30	9.26	67.56
4. vardiya	8.74	57.34	147.95	9.20	69.14
5. vardiya	8.60	56.19	141.33	9.27	67.21
6. vardiya	9.51	59.70	151.56	10.19	71.75
7. vardiya	10.99	63.88	155.97	11.95	75.24
8. vardiya	11.64	64.11	159.15	11.99	76.42
9. vardiya	15.99	81.17	191.60	15.72	94.32

2. Ünitenin ortalama boyut parametre sonuçları incelendiğinde her bir boyut parametresindeki ortalama değerlerin değişik vardiyalarda değişimler gösterdiği görülmektedir. Boyut parametresindeki ortalama değerler incelendiğinde ilk vardiyadan son vardiyaya doğru ortalama değerlerde bir artış gözlenmektedir. Boyut parametresindeki ortalama değerler incelendiğinde D01 boyut parametresinin 6.38 μm ile 15.99 μm arasında, D05 boyut parametresinin 42.06 μm ile 81.17 μm arasında, D09 boyut parametresinin 114.44 μm ile 191.60 μm arasında, D32 boyut parametresinin 7.02 μm ile 15.72 μm arasında, D43 boyut parametresinin 52.72 μm ile 94.32 μm arasında olduğu belirlenmiştir. Çizelge 5.10 3. Ünitenin boyut parametre sonuçları verilmiştir.

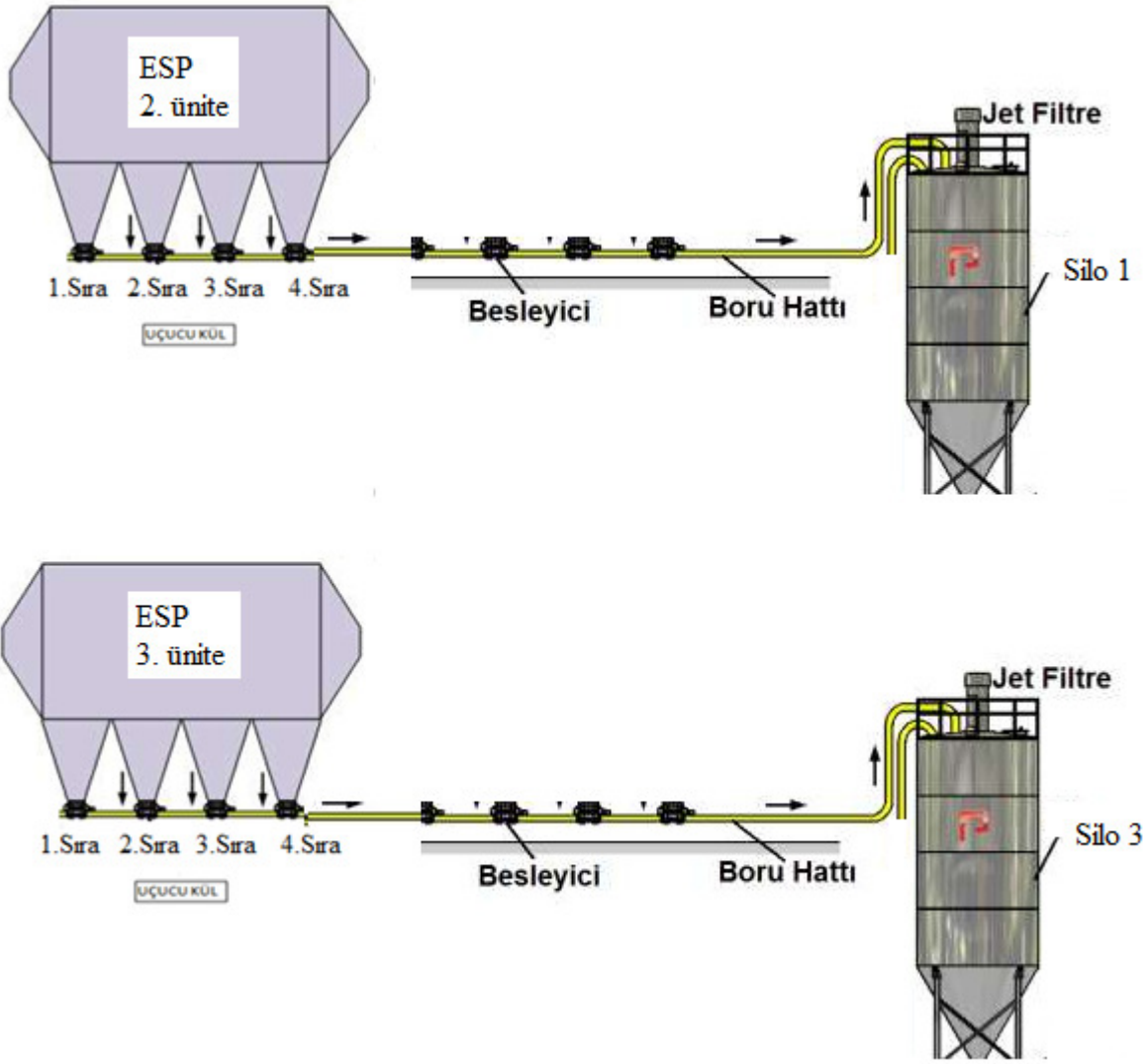
Çizelge 5.10 3. Ünitenin ortalama boyut parametre sonuçları.

3. Ünite	D01	D05	D09	D32	D43
1. vardiya	9.09	56.19	137.88	9.01	66.42
2. vardiya	7.69	50.13	125.57	7.92	59.72
3. vardiya	9.08	51.18	123.84	9.13	60.23
4. vardiya	11.48	61.00	144.42	11.49	70.95
5. vardiya	10.27	58.26	136.05	9.65	67.23
6. vardiya	8.50	47.21	118.18	8.67	56.65
7. vardiya	10.44	57.16	134.99	12.16	66.35
8. vardiya	10.81	61.22	140.12	10.96	69.71
9. vardiya	13.52	64.20	147.53	13.17	73.76

3. ünite boyut parametreleri incelendiğinde boyut parametre ortalama değerleri ilk vardiyadan son vardiyaya doğru bir artış eğiliminde olduğu söylenebilir. 3. Ünite için de vardiyadan vardiyaya boyut parametreleri ortalama değerlerinde farklılıklar görülmektedir. Boyut parametresindeki ortalama değerler incelendiğinde D01 boyut parametresinin 7.69 µm ile 13.52 µm arasında, D05 boyut parametresinin 47.21 µm ile 64.20 µm arasında, D09 boyut parametresinin 118.18 µm ile 147.53 µm arasında, D32 boyut parametresinin 7.92 µm ile 13.17 µm arasında, D43 boyut parametresinin 56.65 µm ile 73.76 µm arasında olduğu belirlenmiştir. Bu boyut ortalamalarıyla her bir vardiyaya ait uçucu kül örneklerinden ve yatak külünden alınan örneklerdeki yanmamış karbon içerikleri karşılaştırılarak çıkarım yapılmaya çalışılmıştır.

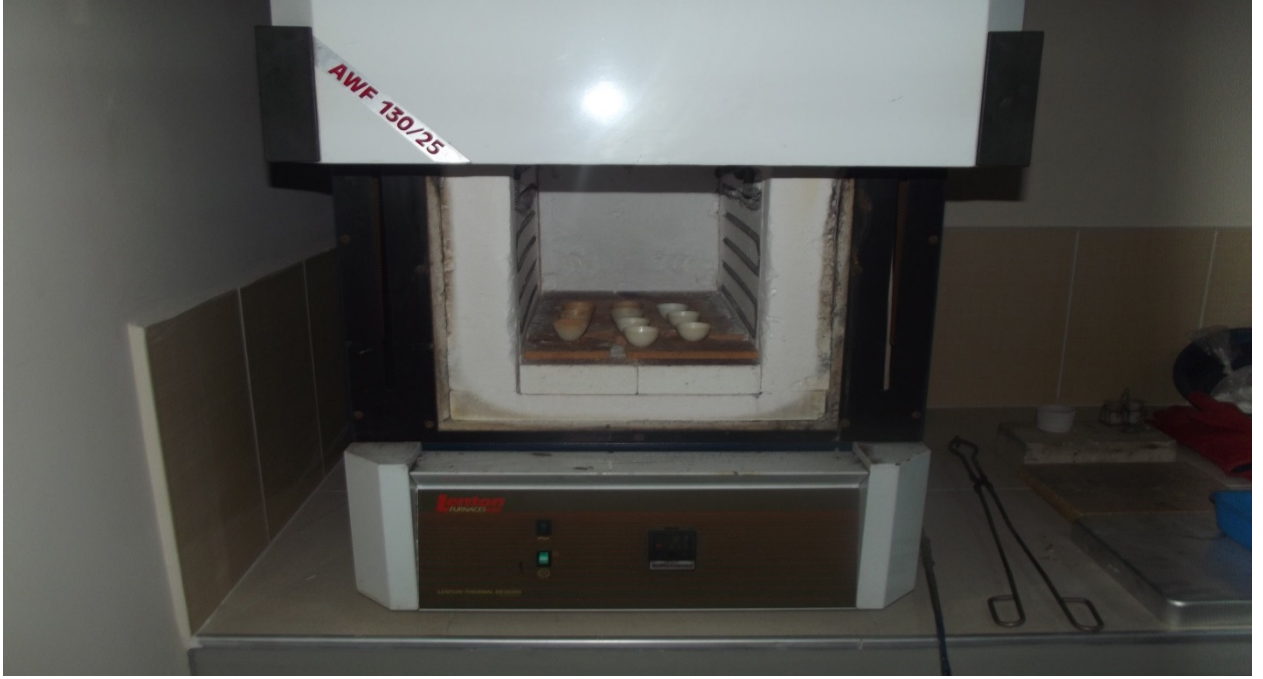
5.5 UÇUCU KÜL ÖRNEKLERİ İLE YAPILAN ÇALIŞMALAR

ESP sıralarından ve silolardan alınan uçucu kül standartlara uygun olarak azaltılarak temsili numuneler alınmış ve yanmamış karbon analizleri yapılmıştır. Metodolojide ve numune alma akım şemasında belirtilen uçucu kül numune alma yerleri olan ESP sıralarının ve silolarının şematik gösterimi Şekil 5.8’de yer almaktadır.



Şekil 5.8 Uçucu kül numunelerinin alındığı yerler (URL-4 2013).

6 değişik vardiya seçilerek bu vardiyalardan her iki ünitenin ESP ve sıralarından alınan uçucu kül örnekleri sınıflandırılmıştır. Yanmamış karbon analizleri standart kül analizi gibi, küllerden alınan numunelerin 500 °C de bir saat ve 850 °C de iki saat yakılıp azalan miktarın belirlenmesi şeklinde yapılmıştır. Bu analizler için kullanılan fırına ait bir görünüm Şekil 5.9'de verilmiştir.



Şekil 5.9 Analizler için kullanılan fırına ait bir görüntü.

Uçucu külden numuneler vardiyada bir kez olmak üzere 2. ve 3. Ünitelerden alınmıştır. ESP sıralarından alınan numunelerle, bu sıraların toplamı olan silodan alınan numuneler çalışılarak farklı sıra veya silolardan elde edilen numunelerin yanmamış karbon miktarlarındaki farklılıklar araştırılmıştır. Şekil 5.10'da hazırlanan uçucu kül örneklerine ait bir görünüm gözükmemektedir.



