

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KÖMÜR MİNERAL MADDE İÇERİĞİNİN**  
**YANMA PROSESİNDEKİ ETKİLERİNİN**  
**İNCELENMESİ**

**Gül AKAR**

**Mayıs, 2009**

**İZMİR**

# **KÖMÜR MİNERAL MADDE İÇERİĞİNİN YANMA PROSESİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Doktora Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Anabilim Dalı**

**Gül AKAR**

**Mayıs, 2009**

**İZMİR**

## DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**GÜL AKAR**, tarafından **Prof. Dr. ÜNER İPEKOĞLU** yönetiminde hazırlanan **“KÖMÜR MİNERAL MADDE İÇERİĞİNİN YANMA PROSESİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ”** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Üner İPEKOĞLU

Yönetici

Prof. Dr. Vedat ARSLAN

Prof. Dr. Abdurrahman BAYRAM

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Tez İzleme Komitesi Üyesi

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Cahit HELVACI

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamı yaptığım süre boyunca, bana her zaman destek olan mesleki gelişimime bilgi ve tecrübesiyle katkı sağlayan ve daima olumlu yaklaşımlarıyla beni yönlendiren danışmanın Sayın Prof. Dr. Üner İPEKOĞLU'na teşekkür ederim. Konu ile bilgilerini benimle paylaşan ve tüm çalışmam boyunca manevi desteklerini esirgemeyen, çalışmam boyunca beni yönlendiren ve katkı koyan tez izleme komitesi jüri üyesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Vedat ARSLAN ve Prof. Dr. Abdurrahman BAYRAM'a teşekkür ederim.

Ayrıca doktora çalışmama başladığım ilk senlerde ve geçmiş yıllarda bana her konuda destek sağlayan, bilgi ve tecrübelerini esirgemediği paylaşılan, mesleki gelişimime büyük katkılar sağlayan kişiliğini örnek aldığım rahmetli hocam Sayın Prof. Dr. Hasan MORDOĞAN'a teşekkürü borç bilirim.

Çalışmalarım boyunca bana sabır gösteren, mesleğime duydukları saygı ve bana olan inançları ile daima yanımda olan, sevgi ve ilgileriyle beni sınırsız destekleyen sevgili annem Hanife AKAR'a, babam Mehmet AKAR'a, kardeşlerim Nurcan Hesapçıoğlu, Nurten Drahyalı ve Egemen AKAR'a, beni ikinci kızı olarak gören ve yanımda olan eniştem Erhan Drahyalı'ya sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Çalışmalarımın başından itibaren; hazırlık, analizler, deneylerim ve tezimin yazım aşaması sırasında her tür yardım ve manevi desteği sağlayan değerli hocalarım, sevgili arkadaşlarım ve laboratuvarlarını açarak deneylerimi yapmama izin veren kuruluşlara teşekkür ederim.

Gül AKAR



# KÖMÜR MINERAL MADDE İÇERİĞİNİN YANMA PROSESİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

## ÖZ

Büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, özellikle endüstrinin diğer kesimlerinde değerlendirilme imkanı bulunmayan düşük kalorili, kül oranı yüksek linyit kullanılmaktadır. Kömür madenciligi, hazırlanması ve kullanımı sırasında, kömürün kimyasal kompozisyonunun ve mineral madde içeriğinin belirlenmesi son derece önemlidir. Kömürün içerdiği mineral madde sadece yakma yerine tasnif, sonrada kül olarak atılacak bir kısım değildir, çünkü oluşan kül yakma sistemlerinde ciddi sorunlar yaratır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için kullanılan kömürün kül miktarına ilaveten külün kimyasal bileşimini ve ergime özelliklerini de bilmek gerekir.

Yapılan bu çalışmanın ilk aşamasında, sürekli olarak kazan içi curufasma problemleri ile karşılaşmakta olan Soma, Yatagan, Yeniköy ve Kemerköy Termik santrallerinden alınan kömür, kül, curuf örneklerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik kompozisyonları belirlenmiştir. İkinci aşamada ise santrallerden alınan uçucu kül ve kömür külü örneklerinin ergime dereceleri tespit edilmiş ve kimyasal kompozisyonlarına göre hesaplanan ampirik değerler ile curufasma eğilimleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bu santrallerin hepsinde curufasma yüksek derecede bulunmaktadır. Üçüncü kısımda ise kömür küllerine ilave katkı malzemeleri kullanarak kömür külünün kimyasal kompozisyonu değiştirilmiş ve curufasma eğilimlerinin nasıl değiştiği gözlemlenmiştir.

Elde edilen deneysel bulgular sonucunda kömür içerisine asidik oksit oranı yüksek olan bir başka kömürün karıştırılması ile elde edilen karışım kömürünün curufasmayı azaltabileceği önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uçucu kül, ergime noktası, kömürün mineral maddesi, curufasma

# INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF COAL MINERAL MATTER CONTENT ON THE BURNING PROCESS

## ABSTRACT

High capacity coal-fired power plants use lignite coals which can not be utilized in other industries due to its high mineral matter content and low calorific value. It is very important to determine the chemical composition and mineral matter content of the coal sample for its mining, preparation and consumption. Mineral matter content of the coal is not just a component to be carried to the place to be fired and discarded after burning because the originated fly ash causes some serious problems in burning systems. The chemical composition and fusion behavior of the coal ash should be known in addition to mineral matter content of the used coal to overcome these problems.

In the first step of this study, the determination of the physical, chemical and mineralogical composition of the coal, coal ash and slag samples from various coal-fired power plants (Soma, Yatagan, Yeniköy and Kemerköy) were investigated. These plants are reported to slagging problems in their boiler units. The determination of the fusion temperatures of ash and coal samples from coal-fired power plants have been carried out in the second step of this study. Slagging tendencies of the samples have been revealed using the calculated empirical values according to the chemical compositions. Some additives were used to modify chemical composition of the coal ash and the changes in the slagging tendency have been observed in the last section of this research work.

The results of the studies indicated that it is possible to reduce the slagging by using a coal mixture by blending our sample with another coal having high acidic oxide ratio.