Şekil 5.10 Hazırlanan uçucu kül örneklerine ait bir görünüm.

Yanmamış karbon miktarının fazla olması hem uçucu külün çimento üretiminde kullanılabilirliğini etkilemekte, hem de ekonomik bir kayıp olarak önemli bir sorunu ifade etmektedir. Alınan uçucu kül numunelerinin yanmamış karbon içerikleri belirlenerek yanmamış karbon varlığının kazana beslenen kömürün boyutuyla ilgili olup olmadığı araştırılmıştır. Çizelge 5.11’de 2. Üniteye ait uçucu Kül örneğinin yanmamış karbon analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.11 2. Üniteye ait uçucu kül örneğinin yanmamış karbon analiz sonuçları.

Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)	Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)	Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)	Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)
12212	1,5	12222	1,72	12232	1,63	12242	1,67
13212	3,24	13222	3,55	13232	2,37	13242	2,92
22212	2,59	22222	2,45	22232	2,48	22242	2,59
23212	3,04	23222	4,49	23232	2,80	23242	2,02
32212	5,24	32222	4,93	32232	4,94	32242	4,63
33212	3,13	33222	3,15	33232	3,02	33242	3,10
2. Ünite 1. Sıra Toplam	3,07	2. Ünite 2. Sıra Toplam	3,20	2. Ünite 3. Sıra Toplam	2,69	2. Ünite 4. Sıra Toplam	2,95

2. Üniteye ait uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon içerikleri 1. sıra örneklerinde %1.5 ile %5.24 arasında, 2. sıra örneklerinde %1.72 ile %4.49 arasında, 3. sıra örneklerinde %1.63 ile %4.94 arasında 4. sıra örneklerinde ise %1.67 ile %4.63 arasında değişmektedir. Burada dikkat çekici örnekler 3. gün 4. sıraya ait örnekler olup yanmamış karbon içeriklerinin en fazla olduğu örneklerdir. 2. üniteye ait uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon analiz sonuçları incelendiğinde en fazla %5.24 olup bu değer 32212 kodlu numuneye aittir. 32212 kodlu numune 3. gün 2. Vardiya 2. Ünite 1. Sıra 2. Örnektir. 12212 kodlu örneğin yanmamış karbon miktarı %1.5’dir. ESP sıralarından farklı debilerde uçucu kül açığa çıkmaktadır. 1.sıradan elde edilen 27.15 ton/h, 2. sıradan 3.35 ton/h, 3.sıradan 0.5 ton/h ve 4.sıradan 0.076 ton/h uçucu kül alınmaktadır, bu değerler ESP dizayn değerlerinden elde edilmiştir. Dolayısıyla farklı sıralardan elde edilen numunelerin yanmamış karbon miktarları dizayn

değerlerinden elde edilen debi değerleriyle çarpılmasıyla vardiyaya ait yanmamış karbon miktarı hesaplanmıştır.

ESP ünitesinin her bir sırasından alınan numunelerin yanında aynı zamanda sıraların karışımı olan uçucu kül silosundan da örnekler alınarak bu örneklerde de yanmamış karbon analizleri yapılmıştır. Uçucu kül silosu çimento sektöründe kullanılması düşünülen uçucu kül karışımını temsil etmektedir. Her vardiyaya ait silodan alınan örnekler, hangi vardiyadaki uçucu kül çıktısının yanmamış karbon içeriğinin az olabileceğine işaret edecek, dolayısıyla yanma rejimindeki pulverize kömür boyutuyla ilgili bir düzenleme uçucu kül silosunda biriken uçucu külün değerlendirilebilirliğini arttıracaktır. Çizelge 5.12’de 2. Üniteye ait uçucu kül silosundan alınan örneklerin yanmamış karbon analizleri verilmiştir.

Çizelge 5.12 2 üniteye ait uçucu kül silosundan alınan örneklerin yanmamış karbon analiz sonuçları.

Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)
122102	1,93
132102	2,10
222102	2,31
232102	2,60
322102	3,00
332102	3,27
I silo Toplam	2,46

Çizelge 5.12’de görüldüğü üzere 2. üniteye ait silodan alınan uçucu kül numunelerinin yanmamış karbon içerikleri %1,93 ile %3.27 arasında değişmektedir. Bu numunelerde de 3. gün alınan numunelerin yanmamış karbon içerikleri yüksek olup %3.00 ile %3.27 arasında değişmektedir. Santralde bulunan ve ünite olarak 2. Ünitenin kopyası olan 3. ünite ESP ve uçucu kül silosundan örnekler alınmış ve bunlarında aynı şekilde yanmamış karbon içerikleri tespit edilmiştir. Çizelge 5.13’te 3. Üniteye ait uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.13 3. Üniteye ait uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon analiz sonuçları.

Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)	Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)	Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)	Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)
12312	1,59	12322	1,68	12332	1,96	12342	1,66
13312	2,41	13322	3,11	13332	2,48	13342	2,23
22312	3,00	22322	3,65	22332	3,22	22342	3,29
23312	2,61	23322	3,25	23332	2,21	23342	1,78
32312	1,46	32322	1,76	32332	1,49	32342	1,52
33312	4,95	33322	4,50	33332	1,95	33342	3,06
3. Ünite 1. Sıra Toplam	2,40	3. Ünite 2. Sıra Toplam	2,92	3. Ünite 3. Sıra Toplam	2,22	3. Ünite 4. Sıra Toplam	2,04

12312 kodlu örnek 1. gün 2 . vardiya 3. ünite 1. sıra ve 2. örnek olarak isimlendirilmiştir. Benzer şekilde 12322 sadece aynı ünitenin aynı vardiyasının 2. sırasını temsil edecektir. 2. üniteye ait kodlandırmalarda 12212 gibi yani 1. gün 2. vardiya 2 . ünite 1. sıra ve 2. örnek gibi kodlandırmalar kolaylık açısından yapılmıştır.

3. üniteye ait uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon içerikleri 1. sıra için %1.59 ile %4.95 arasında, 2. sıra için %1.68 ile %4.50 arasında, 3. sıra için %1.96 ile %3.32 arasında, 4. sıra için %1.66 ile %3.29 arasında değişmektedir. Bu çizelgelerde verilen değerlerde dikkat çekici nokta 3. ünite de 3. gün 3. vardiya ve 2. gün 2. vardiyada alınan uçucu kül örneklerine ait yanmamış karbon içeriklerinin yüksek olmasıdır.

Benzer şekilde 2. üniteye ait uçucu kül silosundan alınan değişik gün ve vardiyalara ait numuneler 3. ünite içinde alınmıştır. 2. üniteye ait silo I. silo, 3. üniteye ait silo III. silo olarak kodlandırılmıştır. Silolardan alınan numunelerin kodlandırılmasında I. silo için 123102 veya III. silo için 123302 gibi numaralandırma takip edilmiştir. 123302 örneğin 1. gün 2. vardiya 3. ünite 3. Silo, 2.örnek olarak kodlanmıştır. Kodlandırmada bulunan '0' örneğin silo örneği

olduğunu göstermektedir. III siloya ait uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon analizleri Çizelge 5.14'te verilmiştir.

Çizelge 5.14 3. Ünite ait uçucu kül silosundan alınan örneklerin yanmamış karbon analiz sonuçları.

Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)
123302	3,00
133302	3,15
223302	3,68
233302	3,08
323302	2,95
333302	2,59
III silo Toplam	2,97

Çizelge 5.14'te görüldüğü üzere 3. Ünitenin yanmamış karbon içerikleri %2.59 ile %3.68 arasında değişmektedir. Bu numunelerden 2. Gün 2. Vardiyada alınan örneklerin karbon içeriği %3.68 olup, en yüksek değerdir.

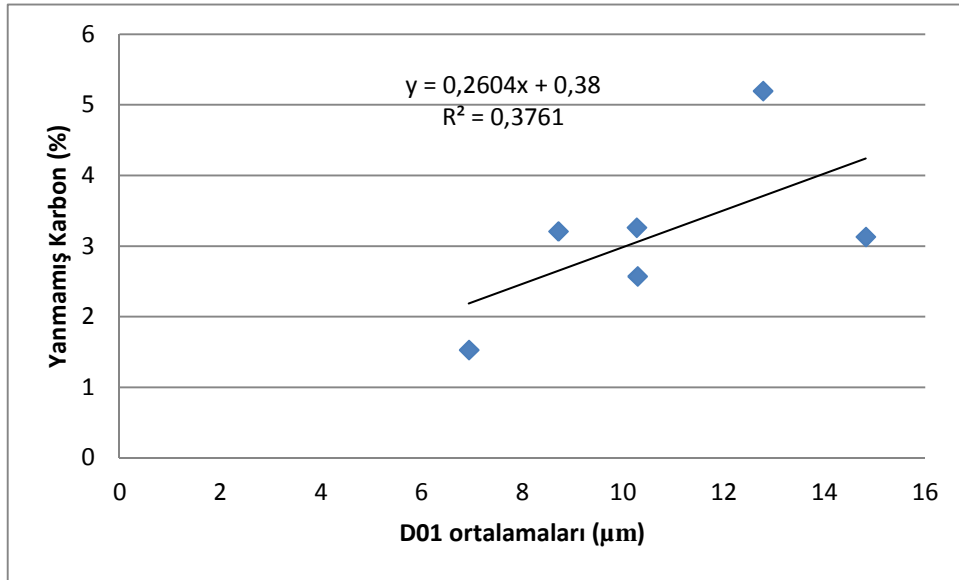
İki ünitenin silolarından 9 vardiya boyunca alınan numunelerden karışımlar hazırlanarak yanmamış karbon analizi bu hazırlanan numuneye de yapılmıştır. Bu da bir süreç boyunca üretilen yanmamış karbon miktarı hakkında veya her iki unite için ortak yanmamış karbon miktarı hakkında fikir vermesi açısından önemlidir. Uçucu kül silo (I-III Silo Toplam) numunelerinin yanmamış karbon analizleri yapılmış ve yanmamış karbon %2.78 olarak bulunmuştur.

5.5.1 Uçucu Külde Yanmamış Karbon İle Pulverize Kömür Boyut İlişkileri

Şekil 5.11 - Şekil 5.15 arasında 2. Üniteye ait Malvern sonuçları D01,D05,D09,D32,D43 ortalamaları ve uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon analiz sonuçları kıyaslaması verilmiştir. Uçucu kül örnekleri 9 vardiyalık süreçte 6 vardiya üzerinden pulverize kömür boyutu ile ilişkilendirilmiştir. Düzenli numune alınan 6 vardiya seçilmiştir ve vardiyayı temsil etmeyeceği düşünülen uçucu kül örnekleri araştırmaya dahil edilmemiştir. Bunun yerine

vardiyanın başı ve ortası itibariyle eksiksiz alınan uçucu kül örneklerinde yanmamış karbon deneyleri yapılmış ve ilişkilendirme bu 6 vardiyalık süre için yapılmıştır.

Analizlerle edilen uçucu kül yanmamış karbon miktarları daha öncesinde elde edilmiş boyut ortalama değerleriyle ilişkilendirilmiştir. Vardiyaya ait uçucu küldeki yanmamış karbon miktarıyla aynı vardiyaya ait pulverize kömür örneklerinin boyut parametreleri D01,D05, D09, D32, D43 grafiğe aktararak noktasal veriler elde edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde vardiyada pulverize kömür boyut parametreleri değerlerindeki artış yani pulverize kömür boyutundaki artış uçucu külde yanmamış karbon miktarındaki artışa paralellik göstermektedir. Şekil 5.10'da 2. Üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D01 ortalamaları ile uçucu kül yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir.