**Key Words:** Flying ash, fusion temperature, mineral matter, slagging

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
DOKTORA TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR-GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1 Genel .....	1
1.2 Amaç .....	3
1.3 Projede İzlenen Yol.....	4
<b>BÖLÜM İKİ - DÜNYA VE TÜRKİYEDE ENERJİ VE KÖMÜRÜN YERİ.....</b>	<b>5</b>
2.1 Türkiye’de Elektrik Enerjisi Sektörünün Tarihçesi.....	5
2.2 Dünya’da Ve Türkiye’de Enerji Politikaları Ve Kömürün Yeri.....	8
2.2.1 Dünya Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi .....	8
2.2.2 Türkiye’de Enerji Talebi Ve Kömürün Yeri .....	15
2.2.2.1 Türkiye Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi.....	15
2.2.2.2 Türkiye Enerji Sektöründe Kömür.....	17
2.2.2.3 Türkiye’de Linyit Üretimi.....	17

## **BÖLÜM ÜÇ - TÜRKİYE’DE KÖMÜR YAKAN TERMİK SANTRALLER, YANMA SONUCU OLUŞAN ÜRÜNLER VE DAVRANIŞLARI ..... 22**

3.1 Türkiye’de Kömürle Çalışan Termik Santraller ve Özellikleri.....	22
3.1.1 Ege Bölgesi Termik Santrallerinin Genel Özellikleri.....	24
3.1.1.1 Soma Termik Santrali .....	26
3.1.1.2 Yatağan Termik Santrali .....	28
3.1.1.3 Yeniköy Termik Santrali.....	30
3.1.1.4 Kemerköy Termik Santrali .....	31
3.2 Yanma Sonucu Oluşan Ürünler ve Davranışları .....	33
3.2.1 Kömürün Mineral Maddesi .....	35
3.2.1.1 Kömür Mineral Maddesinin Sınıflandırılması.....	36
3.2.1.2 Kömürün İçerdiği Mineral Maddeler .....	38
3.2.1.3 Yanma Esnasında Mineral Madde Dönüşüm Kinetiği ve Mineral Maddeden Kaynaklanan Birikimler .....	40
3.2.1.3.1 Curuf Oluşumu.....	44
3.2.1.3.2 Kurum Oluşumu.....	45
3.2.1.3.3 Kömür Külü Oluşumu ve Ergime Özellikleri.....	45
3.2.2 Kömür Külünün Yakma Sistemlerinde Yarattığı Sorunlar .....	49

## **BÖLÜM DÖRT - DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULARIN İRDELENMESİ ..... 55**

4.1. Malzeme .....	55
4.1.1 Numune Alma.....	55
4.1.2 Numune Hazırlama .....	55
4.2 Metod ve Test Yöntemleri.....	56
4.2.1 Kimyasal Analiz Yöntemleri .....	57
4.2.2 Mineralojik Analiz Yöntemleri .....	57
4.2.3 Test Yöntemleri .....	58
4.2.3.1 Mineral Madde Tayini .....	58
4.2.3.2 Kül Ergime Testleri.....	59
4.3. Deneysel Bulgular ve Değerlendirilmesi .....	62

4.3.1 Fiziksel Karakterizasyon .....	65
4.3.1.1 Uçucu Kül ve Kömür Numunelerinin Tane Boyut Dağılımları.....	65
4.3.1.2 Özgül Yüzey Alan ve Spesifik Yoğunluk Testleri .....	68
4.3.1.3 Uçucu Kül ve Kömür Numunelerinin Mikroskop Analizleri .....	70
4.3.1.3.1 Binoküler mikroskop. ....	70
4.3.1.3.2 Uçucu Kül Numunelerinin Elektron Mikroskop (SEM) Analizleri .....	72
4.3.2. Uçucu Kül ve Kömür Numunelerinin Minerolojik Yapıları .....	79
4.3.2.1 XRD Analizleri .....	79
4.3.2.2 XRF Analizleri.....	79
4.3.3 Kimyasal Kompozisyon .....	81
4.3.4 DTA/TG Analizleri.....	83
4.3.5 Mineral Madde Analiz Sonuçları .....	89
4.3.6 Kül Ergime Testi Sonuçları .....	91
4.3.6.1 Isıl Mikroskop Testi Sonuçları.....	92
4.3.6.2 Uçucu Kül Numuneleri Ergime Testi Sonuçları.....	95
4.3.6.3 Kömür Külü Numuneleri Ergime Testi Sonuçları.....	102
4.3.6.4 Kömür Külü Karışım Numuneleri Ergime Testi Sonuçları.....	107
4.3.7 Termik Santral Kazan İçi Profilleri .....	125
4.3.7.1 Kimyasal Analiz Sonuçları .....	128
4.3.7.2 Mineralojik Analiz Sonuçları (XRD).....	141

**BÖLÜM BEŞ – DENEYSEL BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ..... 143**

**BÖLÜM ALTI - SONUÇ ..... 155**

**KAYNAKLAR ..... 157**

**EKLER..... 164**

# BÖLÜM BİR

## GİRİŞ

### 1.1 Genel

İnsanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji özellikle sanayi, konut ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Toplumların kalkınmasında en önemli parametrelerden biri olan enerjinin temiz, ucuz ve güvenli bir şekilde temini tüm dünya ülkelerinin gündeminde olan bir konudur. Ülkeler, bir taraftan çevre kirliliği nedeniyle uluslararası hukuk düzenlemeleri geliştirirken diğer yandan ucuz ve temiz enerji türleri konusunda AR-GE çalışmalarını sürdürmektedir. Bunların yanı sıra, “sürdürülebilir kalkınma” kavramının dünya gündeminde yerini aldığı görülmekte, enerji kaynakları arasındaki rekabet sürerken yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyeti ve geleceği tartışılmakta, enerji kaynakları kıt olan ülkeler hangi enerji kaynaklarına hangi oranda öncelik vermeleri gerektiği üzerinde politika üretmektedir.

Türkiye’de ise, sürdürülebilir kalkınma ve enerji konusunda uzun soluklu bir politika oluşturulamamıştır. Ancak, son dönemde ekonomiklik kavramından hareketle doğalgaz ithali gözden geçirilmekte ve yerli kaynaklara öncelik verileceği belirtilmektedir. Türkiye’de bilinen yerli kaynak olarak hidrolik potansiyel ve kömür rezervlerimizden başka enerji kaynakları mevcuttur. Ancak yeterli araştırma ve potansiyel belirleme çalışmaları yapılmamıştır. Bu nedenle kısa vadede yerli kaynaklar olarak kullanıma hazır görülenler kömür ve hidrolik potansiyellerdir. Sadece diğer fosil kaynaklara göre rezervin büyüklüğü açısından değil, kömür yataklarının yurdumuzun çeşitli bölgelerine dağılmış olması, işletilmesi nedeniyle ortaya çıkan katma değer, elektrik enerjisi üretiminde kwh başına ucuz hammadde olması ve emniyetli taşınması gibi faktörler kömürü Türkiye’nin en önemli fosil enerji kaynağı haline getirmektedir.

Ancak enerji; yaşantımızdaki vazgeçilmez yararlarının yanı sıra üretim, çevrim, taşıım ve tüketim esnasında büyük oranda çevre kirlenmesine de yol açmaktadır. Bu nedenle çevre sorunları ulusal olduğu gibi uluslararası nitelikler de taşımaktadır. Yine bu nedenle çevre sorunlarını gidermek için, gerekli tedbirlerin alınmasında, uluslararası işbirliğinin rolü önem kazanmaktadır.