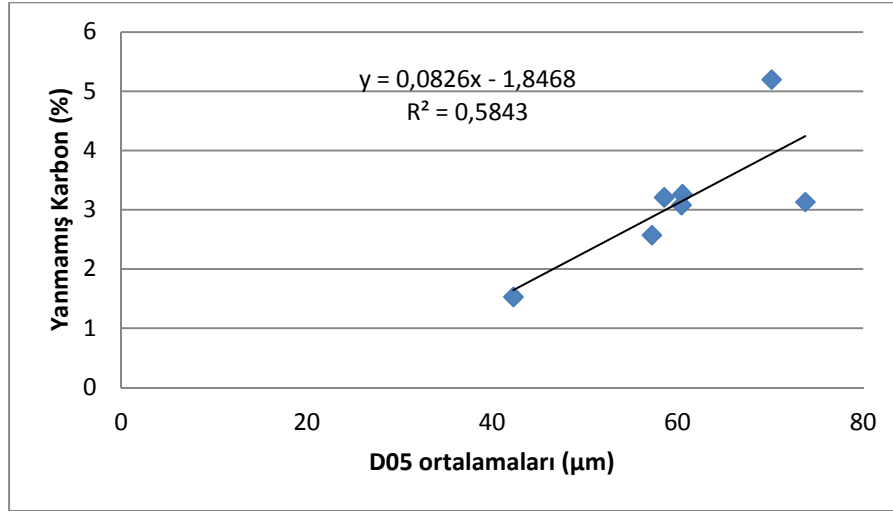


Şekil 5.11 2. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

Şekil 5.11'de görüldüğü üzere 2. Ünitenin 6 vardiyalık süreçte alınan pulverize kömür numunelerinin boyut D01 ortalamalarıyla yanmamış karbon arasındaki ilişki verilmiştir. Noktasal verilere ek olarak eğilim çizgisi ve bu eğilim çizgisinin denklemi verilmiştir. Burdan anlaşılacak sonuç herhangi bir santralin herhangi bir ünitesi için kazana beslenen pulverize kömür boyut ortalaması bilinen numune için uçucu küldeki yanmamış karbon miktarı (%) tespit edilebilir. Diğer bir yorum ise grafik incelendiğinde hemen göze çarpan noktasal verilerin eğilimi ile ilgilidir. Noktasal veriler pulverize kömür boyutuyla yanmamış

karbon arasında direk bir ilişkinin olduğunu ve D01 ortalaması artan değerler gösterdikçe yanmamış karbon miktarlarında bir artış olacağını göstermektedir.

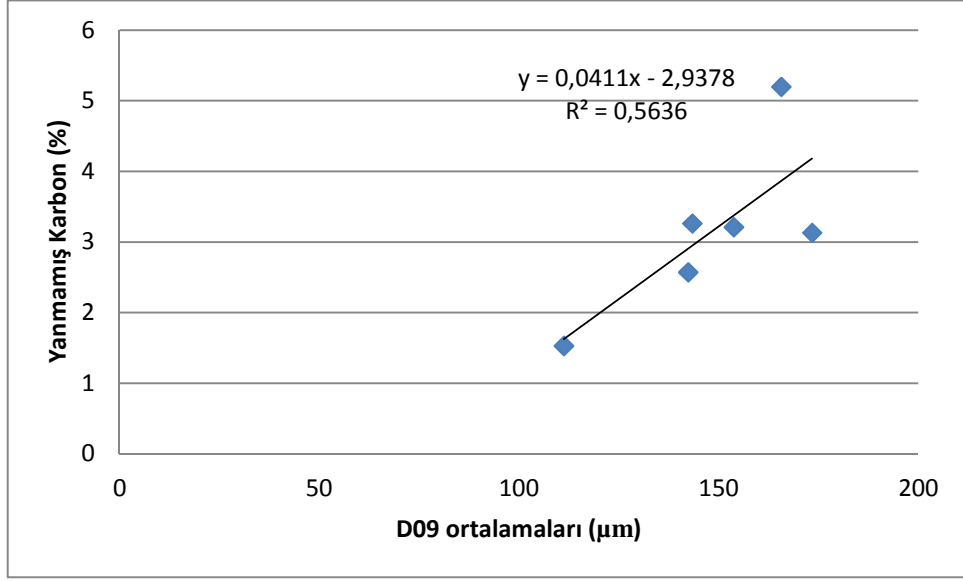
Şekil 5.12’de 2. Üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D05 ortalamaları ile uçucu kül yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.12 2. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

2. Ünite pulverize kömür D05 ortalamalarında R^2 değeri D01 ortalamalarına göre biraz daha yüksektir. D05 ortalamasına bakarak bu unite için yanmamış karbon miktarı daha iyi bir şekilde tahmin edilebileceği ve yanmamış karbon miktarıyla pulverize kömür D05 ortalamasının ilişkisinin daha ilişkili olduğu anlaşılmaktadır.

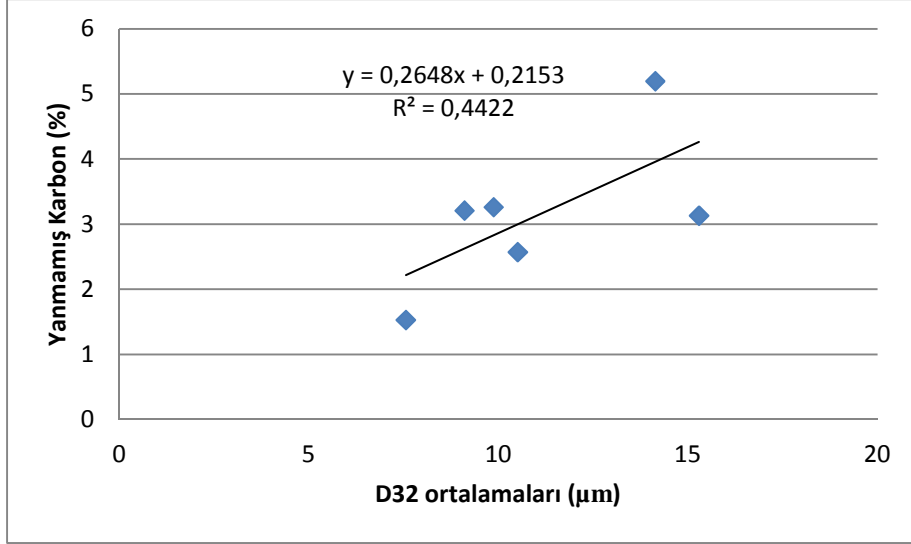
Şekil 5.13’de 2. Üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D09 ortalamaları ile uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi verilmiştir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.13 2. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

Benzer şekilde 2. ünite Pulverize kömür D09 ortalamalarının her bir vardiyadaki değişik değerleri uçucu küldeki yanmamış karbon miktarıyla kıyaslanmış ve ilişkinin R^2 değeri 0.56 bulunmuştur. Bu değer ilişkinin D09 boyut parametresiyle ilişkisinin azımsanmayacak ölçüde olduğunu göstermektedir.

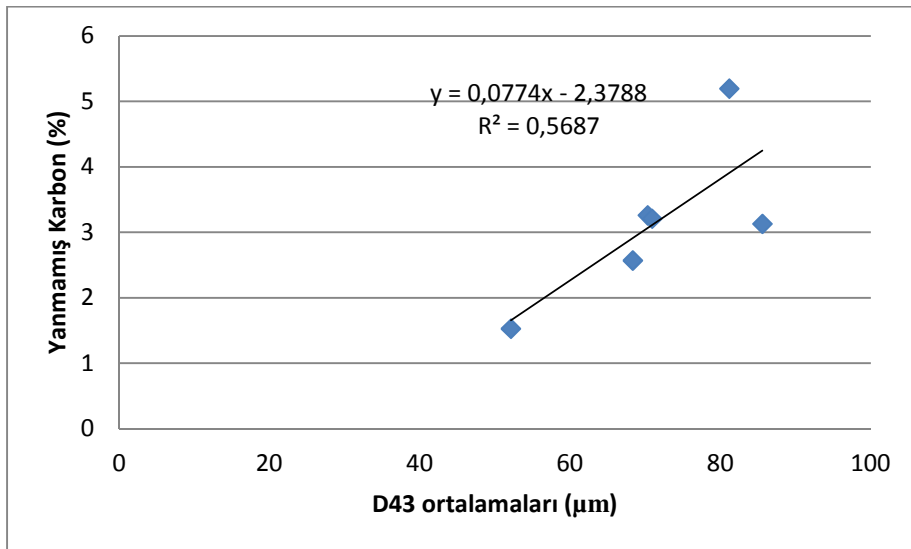
Şekil 5.14'te 2. üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D32 ortalamalarıyla uçucu küldeki yanmamış karbon miktarı arasındaki ilişki gösterilmektedir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.14 2. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

D32 boyut parametresi ortalama değerlerinin yanmamış karbon miktarlarıyla olan ilişkisinde eğilim kazana beslenen pulverize kömürün D32 boyutu arttıkça yanmamış karbon miktarlarının artacağını desteklemektedir. İşletme parametrelerinde yanmamış karbon miktarını etkileyecek diğer faktörler de düşünüldüğünde sapmaların olması normaldir ve bu sapmalar R^2 değerinin 0.44 civarında olmasına sebep olmuş olabilir.

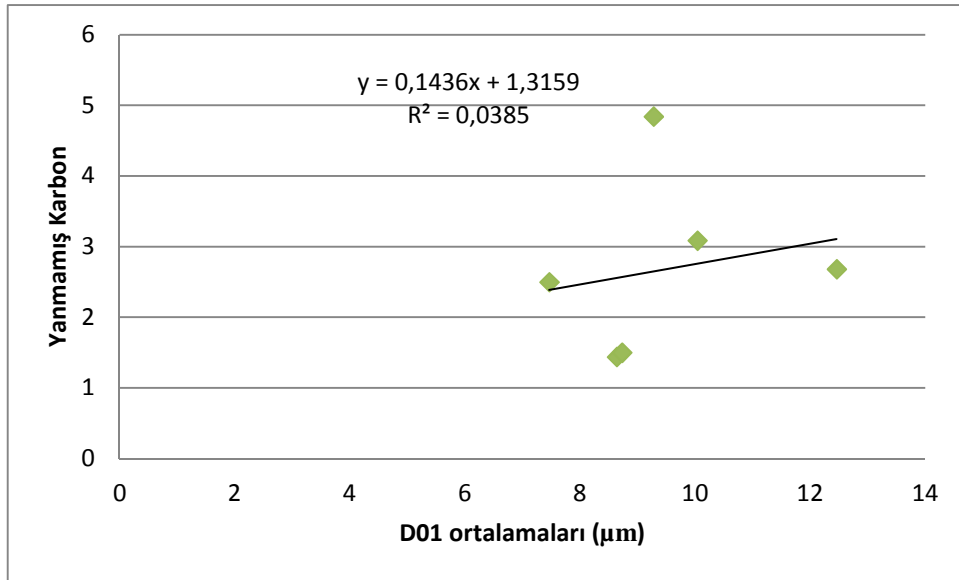
Şekil 5.15'te 2. üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D43 ortalamalarıyla uçucu kül yanmamış karbon miktarıyla olan bağlantısı gösterilmektedir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.15 2. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

Her bir vardiyada kazana beslenen numunelerin analizleri sonucu elde edilen D43 değerleri ortalamasının yanmamış karbon miktarına etkisi grafiklendiğinde eğilimi görmek mümkündür ve eğilim kazana beslenen kömür boyutu arttıkça yanmamış karbon miktarının artacağı düşüncesini destekler niteliktedir. 2. Ünite için vardiya vardiya elde edilen D43 ortalama değerlerinin uçucu kül yanmamış karbon miktarlarıyla olan ilişkisinde R^2 değeri 0.56 bulunmuş ve bu da eğilimi destekler niteliktedir.