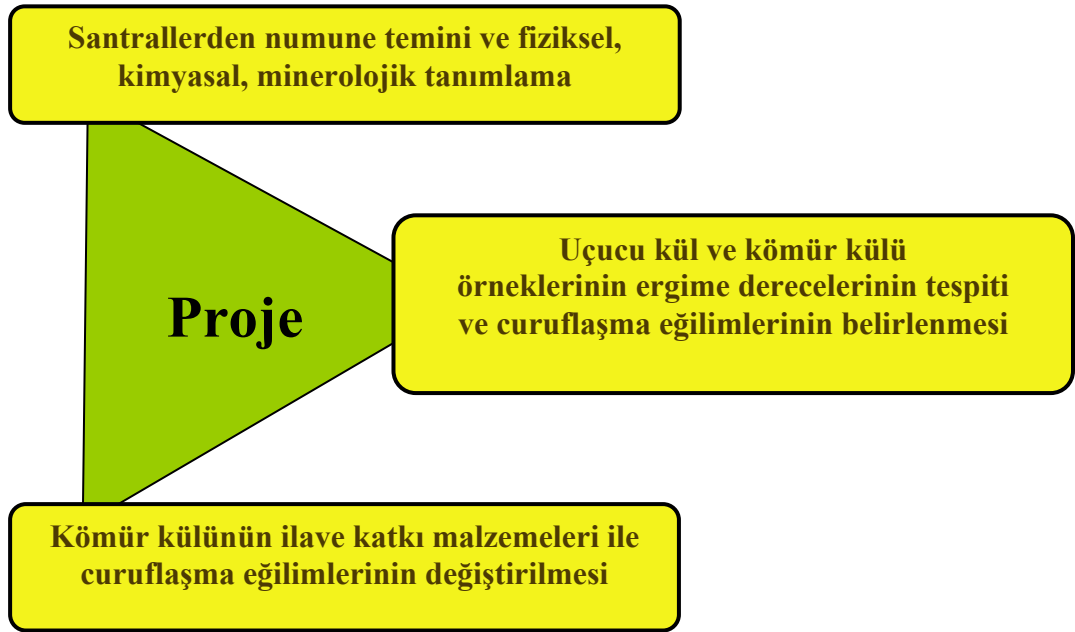
Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, özellikle endüstrinin diğer kesimlerinde değerlendirilme imkanı bulunmayan düşük kalorili, kül oranı yüksek linyit kullanılmaktadır. Yetmişli yıllarda termik santrallerin üretimini arttırmak amacıyla yeni tekniklerin uygulanması, düşük kaliteli kömürlerin değerlendirilmesi olanaklarını arttırmıştır. Ancak yanma sonucunda da düşük kaliteli linyit kömürlerinin oluşturduğu gaz ve toz emisyonları ile büyük miktarda katı atıklar (uçucu ve taban külü, curuf ve baca gazı) meydana gelmiştir.

Kömür madenciliği, hazırlanması ve kullanımı sırasında, kömürün kimyasal kompozisyonunun ve mineral madde içeriğinin tanınmış olması son derece önemlidir. Kömürün içerdiği mineral madde sadece yakma yerine taşınıp, sonrada kül olarak atılacak bir kısım değıldir. Oluşan kül yakma sistemlerinde sorunlar yaratır. Bu sorunları azaltabilmek için kullanılan kömür külünün miktarına ilaveten kimyasal bileşimini ve erime özelliklerini de bilmek gerekir. Yakıldığı zaman bıraktığı kül miktarı az; fakat erime derecesi düşük olan bir kömür, daha fazla kül bırakan; ancak külünün erime sıcaklığı daha yüksek olan diğer bir kömürden daha düşük bir verimle yakılabilmektedir.

Kömürün termik santrallerde kullanımında, kömür külünün elementer bileşimi, kazan içerisindeki curuflaşma oranını ve curuf oluşum mekanizmasını etkileyen önemli bir faktördür. Termik santrallerde yakılacak olan kömürün özelliklerinin bilinmesi oluşacak problemlerin önlenmesi için mutlaka gereklidir.

## 1.2 Amaç

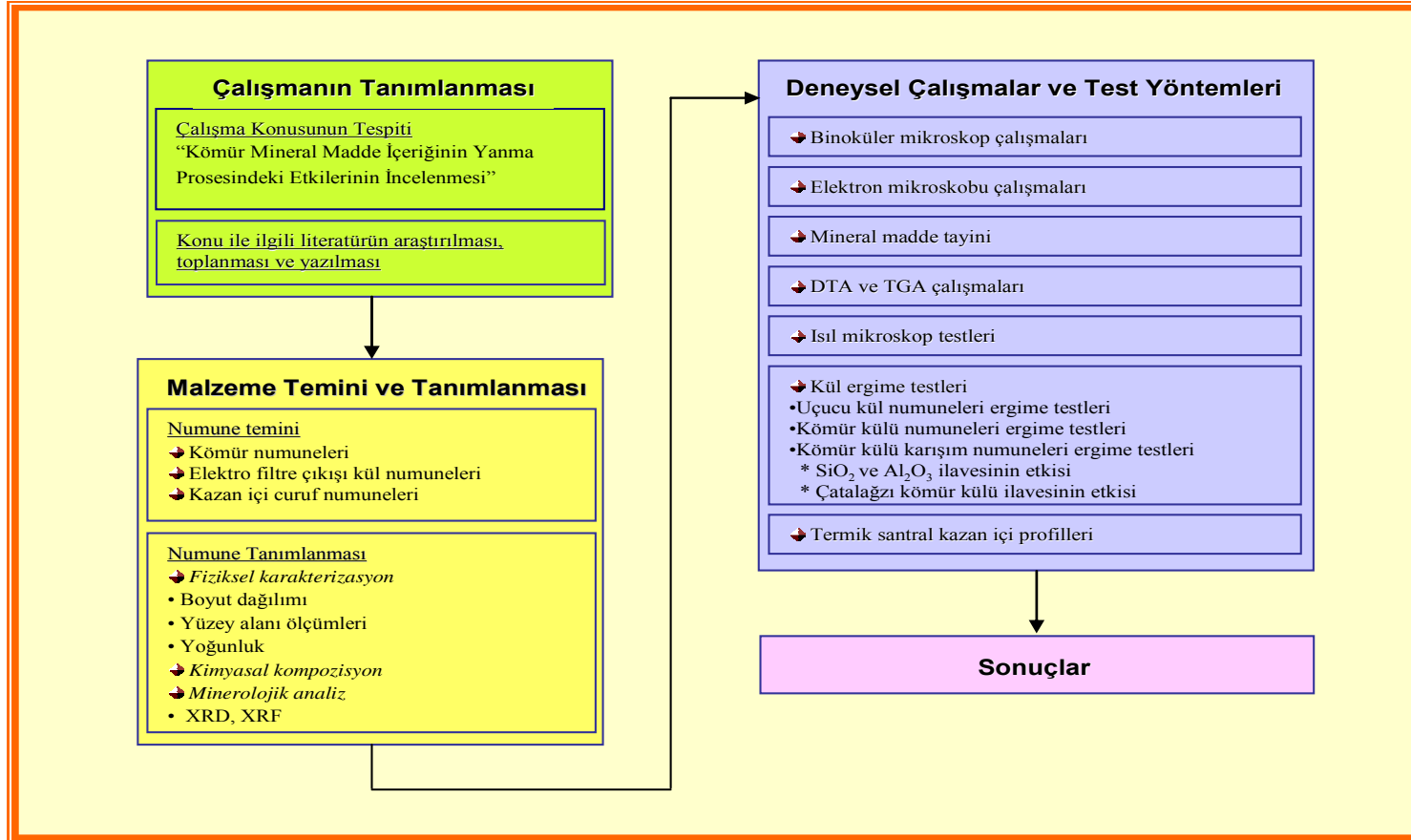
Termik santrallerde yakılacak olan kömürün özelliklerinin bilinmesi oluşacak problemlerin önlenmesi için oldukça önemlidir. Bu sebeple doktora tez çalışması kapsamında, Ege Bölgesi sınırları içerisinde yer alan ve kazan içi curuflaşma problemlerinin olduğu bilinen Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy Termik santrallerinden kömür, kül, curuf örnekleri alınmıştır. Alınan örneklerin kimyasal, fiziksel ve mineralojik yapıları belirlenmiş, kömür içindeki element kompozisyonları değiştirilerek santrallarda mevcut olan kazan içi curuflanmaların sebepleri araştırılmış, önlemleri bulunmaya çalışılmıştır. Şekil 1.1’de projenin amacı gösterilmiştir.