2. ünite için yapılan çalışmalar çalışılan benzer şekilde santralin 3. Ünitesi için de yapılmıştır. 3. üniteye ait Malvern sonuçları D01,D05,D09,D32,D43 ortalamaları ve uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon analiz sonuçları kıyaslaması Şekil 5.16- Şekil 5.20 arasında verilmiştir.

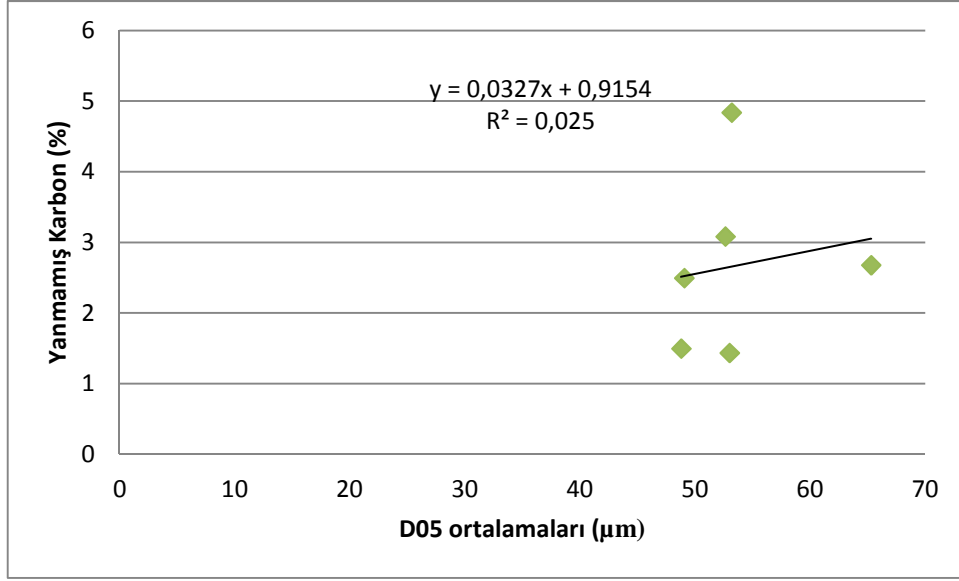


Şekil 5.16 3. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

3. unite için elde edilen Pulverize kömür örneklerinin 6 vardiyadaki D01 ortalamaları ile aynı vardiylara ait uçucu kül örneklerindeki yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişkide belli bir eğilim yakalanmamış gibi gözükmektedir. Halbuki numune almada yapılmış bir hata sonucu veya işletme parametrelerindeki herhangi bir etkinin daha önem kazanması sonucu yanmamış karbon miktarı beklenenden daha az veya fazla çıkmış olabilir. Dikkat edilirse grafikte bazı noktasal veriler hariç 8 µm ile 11 µm arasındaki pulverize kömür örneklerinin D01 ortalamaları için yanmamış karbon miktarlarının boyut arttıkça arttığı gözlenmektedir. R^2

değeri düşük çıkması belirtilen sebeplerden dolayı sapma yapan noktalardan kaynaklandığı düşünülebilir.

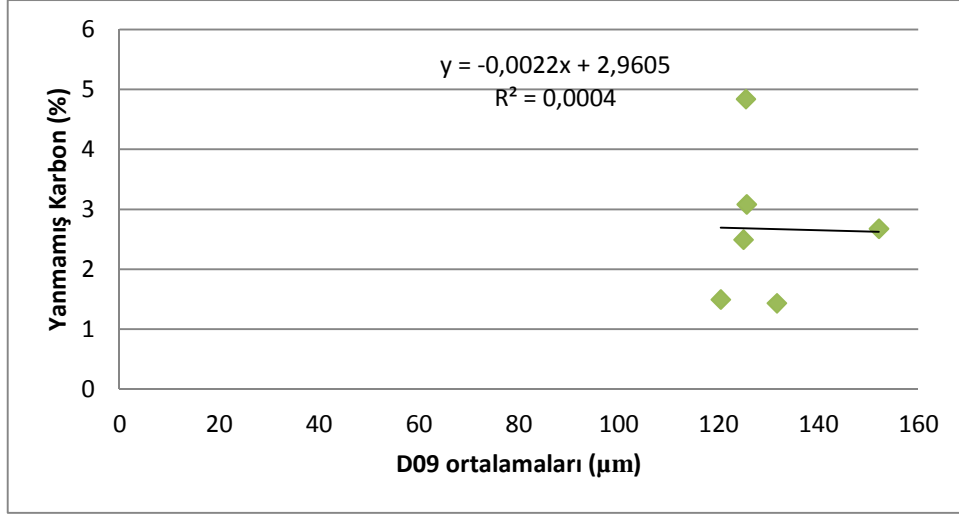
Şekil 5.17’de 3. Üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D05 ortalamalarıyla uçucu kül yanmamış karbon miktarları arasındaki bağlantı gösterilmiştir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.17 3. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

Şekil 5.17 incelendiğinde pulverize kömür D05 ortalamalarında 3. Ünite için bir eğilim gözlemlenmemiştir. Ancak yanmamış karbon içeriğinin bir çok parametreye bağlı olarak değiştiği göz önünde bulundurulursa ve de aynı zamanda kazana beslenen pulverize kömürden alınan numunelerin ne ölçüde kazan içinde yanan kömür taneciklerini temsil ettiği sorgulanırsa, sapmalara sebep olabilecek imkansızlıklar daha iyi anlaşılabilir. Bunlara rağmen bazı noktasal veriler gözardı edildiğinde yanmamış karbon miktarının kazana beslenen pulverize kömür boyutunun irileşmesiyle artacağı savı desteklenmektedir. 3. Ünite için D05 ortalamaları ve yanmamış karbon ilişkisi arasındaki R^2 değeri 0.02 civarındadır ve burdan eğilim diğer işletme parametreleri sebebiyle veya numune alma konusundaki hassasiyet eksikliği sebebiyle görülmemiştir denilenebilir.

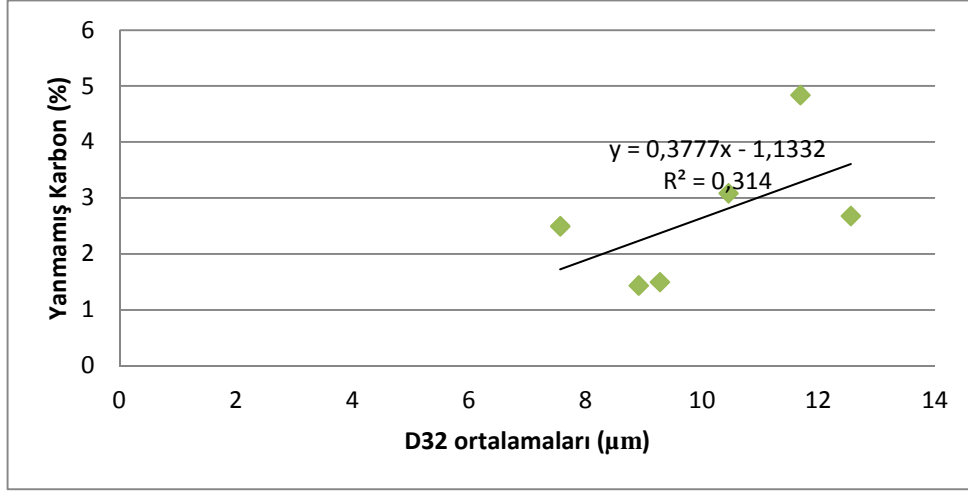
Şekil 5.18’de 3. Ünite için D09 ortalamalarıyla uçucu kül yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.18 3. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

Şekil 5.18’de verilen grafikte benzer şekilde noktasal verilerde bir eğilim gözükmemektedir. R^2 değeri 0.0004 olup ve çizilen eğilim çizgisi beklenen eğilimi yansıtmamaktadır. Bunun nedeni olarak 3. Ünite için yanmamış karbonun pulverize kömür boyutunun etkisinden daha çok diğer işletme parametrelerinin neden olabileceği düşünülmektedir. Burda, yanmamış karbon analizlerinde yapılmış olabilecek hatalar da söz konusu olabilir. Ancak 2. ünite ve 3. ünite için yanmamış karbon analizleri benzer şekilde yapıldığı için bunun etkisinin azaltılmış olduğu söylenebilir.

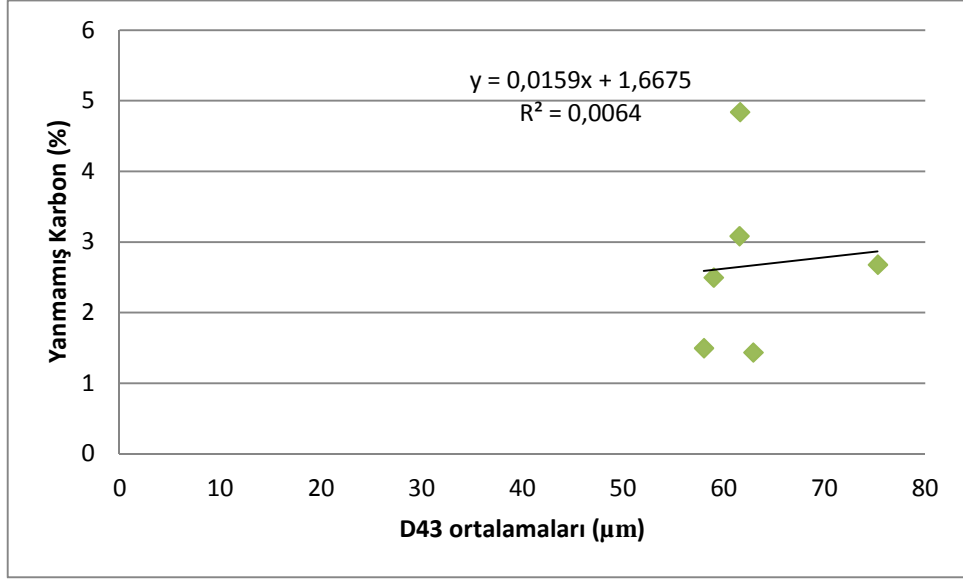
Şekil 5.19’da 3. üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D32 ortalamalarının, aynı vardiyadaki uçucu kül örneklerindeki yanmamış karbon miktarlarıyla ilişkisi gösterilmiştir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.19 3. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

3. unite pulverize kömür örneklerinin boyut analiz sonuçlarından biri olan D32 ortalamalarının yanmamış karbon ilişkisi beklenen kadar olmasa da 3. Unite için çizilen diğer boyut ortamlarına göre en belirgin eğilimi göstermektedir. Noktasal verilerde sapma yapan ve eğilimden uzak gibi görünen noktalar da düşünüldüğünde R^2 değerinin düşük olması ($R^2=0.3125$) anlaşılır. Beklenen eğilimden sapma yapan noktaların nedenleri belirtildiği gibi yanmamış karbonun nedensel olarak bir çok parametreye bağlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.20'de 3 üniteye ait pulverize kömür örneklerinin boyut analiz sonuçlarından D43 ortalama sonuçları ve bu sonuçların yanmamış karbonla ilişkisi gösterilmiştir. Eğilim çizgisi ve eğilim çizgisinin denklemi şekil üzerinde yer almaktadır.



Şekil 5.20 3. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve uçucu kül yanmamış karbon ilişkisi.

Uçucu külde yanmamış karbon analizleri D43 boyutu vardiya ortalamaları ile ilişkilendirilmiş ve beklenen eğilim gözlenmemiştir. R^2 değeri 0.006 civarlarında olup eğilim çizgisinden sapmalar aşikardır. Burda ayrıca benzer ortalamasına karşılık iki farklı yanmamış karbon miktarı elde edilmiş gibi durmaktadır. Bunun nedeninin boyut ortalaması benzer olan değişik iki vardiyanın vardiya içi işletme parametrelerindeki farklılıklar olduğu düşünülmektedir.

5.6 YATAK KÜLÜ ÖRNEKLERİNDE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Yatak küllerinde değişik vardiyalara ait örneklerin yanmamış karbon analizleri yapılarak yatak küllerindeki yanmamış karbonun kazana beslenen pulverize kömür boyutuyla ilişkisi araştırılmıştır. Çizelge 5.15’de 2. ve 3. Ünitelerin yatak küllerinde yapılan yanmamış karbon analiz sonuçları gösterilmiştir.

Çizelge 5.15 2. ve 3. Ünitelerin yatak külleri yanmamış karbon sonuçları.

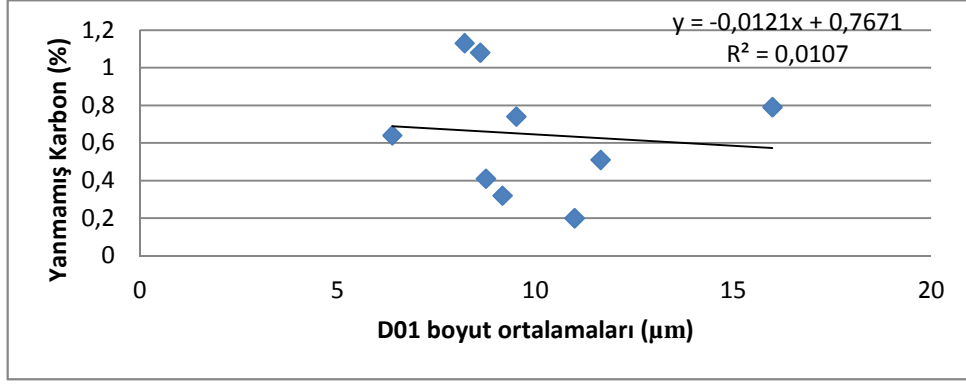
2. Ünite		3. Ünite	
Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)	Örnek Kodu	Yanmamış Karbon (%)
1221	0,64	1231	0,44
1321	1,13	1331	0,49
2121	0,32	2131	0,44
2221	0,41	2231	0,23
2321	1,08	2331	0,61
3121	0,74	3131	0,65
3221	0,20	3231	0,40
3321	0,51	3331	0,29
4121	0,79	4131	0,68

2. üniteye ait yatak küllerinin yanmamış karbon içerikleri %0.20 ile %1.13 arasında 3. Üniteye ait yatak külü numunelerinde ise yanmamış karbon içerikleri %0.23 ile %0.65 arasında değişmektedir.

5.6.1 Yatak Külü Yanmamış Karbon İle Pulverize Kömür Boyut İlişkileri

Pulverize kömür boyutu kazan içinde yanmayla birebir ilişkilidir. Kazan içinde kömürün beslenen oksijenle teması için yüzey alanının olabildiğince artırılmış olması ve tutuşup yanabilmesi için de hacminin azaltılması gerekmektedir. Pulverize kömür, boyutunun etkisiyle uçucu külde yanmamış karbon olarak çıkabilceği gibi yatak külünde yanmamış karbon olarak gözükebilir.

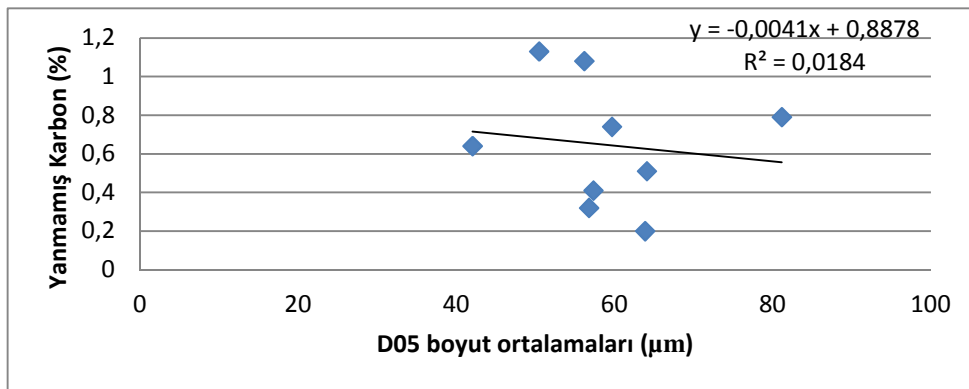
Şekil 5.21 ile Şekil 5.26 arasında 2. Üniteye ait Malvern sonuçları D01, D05, D09, D32, D43 ortalaması ve Yatak külü yanmamış karbon analiz sonuçları kıyaslaması verilmiştir.



Şekil 5.21 2. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

2. üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D01 ortalamaları ile yatak külünde yanmamış karbon miktarları arasındaki bağlantı Şekil 5.20’de gösterilmiştir. R^2 değeri 0.01 civarlarında olup eğilim yok gibi gözükmektedir. Burdan anlaşılması gereken bulgu D01 ortalaması arttıkça yatak külündeki yanmamış karbon miktarı uçucu küldekine göre ters bir eğilim göstererek azalmaktadır. Noktasal verilerde işletme parametrelerinin daha baskın olmasıyla açıklanabilecek sapma yapan noktalar sebebiyle eğilim çok belirgin değildir. Sapma yapan noktalar yatak külünden alınan numunelerin vardiyayı temsil etmemesi de noktasal verilerde bir eğilim yakalanmamasına sebep olarak gösterilebilir.

Şekil 5.22’de pulverize kömür D05 boyutlar ortalamasının yatak külündeki yanmamış karbon miktarıyla bağlantısı gösterilmiştir.

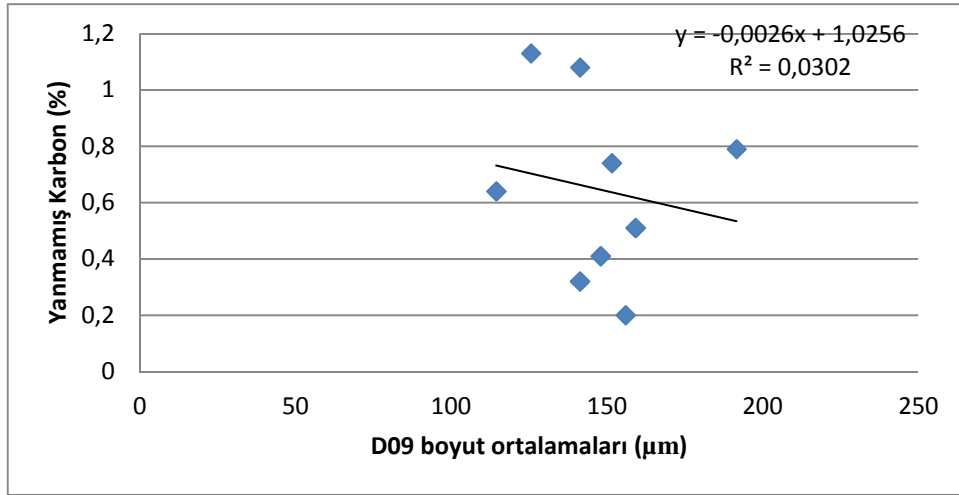


Şekil 5.22 2. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

2. üniteye ait pulverize kömür örneklerinin boyut analizleri sonuçlarında elde edilen D05 ortalamaları ile yatak külü yanmamış karbon arasında beklenen eğilim görülmemiştir. R^2

değeri 0.02 civarında olup bu değer uçucu kül yanmamış karbon arasındaki eğilimlerde yakalanan değerden çok düşük bir değerdir. Noktasal verilerden aşırı sapma yapan değerler gözardı edildiğinde eğilimin D05 ortalamasının arttıkça yanmamış karbon miktarlarında bir azalmayla sonuçlandığı görülebilir.

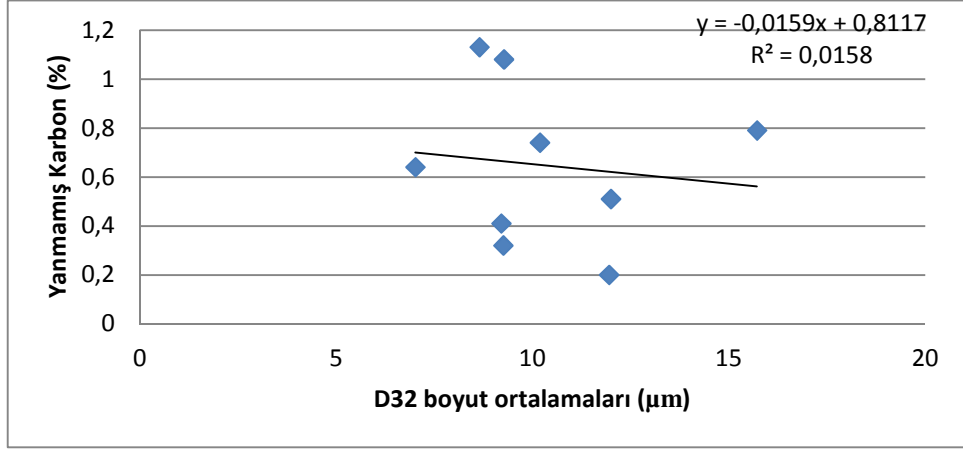
Şekil 5.23’de 2. Üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D09 ortalamaları ile yatak külündeki yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



Şekil 5.23 2. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

Şekil 5.23’te 2 üniteye ait pulverize kömür örneklerinin boyut analizleri sonucu elde edilen D09 ortalamaları ile yatak külündeki yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişkide beklenen eğilim yakalanmamıştır ($R^2=0.0302$). D09 değerleri incelendiğinde benzer değerlerde farklı yanmamış karbon miktarları gözlemlenmiştir. D09 değerlerinden bazıları ihmal edilirse eğilim yatak külünde yanmamış karbon miktarının D09 boyutunun artmasıyla azalacağı yönünde daha anlamlı bir şekilde elde edilebileceği gözükmektedir.