Şekil 1.1 Projenin amacı



### 1.3 Projede İzlenen Yol



Şekil 1.2 Projede İzlenen Yol

## **BÖLÜM İKİ**

### **DÜNYA VE TÜRKİYEDE ENERJİ VE KÖMÜRÜN YERİ**

#### **2.1 Türkiye’de Elektrik Enerjisi Sektörünün Tarihçesi**

Esas olarak elektrik enerjisi sektörünü tarihçemiz dört bölümde ele alabiliriz;

- Cumhuriyet Öncesi Dönem (1902-1923)
- Cumhuriyetin İlk Dönemleri (1923-1970)
- Türkiye Elektrik Kurumu Dönemi (1970-1984)
- 1984 yılı sonrası

Ülkemizde ilk elektrik enerjisi santrali 1902 yılında Tarsus’ta kurulan 2 kilowatt (kW) gücündeki su değirmeni ile çalışan dinamodur.

Türkiye Cumhuriyetinin kuruluş yılı 1923’te ise kurulu gücümüz 33 Megawatt (MW) ve toplam elektrik enerjisi üretimi 45 milyon Kwh’dır.

Cumhuriyetin ilk yıllarında elektrik enerjisi için termik ve hidroelektrik kaynaklar kullanılırken, 1985 yılından sonra jeotermal ve rüzgar santralleri de devreye girmeye başlamıştır. Türkiye’deki kurulu gücün yıllar itibarıyla gelişimi Tablo 2.1’ de verilmiştir (TEİAS, 2006). 1984 yılına kadar sadece kamu sektörü tarafından gerçekleştirilen elektrik enerjisi üretimi, 1984 yılından sonra çıkarılan yasalarla birlikte özel sektör tarafından üretilmeye başlanmıştır. 1999 yılı sonu itibarıyla elektrik enerjisi üretiminde kamu (TEAS ) Türkiye Elektrik Anonim Şirketinin yanısıra, özel üretim şirketleri ve otoprodüktörler, ÇEAS ve KEPEZ ayrıcalıklı şirketler ve kiralama yöntemiyle hizmet alınan mobil santraller faaliyette bulunmaya başlamıştır.

2002 yılı itibarıyla Türkiye’de kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına göre üretici kuruluşlara dağılımı Tablo 2.2’de gösterilmiştir. (TEİAS, 2006).

Tablo 2.1 Türkiye’de kurulu gücün yıllar itibarıyla gelişimi (MW) (TEİAŞ, 2006)

YIL	TERMİK	HİDROLİK	JEOTER.+RÜZ.	TOPLAM	ARTIŞ (%)
1984	4569,3	3874,8	17,5	8461,6	22,0
1985	5229,3	3874,8	17,5	9121,6	7,8
1986	6220,2	3877,5	17,5	10115,2	10,9
1987	7474,3	5003,3	17,5	12495,1	23,5
1988	8284,8	6218,3	17,5	14520,6	16,2
1989	9193,4	6597,3	17,5	15808,2	8,9
1990	9535,8	6764,3	17,5	16317,6	3,2
1991	10077,8	7113,8	17,5	17209,1	5,5
1992	10319,9	8378,7	17,5	18716,1	8,8
1993	10638,4	9681,7	17,5	20337,6	8,7
1994	10977,7	9864,6	17,5	20859,8	2,6
1995	11074,0	9862,8	17,5	20954,3	0,5
1996	11297,1	9934,8	17,5	21249,4	1,4
1997	11771,8	10102,6	17,5	21891,9	3,0
1998	13021,3	10306,5	26,2	23354,0	6,7
1999	15555,9	10537,2	26,2	26119,3	11,8
2000	16052,5	11175,2	36,4	27264,1	4,4
2001	16623,1	11672,9	36,4	28332,4	3,9
2002	19568,5	12240,9	36,4	31845,8	12,4
2003	22974,4	12578,7	33,9	35587,0	11,7
2004	24144,7	12645,4	33,9	36824,0	3,5
2005	25902,3	12906,1	35,1	38843,5	5,5
2006	27420,2	13062,7	81,9	40564,8	4,4

**Not:** Jeotermal santralının kurulu gücü 2003 yılında EÜAŞ tarafından revize edilerek 15 MW'a düşürülmüştür.

Tablo 2.2 Türkiye’de kurulu gücün birincil enerji kaynaklarına yıllara göre üretici kuruluşlara dağılımı (MW) (TEİAŞ, 2006)

KURULUŞLAR		1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
EÜAŞ	TERMİK	3527,9	4132,9	5126,8	6275,9	7031,4	7924,0	8246,7	8778,1	9003,1	9213,1	9423,1	6349,1	6364,1	6364,1	6763,1	8116,1	7973,1	7653,1	7648,1	6954,1	6945,9	7625,9	8705,9	
	HİDROLİK	3644,2	3644,2	3644,2	4720,1	5935,1	6298,1	6465,1	6521,5	7779,2	9049,0	9208,3	9207,6	9239,5	9403,9	9497,9	9701,7	9977,3	10108,7	10108,7	10990,2	10994,7	11109,7	11176,0	
	JEOTERMAL	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	7648,1	6954,1	6945,9	7625,9	
	TOPLAM	7189,6	7794,6	8788,5	11013,5	12984,0	14239,6	14729,3	15317,1	16799,8	18279,6	18648,9	15574,2	15621,1	15785,5	16278,5	17835,3	17967,9	17779,3	17774,3	17959,3	17955,6	18750,6	19881,9	
EÜAŞ'IN BAĞLI ORTAKLIKLARI	TERMİK												3284,0	3284,0	3284,0	3284,0	3284,0	3284,0	3284,0	10108,7	10990,2	10994,7	11109,7	3834,0	
ÖZELLEŞTİRME KAPSAM VE PROGRAMINA ALINAN SANTRALLAR	TERMİK																				1680,0	1680,0	1680,0	1680,0	
AYRICALIKLI ŞİRKETLER	TERMİK	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	106,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	HİDROLİK	218,4	218,4	222,4	272,4	272,4	272,4	272,4	555,9	563,1	586,7	610,3	610,3	610,3	610,3	610,3	610,3	610,3	610,3	610,3	1120,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	TOPLAM	324,4	324,4	328,4	378,4	378,4	378,4	378,4	661,9	669,1	692,7	716,3	716,3	716,3	716,3	716,3	610,3	610,3	610,3	1120,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	OTOPRODÜKTÖRLER	TERMİK	935,4	990,4	987,4	1092,4	1147,4	1163,4	1183,1	1193,7	1210,8	1319,3	1448,6	1334,9	1419,6	1764,3	2291,8	2632,0	2955,2	3319,4	3634,3	3900,5	3725,4	3496,7	3833,7
ÜRETİM ŞİRKETLERİ	HİDROLİK	12,2	12,2	10,9	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	9,7	9,7	13,1	13,6	21,9	39,2	53,0	99,8	639,8	653,5	562,8	594,1	
	RÜZGAR															1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,7		
	TOPLAM	947,6	1002,6	998,3	1103,2	1158,2	1174,2	1193,9	1204,5	1221,6	1330,1	1459,4	1344,6	1429,3	1777,4	2306,9	2655,4	2995,9	3373,9	3735,6	4541,8	4380,4	4062,2	4427,8	
	TERMİK													123,4	253,4	576,4	1444,6	1449,6	1449,6	3759,6	6870,3	8239,2	9576,0	10321,7	
MOBİL SANTRALLAR	HİDROLİK						16,0	16,0	25,6	25,6	35,2	35,2	35,2	75,3	75,3	184,7	203,3	518,3	870,8	99,8	639,8	653,5	562,8	1374,5	
	RÜZGAR															7,2	7,2	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4		
	TOPLAM						16,0	16,0	25,6	25,6	35,2	35,2	35,2	198,7	328,7	768,3	1655,1	1985,3	2337,8	4659,0	7806,3	9223,7	10796,9	11696,2	
	TERMİK																	79,2	90,6	297,0	622,5	795,5	780,2	749,7	
İŞLETME HAKKI DEVİR	TERMİK																	300,0	620,0	620,0	620,0	620,0	620,0		
	HİDROLİK																	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1		
	TOPLAM																	330,1	650,1	650,1	650,1	650,1	650,1		
TÜRKİYE	TERMİK	4569,3	5229,3	6220,2	7474,3	8284,8	9193,4	9535,8	10077,8	10319,9	10638,4	10977,7	7790,0	11297,1	11771,8	13021,3	15555,9	16052,5	16623,1	19568,5	22974,4	24144,7	25902,3	27420,2	
	HİDROLİK	3874,8	3874,8	3877,5	5003,3	6218,3	6597,3	6764,3	7113,8	8378,7	9681,7	9864,6	9862,8	9934,8	10102,6	10306,5	10537,2	11175,2	11672,9	12240,9	12578,7	12645,4	12906,1	13144,6	
	JEOTER.+ RÜZGAR	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	26,2	26,2	36,4	36,4	36,4	33,9	33,9	35,1		
	GENEL TOPLAM	8461,6	9121,6	10115,2	12495,1	14520,6	15808,2	16317,6	17209,1	18716,1	20337,6	20859,8	17670,3	21249,4	21891,9	23354,0	26119,3	27264,1	28332,4	31845,8	35587,0	36824,0	38843,5	40564,8	

## 2.2 Dünya’da Ve Türkiye’de Enerji Politikaları Ve Kömürün Yeri

### 2.2.1 Dünya Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi

Dünyada; yaklaşık 6.5 milyarlık nüfusun 4.5 milyarının dünya ortalamasından daha düşük enerji tükettiği; 2.4 milyarının hala ticari olmayan enerji kaynaklarına (odun, bitki-hayvan artıkları) bağlı olduğu; 1.6 milyarına ise elektriğin ulaşmamış olduğu ve gelişmiş ülkelerde kişi başına enerji tüketiminin gelişmekte olan ülkelere göre 7 katı yüksek olduğu bilinmektedir. 2005 yılı verilerine göre bazı OECD ve Avrupa Birliği (AB) ülkelerinde elektrik kurulu gücü Tablo 2.3’de verilmektedir .

Tablo 2.3 OECD ve AB Ülkelerinde Elektrik Kurulu Gücü (2005 Yılı, GW) (IEA Statistics, Electricity Information 2007)

	KÖMÜR (*)	SIVI	DOĞAL GAZ (*)	YENİLENEBİLİR +ATIK	TERMİK TOPLAM	NÜKLEER	HİDROLİK	DİĞER (**)	TOPLAM
<b>ÜLKELER</b>									
ABD	338,19	64,84	436,99	11,73	851,75	105,59	96,92	12,75	1067,01
ALMANYA	..	..	..	..	76,37	20,38	8,34	19,94	125,03
AVUSTURALYA	28,89	0,95	10,48	0,20	40,52	-	9,29	0,81	50,62
AVUSTURYA	2,25	0,25	3,34	0,42	6,25	-	11,81	0,85	18,91
BELÇİKA	4,09	0,48	3,78	0,37	8,71	5,80	1,42	0,17	16,10
ÇEK CUMHURİYETİ	11,46	..	..	..	11,45	3,76	2,17	0,03	17,41
DANİMARKA	5,91	1,75	2,35	0,20	10,21	-	0,01	3,13	13,35
FİNLANDİYA	7,76	0,91	2,01	-	10,67	2,67	3,04	0,09	16,47
FRANSA	..	..	..	..	27,35	63,36	25,29	0,98	116,98
HOLLANDA	..	..	..	..	19,96	0,45	0,04	1,35	21,80
İNGİLTERE	28,68	5,27	28,58	1,60	64,13	11,85	4,30	1,58	81,86
İRLANDA	1,24	1,03	2,85	0,02	5,13	-	0,53	0,61	6,27
İSPANYA	..	..	..	..	40,80	7,58	18,22	8,35	74,95
İSVEÇ	2,76	3,71	0,33	0,28	7,07	9,47	16,35	0,50	33,39
İSVİÇRE	-	0,05	0,24	0,57	0,85	3,22	15,01	0,04	19,12
İTALYA	9,99	13,03	37,91	1,00	61,94	-	20,99	2,57	85,50
İZLANDA	-	0,14	-	-	0,15	-	1,16	0,23	1,54
JAPONYA	51,32	40,74	47,16	..	177,27	49,58	47,29	3,18	277,32
KANADA	..	0,06	2,05	1,26	35,47	13,35	71,98	0,72	121,52
KORE	21,18	7,04	17,06	0,08	45,37	17,18	3,88	0,11	66,54
LÜKSEMBURG	-	-	0,45	0,01	0,46	-	1,14	0,06	1,66
MACARİSTAN	1,51	0,41	4,37	0,37	6,65	1,87	0,05	0,02	8,59
MEKSİKA	..	..	..	..	38,16	1,37	10,58	0,98	51,07
NORVEÇ	0,08	0,02	0,04	0,14	0,26	-	27,85	0,31	28,42
POLONYA	..	..	..	..	29,81	-	2,32	0,12	32,25