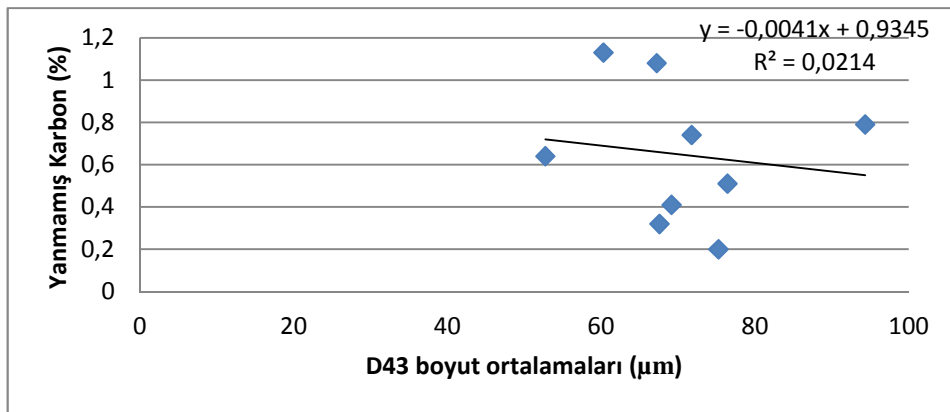
Şekil 5.24’de pulverize kömür örneklerinin D32 ortalamaları ile yatak külünde yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.24 2. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

2. Üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D32 ortalamalarının yatak külündeki yanmamış karbon miktarları arasındaki bağlantıda R^2 değeri oldukça düşük ve eğilim görülmemektedir ($R^2=0.0158$). D32 ortalamalarında elde edilen değerler uçucu külde yanmamış karbon miktarları arasında en anlamlı sonuçları vermiştir ancak yatak külünde eğilim doğrusal bir şekilde görülmemektedir. Gözlenebilecek eğilimden sapma yapan değerlerin gözardı edilmesi sonucu veya doğrusal regresyon yerine farklı regresyon seçenekleri değerlendirildiğinde daha anlamlı R^2 değerlerine ulaşılabilir ve belirgin eğilim mümkün olabilecektir.

Şekil 5.25'te 2. üniteye ait pulverize kömür örneklerin D43 ortalamaları ile yanmamış karbon miktarlarının arasındaki ilişki verilmiştir.

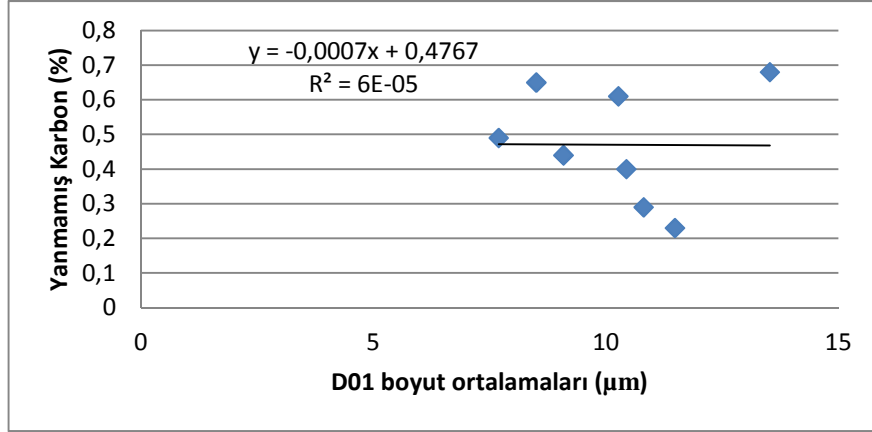


Şekil 5.25 2. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

D43 değerlerinden elde edilen noktasal değerler ve eğilim incelendiğinde burda da bir ilişkinin olmadığı düşünülebilir. D32 değerlerinin yanmamış karbon ile bağlantısına benzer

bir durum burda da sözkonusudur. İşletmede yanmamış karbon miktarını etkileyen diğer faktörler sonucu sapma yapan değerler ihmal edildiğinde eğilimin yatak külündeki yanmamış karbon miktarının artmasıyla azalacağı yönünde olacağı görülmektedir.

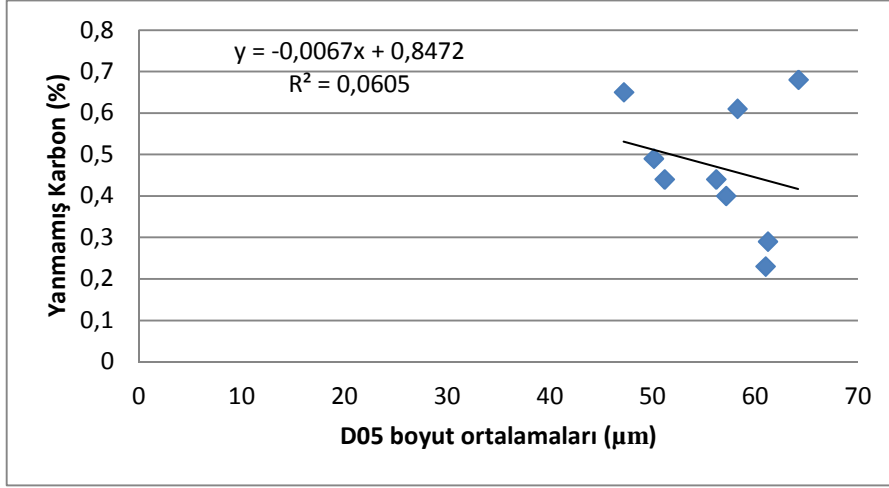
Şekil 5.26 ile Şekil 5.30 arasında 3. Üniteye ait Malvern sonuçları D01,D05,D09,D32,D43 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon analiz sonuçları kıyaslaması verilmiştir.



Şekil 5.26 3. Ünite pulverize kömür D01 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

3. Ünite için yatak külünde elde edilen yanmamış karbon miktarlarının pulverize kömür boyut analizleri sonucu D01 ortalaması ile kıyaslanması verilmiştir. Eğilimden söz etmek oldukça güçtür ($R^2=6E-05$). Bu değerler incelendiğinde yatak külünden alınan numunelerin vardiyayı temsil etmesinin sağlanabilmesinin önemli olduğu görülmektedir.

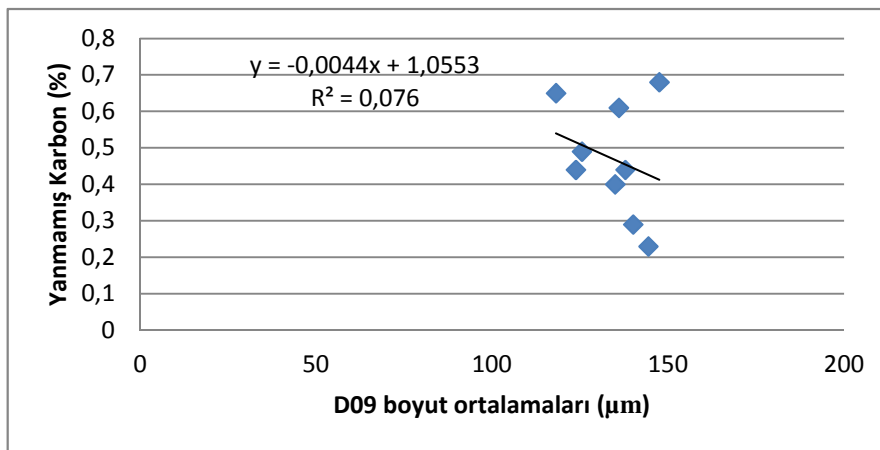
Şekil 5.27'de 3 ünite için kazana beslenen pulveri kömür örneklerinin D05 ortalama değerlerinin yatak külünde yanmamış karbon miktarları arasında ilişki verilmiştir.



Şekil 5.27 3. Ünite pulverize kömür D05 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

3. unitede kazana beslenen pulverize kömür örneklerinin D05 ortalamaları ve yatak külündeki yanmamış karbon yüzde miktarları arasındaki ilişkide R^2 değeri oldukça düşüktür ($R^2=0.0605$). Değerler incelendiğinde 2 değer eğilimden sapmış gibi gözükmektedir. Bu 2 değer gözardı edildiğinde yatak külündeki yanmamış karbon miktarları D05 ortalamasının artmasıyla azalıyor olacaktı ve belirgin bir eğilim sağlanacaktı.

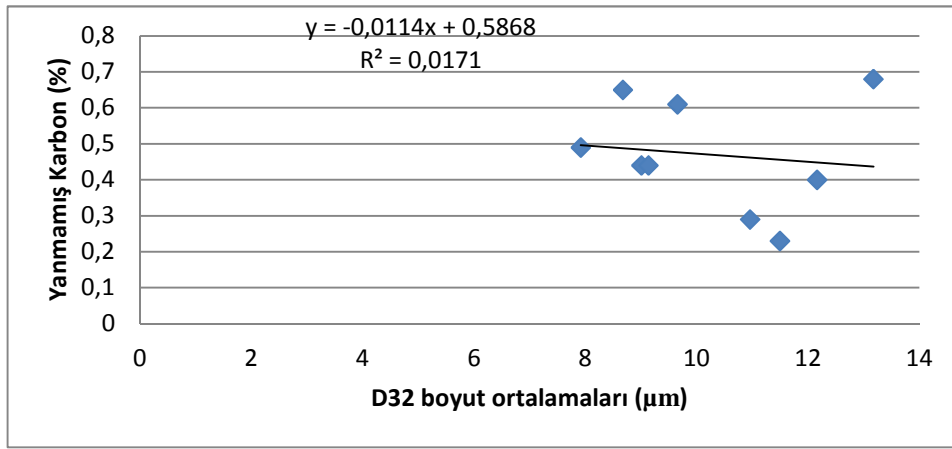
Şekil 5.28'de 3. Üniteye ait kazana beslenen pulverize kömür örneklerinin boyut analiz sonuçlarından D09 ortalama değerlerinin yatak külü yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 5.28 3. Ünite pulverize kömür D09 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

3. üniteye kazana beslenen pulverize kömür örnekleriyle yapılan çalışmalar sonucu elde edilen D09 ortalama değerleri ve yatak külü yanmamış karbon değerleri arasındaki ilişkide belirgin bir eğilim gösterilememiştir ($R^2=0.076$). Ancak bir kaç değer hariç eğilimin olduğu çok aşıkardır. Söz konusu eğilim D09 ortalamasının artmasıyla yanmamış karbon miktarlarında azalmayı ifade etmektedir.

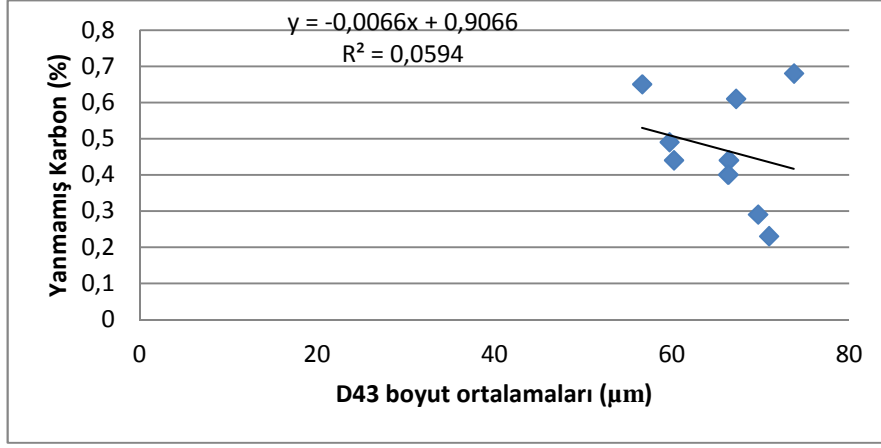
Şekil 5.29'de 3. Üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D32 ortalamalarının yatak külünde yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişkisi görülmektedir.