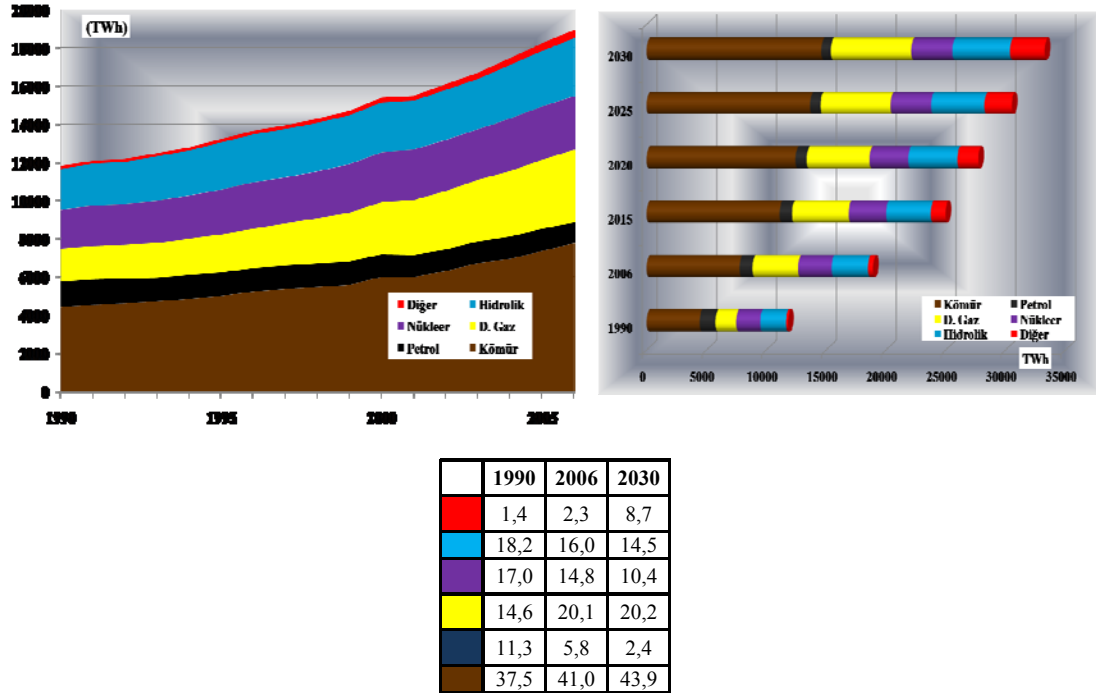
Tablo 2.3 (Devamı). OECD ve AB Ülkelerinde Elektrik Kurulu Gücü (2005 Yılı, GW) (IEA Statistics, Electricity Information 2007)

PORTEKİZ	2,04	2,30	2,84	0,10	7,28	-	5,03	1,08	13,39
SLOVAKYA	..	..	..	..	3,10	2,64	2,51	0,01	8,25
TÜRKİYE	9,59	2,51	13,77	0,04	25,89	-	12,91	0,04	38,84
YENİ ZELANDA	1,16	0,16	1,50	0,10	2,90	-	5,35	0,63	8,88
YUNANİSTAN	4,81	2,32	2,53	0,05	9,71	-	3,11	0,49	13,31
OECD					1625,69	320,10	428,85	61,71	2436,35

(\*Çok yakıtlı üniteler dahildir (\*\*)Jeotermal+güneş+rüzgar+dalga

2005 yılı itibariyle kişi başına yıllık elektrik tüketimi gelişmiş ülkeler için 8900 (kWh) iken dünya ortalaması ise 2500 (kWh)'dir. ABD'de 12322 kWh olan kişi başına yıllık elektrik tüketimi AB için 6000 (kWh) iken bu oran Türkiye için 2200 (kWh) olmuştur. (İTU, 2007).

Birincil kaynaklara göre dünya enerji üretiminin (1990-2005) ve 2030 yılına kadar tahmin edilen değerleri Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Kaynaklarına göre dünya enerji üretimi

Dünya elektrik enerjisi üretimi yıllık ortalama %3 artışla, 1990 yılında 11.811 TWh'ten 2007 yılında 18.930 TWh'e çıkmıştır. Fosil yakıtlar dominant özelliğini korumuştur. Kömür ve doğal gazın payı %5 civarında artarken, petrolün payı yarı yarıya azalmıştır. Hidrolik üretimi de düşmüştür.

Yapılan araştırmalarda, bu paylaşımın devam edeceği, tüm enerji kaynaklarının üretiminin artacağı, ancak kömür, doğal gaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışın daha fazla olacağı beklenmektedir. Dünya elektrik üretimi bu dönemde % 85 artacak ve yaklaşık % 80'i çok değişim göstermeden kömür ve doğal gazdan üretilmektedir (EIA, 2008).

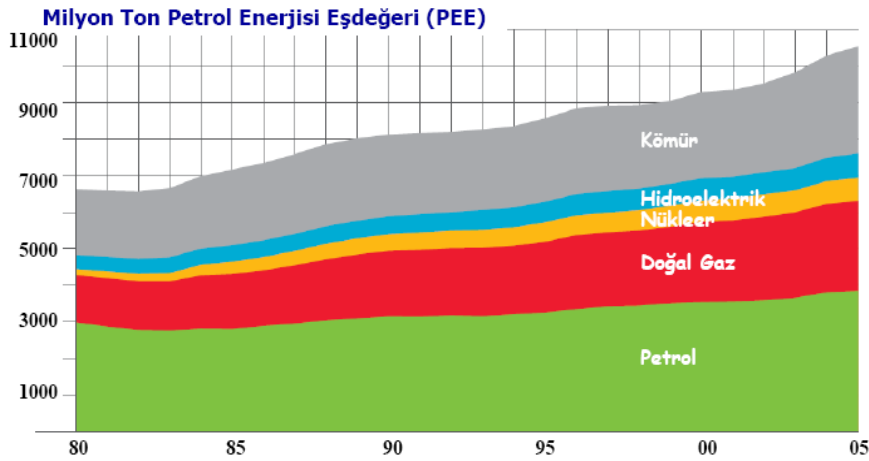
International Energy Outlook 2007'de de açıklandığı üzere toplam tüketimin kaynaklara göre dağılımında % 36,78 ile petrol ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra % 27,17 ile kömür ve % 23,67 ile doğalgaz sıralanmaktadır. Tablo 2.4'de dünya birincil enerji tüketimleri verilmektedir.

Tablo 2.4 Dünya Birincil Enerji Tüketimleri (Milyon tep) (BP Statistical Review of World Energy, 2006)

<b>Birincil Enerji Kaynağı</b>	<b>2003 Yılı Tüketimi</b>	<b>2004 Yılı Tüketimi</b>	<b>2005 Yılı Tüketimi</b>
Petrol	3.641,8	3.767,1	3.780
Doğalgaz	2.343,2	2.420,4	2415
Kömür	2.613,5	2.778,2	2.940
Nükleer Enerji	598,2	624,3	630
Hidro-elektrik	604,1	634,4	630
Toplam	9.800,3	10.224,4	10.500

Dünya toplam birincil enerji talebine baktığımızda 1973 yılından 2003 yılına kadar geçen 30 yıllık dönemde, dünya birincil enerji arzında petrolün payı %10,6 düşerken, doğalgazın payı %5 ve nükleerlerin payı ise %5,6 arttığı görülmektedir. Kömürün payında ise önemli bir farklılık bulunmamaktadır. 2005 yılı içinde dünya (ölçülebilir ve ticari) birincil enerji tüketimi 10.5 milyar ton petrol enerjisi eşdeğeri (PEE) kadardır. Bunun %36'sı petrolden, %28'i kömürden, %23'ü doğal gazdan, %6'sı hidrogüçten ve %6'sı nükleerden karşılanmıştır (BP, 2006).

Dünya enerji tüketiminin %60'ını, petrol ve doğal gaz, petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklar ise %85'ini karşılamaktadır. Son 30 yıldaki tüketim eğilimi incelendiğinde, tüketimi en hızlı artan enerji kaynağının doğal gaz olduğu görülmektedir. Dünyanın birincil enerji tüketimi ortalama yıllık %1,85 artışla 1990 yılında 8.795 mtep'ten 2007 yılında 11.795 mtep'e çıkmıştır. Fosil yakıtlar ihtiyacın %80'inde fazlasını karşılamıştır. Kömür ve doğal gazın payı biraz artarken, petrolün payı biraz azalmıştır.

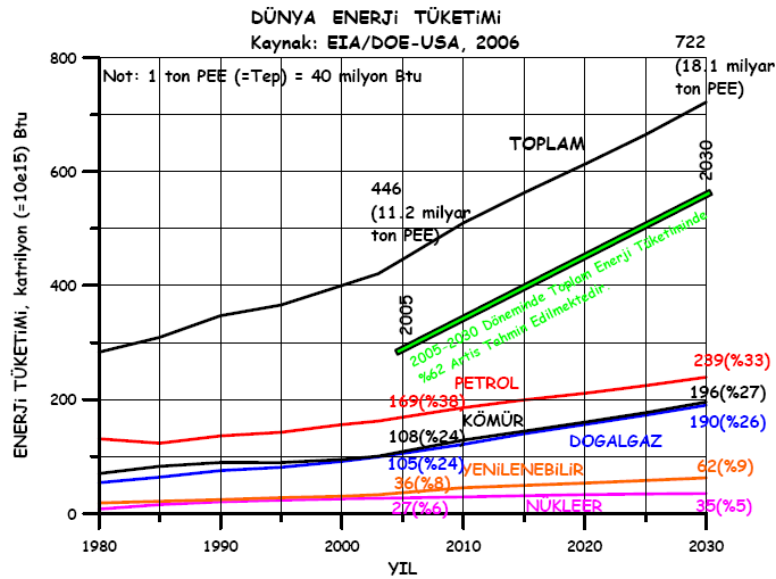


Şekil 2.2 Dünya enerji tüketiminin tarihsel gelişimi (BP, 2006).

Uluslararası Enerji Ajansının (UEA/IEA) tahminlerine göre, Dünya'da enerji sektöründe hakim olan eğilimlerin devam etmesi halinde, dünyada 2030 yılına yönelik tahminlerde, Şekil 2.3'den de görüldüğü gibi enerji kaynakları talebindeki artışın yaklaşık %85'inin fosil yakıtlardan kaynaklanacağı tahmin edilmektedir. Petrol, zaman içinde gerilemekle birlikte, birincil enerji kaynakları içinde en büyük paya sahip olmaya devam edecektir. Tahminlere göre; 2030 yılında en büyük pay %35 ile yine petrolün olacaktır. Petrolü %25 ile doğalgaz, %21,8 ile kömür, %11,3 ile odun, çöp, jeotermal, güneş, rüzgar vb kaynakların, %4,6 ile nükleer ve %2,2 ile hidrolik kaynakların izleyeceği tahmin edilmektedir.



Fosil yakıtlar arasında talebi en hızlı artan kaynak doğal gaz olacak ve talep artışı esas olarak elektrik üretiminden kaynaklanacaktır. Buna karşılık kömüre olan talep az da olsa düşecek, ancak kömür elektrik üretiminde başta gelen kaynak olmaya devam edecektir. Dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının artarak % 6'ya ulaşması beklenmektedir. En önemli artış güçlü hükümet desteklerinin bulunduğu OECD-Avrupa'da gerçekleşecek, özellikle rüzgar ve biyokütle enerjisi, kullanımı en fazla artan kaynaklar olacaktır (TMMOB Enerji Raporu, 2006).