Şekil 5.29 3. Ünite pulverize kömür D32 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

3. üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D32 ortalamaları değerlerinin yatak külü yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişkide belirgin bir eğilim yok gibi gözükmektedir ($R^2=0.0171$). Burada da benzer şekilde eğilimden sapma yapan değerler ihmal edildiğinde diğer noktasal verilerde eğilim olabileceği çok aşıkardır. Bazı değerler hariç çoğu değer doğrusal bir şekilde olmasada yatak külü yanmamış karbon miktarının pulverize kömür D32 ortalamasının artmasıyla azalacağı yönündeki bir eğilime işaret etmektedir.

Şekil 5.30'da 3. üniteye ait pulverize kömür örneklerinin D43 ortalamalarının yanmamış karbon miktarları arasındaki ilişki gösterilmiştir.



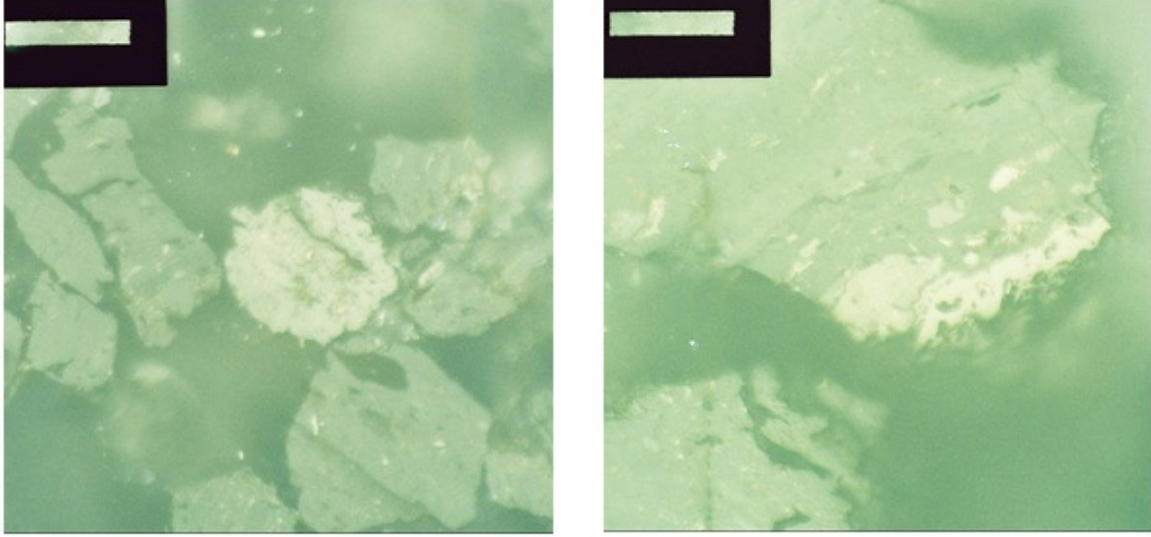
Şekil 5.30 3. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ve yatak külü yanmamış karbon ilişkisi.

3. Ünite pulverize kömür D43 ortalamaları ile yatak külü yanmamış karbon miktarları arasında elde edilen ilişkide R^2 değeri 0.06 dolaylarındadır. Benzer şekilde değişik vardiyalara ait D43 değerleri ve bunlara ait yanmamış karbon değerleri göz ardı edildiğinde eğilim daha belirgin ve R^2 değeri daha anlamlı olabilecektir. Bu vardiyalardaki etki yanmamış karbonun sistem içi diğer parametrelere sınımsıkı bağlı olması şeklinde yorumlanabilir ve bu etki ayrı bir araştırmanın konusu olabilir.

5.7 PETROGRAFİK ANALİZLER

5.7.1 Stok Sahasından Alınan Kömür Örneğindeki Petrografik Çalışmalar

Kömür stok sahasından alınan örneğin petrografik bileşimini belirlemek için numune üzerinde mikroskobik çalışmalar yapılmıştır. Kömür numunesi uygun boyutta hazırlanarak blok halinde döküldükten sonra, parlatma işlemleri uygulanmış, parlatılmış kömür blokları üzerinde yansıyan ışık altında mikroskobik çalışmalar yapılmıştır. Stok sahasından alınan numunenin petrografik analizi yapılmış ve Şekil 5.31'de numunenin mikrofotografı verilmiştir.



Şekil 5.31 Stok Sahası numunelerinin mikro fotoğrafları.

Yapılan mikroskobik çalışmalar sonucunda kömür örneğinin petrografik bileşimi belirlenmiş ve Çizelge 5.16’da sunulmuştur.

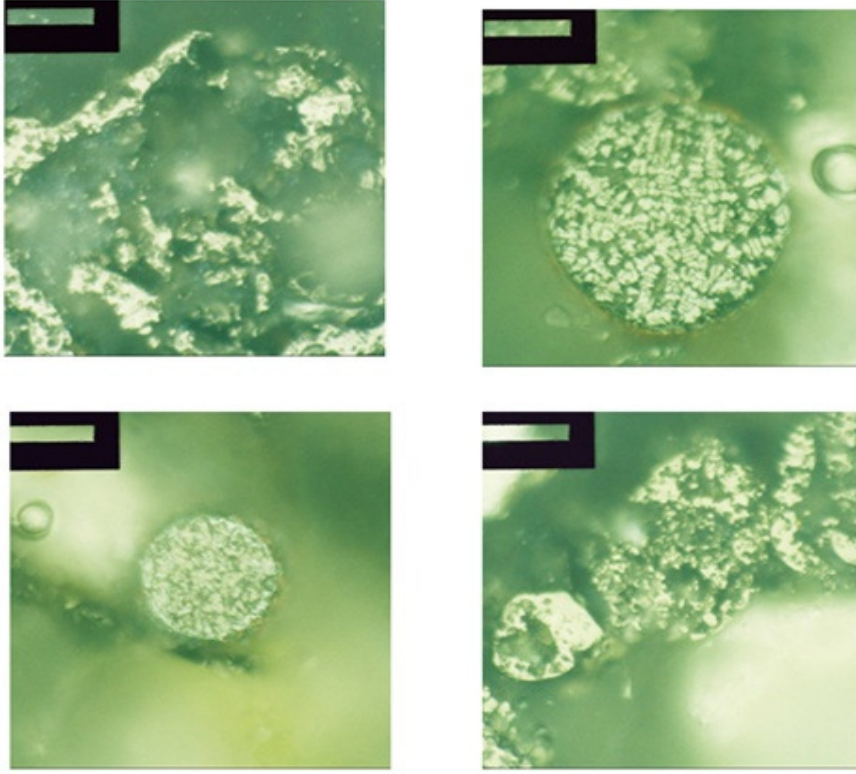
Çizelge 5.16 Numunenin petrografik analiz sonuçları.

Petrografik Bileşen	% Miktar (hacimce)
Vitrinit	77,8
Liptinit	0,8
İnertinit	9,6
Semiinertinit	10,4
Pirit	0,4
Mineral madde	1,0
Randım Ortalama Vitrinit Yansıtması (%)	0,569

Petrografik çalışmalar sonucunda örneğin başlıca reaktif bileşen olan vitrinit maserallerinden (% 77,8) oluştuğu görülmektedir. Yine reaktif bir bileşen olan liptinitler ise % 0,8 ile sınırlıdır. İnert ve yarı-inert bileşenlerin toplamı % 20 dir. Pirit oldukça sınırlı düzeyde (%0,4) gözlenmiştir. Mineral maddenin önemli kısmı organik bileşenlere bağlıdır. Yapılan mikroskobik çalışma sonucunda kömür örneğinin tek tip kömür olduğu ve birden fazla kömür karışımı olmadığı belirlenmiştir.

5.7.2 Uçucu Külde Petrografik Çalışmalar

Uçucu küllerden en fazla yanmamış karbon içeren örnekten alınan numuneden pelet dökülerek mikroskopta incelenmiş ve mikrofotografaları çekilerek Şekil 5.32’de verilmiştir.

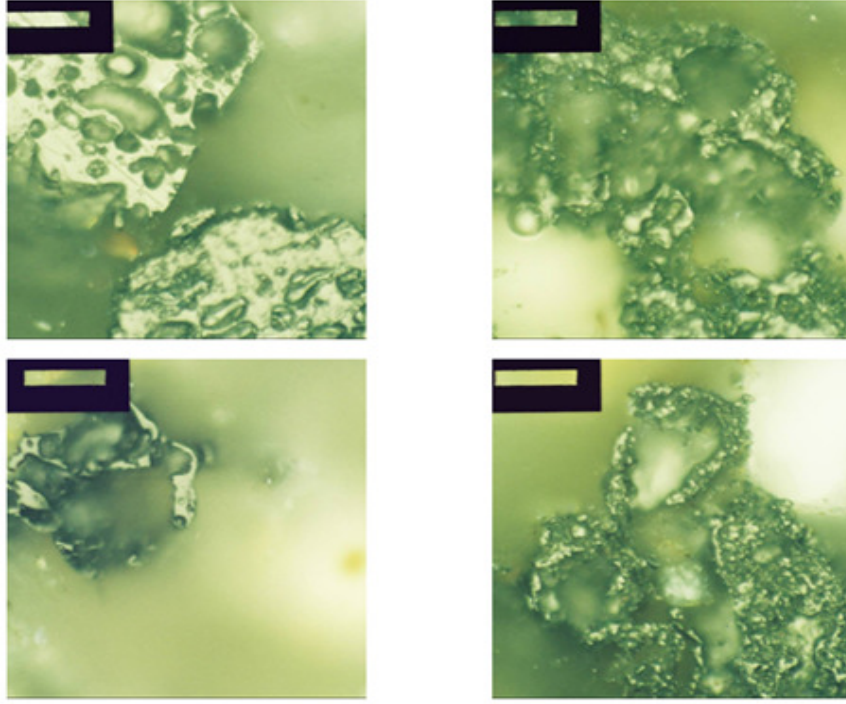


Şekil 5.32 Uçucu Kül numunelerinin mikro fotoğrafları.

Şekillerde camsı yapı kazanan uçucu kül örnekleriyle beraber yanmamış karbon da izlenebilmektedir. Her ne kadar karbon miktarı düşük numuneler olsa da yapısal olarak karbon inert maddelere birleşmiş olarak gözükmektedir ve kapanım halde oldukları için yanma olayı gerçekleşmemiştir. Uçucu küldeki yanmamış karbon yapıları incelendiğinde bunların çoğunlukla, kömürdeki füzinit ve semi füzinit gibi inert kökenli bileşenlerden meydana geldiği görülmüştür.

5.7.3 Yatak Külünde Petrografik Çalışmalar

Yatak külünden en fazla yanmamış karbon içeren örnekten alınan numuneden pelet dökülerek mikroskopta incelenmiş ve mikrofotografaları çekilerek Şekil 5.32’de verilmiştir.



Şekil 5.33 Yatak külü numunelerinin mikro fotoğrafları.

Şekiller incelendiğinde kapanım haldeki yanmamış karbonları gözlemlemek mümkündür. Yanmamış karbon olarak gözlenen yapılar aslında bağlı tane olarak kömürün ve kömüre bağlı inert maddelerin birlikte bulunduğu formlardır. Bu formlar yanma odasında yanabilecek ortam varken sıcaklığın inert madde tarafından soğrulmasıyla veya bu yapıların yanmaya elverişli şartlara kavuşmamasıyla yanmamış karbon bünyelerinde saklı tutulur ve curuflaşmış yapılar oluşur. Sıcaklığın kazan içinde fazlaşması kazan içinde curuflaşma açısından sakıncalıdır. Sıcaklığın optimizasyonu hem kazan içi curuflaşma hem de yanmamış karbon açısından önemlidir. Yanmamış karbon taneciklerinin iri tanelerden oluşmuş füzünit ve semifüzünitlerden oluştuğu, diğer yanmamış karbonların tane içindeki ve/veya çevresindeki inert yapılardan oluştuğu gözlenmektedir.

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada Eren Enerji Zonguldak termik santralının kömür stok sahasından, değirmen girişinden, değirmen çıkışından, elektrostatik filtre sıralarından, uçucu kül silolarından ve yatak küllerinden olmak üzere 5 farklı noktasından numuneler alınarak, sistem üzerinde kömür besleme boyutunun etkisi incelenmiştir. Santral küllerinde yanmamış karbonun nedenleri araştırılmış ve sistemin değerlendirilmesi yapılmıştır. Numuneler dış müdahalenin en az olduğu bir süreçte her vardiyada 3 gün süreyle alınarak bölümümüz Yakup Keskin Cevher Hazırlama laboratuvarına getirilmiştir. Standartlara uygun şekilde bölünerek deneysel çalışmalar yapılmıştır.

- Kömür stok sahasından alınan kömür numunesinin boyut analizi ve kısa analizi yapılmış, yüzdürme batırma testleri uygulanmıştır.
 - Analizler sonucunda, numunenin %11.44'ü 0.5 mm'nin %91.02'sinin de 35 mm'nin altında olduğu belirlenmiştir.
 - Orjinal bazda %8.13 kül, %24.71 uçucu madde, %46.64 sabit karbon içerdiği belirlenen numunenin üst ısıl değeri 5958 kcal/kg'dır.
 - Numuneye 1.60 gr/cm³ ve 1,90 gr/cm³yoğunluklu ortamlarda yüzdürme batırma testleri uygulanmıştır. Numune -50+25 mm -25+10 mm ve -10+0,5 mm boyut gruplarında sınıflandırılarak, her boyut grubunda 1.60 gr/cm³ ve 1,90 gr/cm³ yoğunluklu ortamda yüzdürme batırma testi uygulanmıştır. Bu testler sonucunda numunenin %96.08'inin 1.60 gr/cm³ yoğunluktan küçük yoğunluklu olduğu ve bu ürünün kül içeriğinin %2.47 olduğu, %3.76'sının 1,90 gr/cm³ dan daha büyük yoğunluklu olduğu, bu ürünün de kül içeriğinin %78.47 olduğu belirlenmiştir. Eren Enerji kömür stok sahasından alınan Kolombiya menşeli bu kömürün bir kömür

hazırlama tesisinden alınmış ve kül yapıcı malzemelerin uzaklaştırılmış olduğu yüzdürme batırma testleri sonuçlarından görülmektedir.

- Numunede petrografik analizler yapılmış ve mikrofotografı çekilmiştir. Numunenin %77,8 vitrinit, %0,8 liptinit, %9,6 inertinit, %10,4 semiinertinit, %0,4 pirit ve %1,00 mineral madde içerdiği belirlenmiştir. İnert ve yarı-inert bileşenlerin toplamı % 20 dir.
- Değirmen girişi örneklerinde boyut analizi yapılmış nem ve kül içerikleri belirlenmiştir.
 - Örneklerin elek analizi incelendiğinde vardiyalar arasında değirmenlere beslenen kömürün boyut dağılımlarında farklılıklar gözlenmiştir. Her bir değirmen girişi örneği için -0.6 mm'deki malzeme miktarı ortalama % 20 civarındadır, ancak bu değer %8.23 ile 36.63 arasında değişmektedir. Elek analizi yapılan örneklerde +6.70 mm malzeme miktarının %8 ile %32.36 arasında değişim gösterdiği görülmektedir.
 - Değirmen girişi numunelerinde nem miktarları %8.02 ile %13.85 arasındadır ve bu değer %14.63 olan stok sahası kömür örneği ile büyük ölçüde tutarlılık göstermektedir. Nemdeki kaybın nedeni sistem içine giren kömürün, değirmen girişine kadar olan süreçteki nem kaybıdır. Kül değerleri incelendiğinde %8.78 ile %13.70 arasında olduğu görülmektedir.
- Değirmen çıkışı numunelerinin Malvern Mastersizer S 2000 cihazı ile boyut dağılımları elde edilmiştir. Elde edilen boyut dağılımlarında boyut parametreleri olan D01, D05, D09, D32, D43 parametrelerinin, her iki ünite için 9 vardiya boyunca ortalama değerleri bulunmuştur. Boyut parametresindeki ortalama değerler incelendiğinde D01 boyut parametresinin 6.38 µm ile 15.99 µm arasında, D05 boyut parametresinin 42.06 µm ile 81.17 µm arasında, D09 boyut parametresinin 114.44 µm ile 191.60 µm arasında, D32 boyut parametresinin 7.02 µm ile 15.72 µm arasında, D43 boyut parametresinin 52.72 µm ile 94.32 µm arasında değiştiği belirlenmiştir.

- Uçucu küllerden alınan örneklerin yanmamış karbon analizleri yapılmıştır. 2. ünite ESP sıralarından alınan uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon miktarları %1.5 ile %5.24 arasında olduğu, ve 2. Üniteye ait uçucu kül silosundan alınan örnekteki yanmamış karbon içeriğinin %1,93 ile %3.27 arasında değiştiği belirlenmiştir. 3. ünite ESP sıralarından alınan uçucu kül örneklerinin yanmamış karbon miktarları %1.59 ile %4.95 arasında olduğu, ve 3. üniteye ait uçucu kül silosundan alınan örnekteki yanmamış karbon içeriğinin %2.59 ile %3.68 arasında değiştiği belirlenmiştir.
- Uçucu külden yanmamış karbon miktarları, pulverize kömür boyut parametreleri ortalamaları ile ilişkilendirilmiştir. İlişkilerde göze çarpan 2. Üniteye ait ilişkilerin R^2 değerlerinin 0.37 ile 0.58 arasında olduğu görülmektedir. Ancak bu değer 3. Üniteye 0.004 ile 0.31 arasında belirlenmiştir. D32 boyut parametrelerinde her iki üniteye ait değerlerde ilişkinin daha anlamlı olduğu söylenebilir. D32 boyut parametresi örneklerin hacim yüzey ortalama çapını gösterdiği yönüyle pulverize kömürün yanmaya ait karakteristiğini daha anlamlı bir şekilde göstermektedir. Pulverize kömür örneklerinin hacimleri azaldıkça ve yüzeyleri arttıkça D32 boyut parametresi düşük olmaktadır ve D32 boyut parametresi düşük oldukça da yanmamış karbon miktarı azalmaktadır.
- Yatak küllerinde yanmamış karbon analizleri yapılmıştır. Yanmamış karbon içerikleri %0.29 ile %1.13 arasındadır. Yatak küllerinde yapılan yanmamış karbon analizleri ile pulverize kömür boyut parametreleri arasında ilişki kurulmuştur. Bu ilişkilerde her iki üniteye ait R^2 değerleri çok düşüktür ve ilişki anlamlı değildir. R^2 değerleri 2. Üniteye 0.01 ile 0.03 arasındadır. 3. ünite için yatak külleri ile yanmamış karbon arasında kurulan ilişkilerde de R^2 değerleri anlamlı sonuçlar vermemiştir. 3. Üniteye ait yatak külleri yanmamış karbon içerikleri ile pulverize kömür boyutu ilişkilerinde R^2 değerleri 0.00006 ile 0.076 arasında bulunmuştur.

Yanmamış karbonun nedenleri santraldeki 5 ayrı noktadan alınan örneklerle araştırılmış ve pulverize kömür boyutunun etkisi belirlenmiştir. Pulverize kömürün boyut parametresi olan D32 ile ilişkilendirilen yanmamış karbon değerlerinde en anlamlı sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bartonova L, Klika Z and Pears D A** (2006) Characterization of unburned carbon from ash after bituminous coal and lignite combustion in CFBs, *Fuel* 86: 455-463.
- Pallarés J, Arauzo I and Teruel E** (2009) Development of an engineering system for unburned carbon prediction, *Fuel* 88: 187-194
- Lee B H, Eddings E G and Jeon C H** (2012) Effect of Coal Blending Methods with Different Excess Oxygen on Unburned Carbon and NO_x Emissions in an Entrained Flow Reactor, *Energy Fuels* 26: 6803-6814
- TEPAV** (2008) Pilot Etki Analizi Çalışması Termik Santrallerde AB Büyük Yakma Tesisleri Direktifi'ne Uyum, Türkiye Ekonomi Politikaları Araştırma Vakfı
- TKİ** (2010) Linyit Sektör Raporu 2010 Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ankara
- TKİ** (2011) Linyit Sektör Raporu 2011 Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ankara
- Trifunovic P D, Marinkovic S R, Tokalic R D and Matijasevic S D** (2010) The effect of the content of unburned carbon in bottom ash on its applicability for road construction, *Therm. Acta* 498: 1-6
- URL-1** (2013) www.yildiz.edu.tr/~oisin/dersler/dersnotlari/0653634/yakitlar_yanma_10hafta.pdf.
- URL-2** (2013) <http://www.izdemirenerji.com/teknoloji/>,
- URL-3** (2013) <http://www.csb.gov.tr/db/ippe/icerikbelge/icerikbelge881.docx>,
- URL-4** (2013) http://www.polimak.com/Kul_Tasima_Tahliye_Bosaltma.htm,
- URL-5** (2013) <http://www.kutahyacimento.com/tr/pulverize-ucucu-kul>,
- URL-6** (2013) <http://eyupyaylaci.com/ucucu-kul/>,
- URL-7** (2013) <http://www.belgeler.com/blg/2sec/tabani-kulu>,
- URL-8** (2013) <http://www.ekton.com.tr/tabani-kulu-bottom-ash-sayfa.html>,
- URL-9** (2013) http://www.erenholding.com.tr/sektorler/enerji/eren_enerji,
- URL-10** (2013) <http://okul.selyam.net/docs/index-12395.html?page=2>,

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Volkan S (2006) Afşin-Elbistan termik santrali uçucu küllerinden yanmamış karbonun geri kazanımı, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yan W and Li J (2009) Modelling of the unburned carbon in fly ash, *EPE* 1: 90-93

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet BİLEN 1986'da Bolu/Merkez'de doğdu; ilk ve orta öğrenimini Bursa'da; lise öğrenimini ise Bursa Anadolu lisesinde tamamladı. 2004 yılında O.D.T.Ü Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümüne girdi. 2011 yılında mezun olduktan sonra aynı yıl Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Anabilim dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı ve halen aynı bölümde aynı görevinde devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Bülent Ecevit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü
67100 İncivez/Zonguldak

Tel : (372) 257 40 10 / 11 20

E-posta : mehmetubilen@yandex.com