Şekil 2.3 Birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı

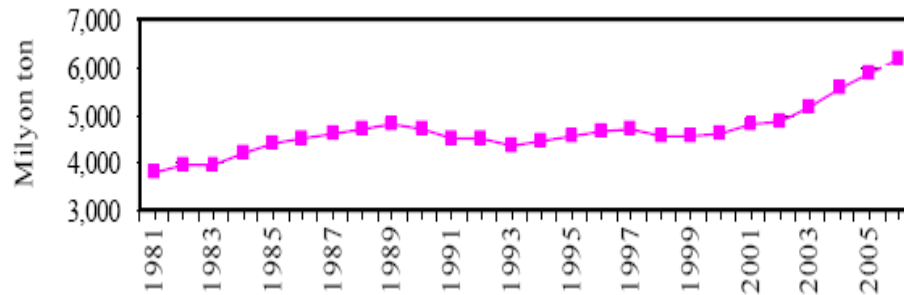
UEA'nın çalışmalarında, dünyadaki enerji kaynaklarının miktar olarak 2030 yılına kadar olan ihtiyacı rahatlıkla karşılayabileceği, ancak enerji arz maliyetleri konusunun belirsizlik taşıdığı kabul edilmektedir. İnceleme dönemindeki enerji ihtiyacını karşılamak için gerek petrol gerekse doğal gaz ve kömür kaynaklarının yeterli olduğu, hatta yeni rezervler bulunması hususunda büyük potansiyel olduğu düşüncesi hakimdir. Dünya fosil yakıt rezervlerinin bölgeler ve çeşitler itibari ile dağılımı Tablo 2.5'de verilmiştir. Dünya petrol rezervleri toplamının 161,9 milyar ton, doğal gaz rezervlerinin ise 179,53 trilyon m<sup>3</sup> olduğu belirtilmektedir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Tablo 2.5 Dünya fosil yakıt rezervleri (Statistical Review of World Energy, 2005)

Bölge	Petrol Milyar Ton	Doğalgaz Trilyon m <sup>3</sup>	Kömür Milyar Ton	
			Taşkömürü	Linyit
Kuzey Amerika	8,0	7,32	115,67	138,76
Orta ve Güney Amerika	14,4	7,10	7,70	12,19
Avrupa ve Avrasya	19,0	64,00	112,25	174,84
Eski SSCB Ülkeleri	16,5	58,51	94,51	132,74
Ortadoğu	100	72,83	0,42	0
Afrika	14,9	14,06	50,16	0,17
Asya ve Pasifik	5,5	14,21	192,56	104,32
TOPLAM DÜNYA	161,9	179,53	478,77	430,29

Kömür rezerv miktarının çokluğu, uzun vadeli yeterliliğini beraberinde getirmektedir. Mevcut üretim seviyeleri ile, dünya görünür kömür rezervlerinin 200 yılı aşkın bir sürede tüketileceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık görünür petrol ve doğal gaz rezervlerinin tükenme ömürlerinin mevcut üretim seviyeleri ile sırasıyla 40 ve 60 yıl süreceği tahmin edilmektedir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Dünya’da kömür, 50’nin üzerinde ülkede üretilmekte ve 70’in üzerinde ülkede tüketilmektedir. Dünya kömür üretimi 2006 yılında 6.195 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (BP 2007). Bu miktarın yaklaşık %85’i taşkömürü ve %15’i ise linyit üretimidir. Yıllar itibariyle dünya kömür üretimi Şekil 2.4’de verilmektedir.



Şekil 2.4. Yıllara göre dünya kömür üretimi (BP, 2007)

Dünya kömür üretiminde 1982 yılından bu yana yılda ortalama %2 oranında bir artış gözlenirken, son dört yıldaki ortalama artış oranı %6,3 olarak gerçekleşmiştir. Sadece 2006 yılındaki bir yıllık artış oranı %5,2 olmuştur. Kömür üretiminde 2000 yılından bu yana gerçekleşen artış oranı ise yaklaşık %35’dir (Tamzok, 2007).

Dünya kömür üretiminin %38,4'ünü tek başına Çin gerçekleştirmektedir (Tablo 2.6). 20 yıl önce 1986 yılında üretimin yaklaşık %80'i toplam 10 ülke tarafından yapılmaktayken, 2006 yılı itibariyle %80'i Çin, ABD, Hindistan, Avustralya, Rusya ve Güney Afrika tarafından yapılmaktadır. Üretimin %56,7 ile en büyük kısmı Asya-Pasifik bölgesinden gerçekleştirilmektedir. Avrupa-Avrasya bölgesinin payı %19,6 ve Kuzey Amerika'nın payı ise %18,2'dir.

Çin, üretimde olduğu gibi kömür tüketiminde de en büyük payı almaktadır. Dünya toplam kömür tüketiminin %38,6'sı bu ülkede gerçekleşmektedir. Çin'in 10 yıl önceki dünya kömür tüketim payının yaklaşık %30 ve 20 yıl önceki payının ise yaklaşık %20 civarında olduğu dikkate alındığında, bu ülkedeki gelişim hızı daha iyi anlaşılmaktadır (BP, 2007). Tüketimin yaklaşık %54'ü Asya-Pasifik bölgesindeki 5 ülkeden kaynaklanmaktadır (Çin, Hindistan, Japonya, Güney Kore ve Avustralya). Kömür tüketimi bakımından son 20 yıldaki en önemli farklılık Avrupa kıtasından kaynaklanmaktadır. 20 yıl önce 1986 yılında dünya kömür tüketiminin %23,1'ini gerçekleştiren Avrupa Birliği üyesi 27 ülkede 2006 yılı itibariyle tüketim payı %10,4'e gerilemiştir.

Tablo 2.6 2006 yılı dünya kömür üretim ve tüketimi (Milyon Ton) (BP, 2007)

Üretim (milyon ton)			Üretim (milyon ton petrol eşdeğeri)			Tüketim (milyon ton petrol eşdeğeri)		
Ülke	Mil.ton	Payı (%)	Ülke	Mtpe	Payı (%)	Ülke	Mtpe	Payı (%)
Çin	2.380,0	38,4	Çin	1.212,3	39,4	Çin	1.191,3	38,6
ABD	1.053,6	17,0	ABD	595,1	19,3	ABD	567,3	18,4
Hindistan	447,3	7,2	Hindistan	209,7	6,8	Hindistan	237,7	7,7
Avustralya	373,8	6,0	Avustralya	203,1	6,6	Japonya	119,1	3,9
Rusya	309,2	5,0	G.Afrika	144,8	4,7	Rusya	112,5	3,6
G.Afrika	256,9	4,1	Rusya	144,5	4,7	G.Afrika	93,8	3,0
Almanya	197,2	3,2	Endonezya	119,9	3,9	Almanya	82,4	2,7
Endonezya	195,0	3,1	Polonya	67,0	2,2	Polonya	58,4	1,9
Polonya	156,1	2,5	Almanya	50,3	1,6	G.Kore	54,8	1,8
Kazakistan	96,3	1,6	Kazakistan	49,2	1,6	Avustralya	51,1	1,7
Diğer	729,7	11,8	Diğer	283,9	9,2	Diğer	521,8	16,9
<b>Dünya</b>	<b>6.195,1</b>	<b>100</b>	<b>Dünya</b>	<b>3.079,7</b>	<b>100</b>	<b>Dünya</b>	<b>3.090,1</b>	<b>100</b>

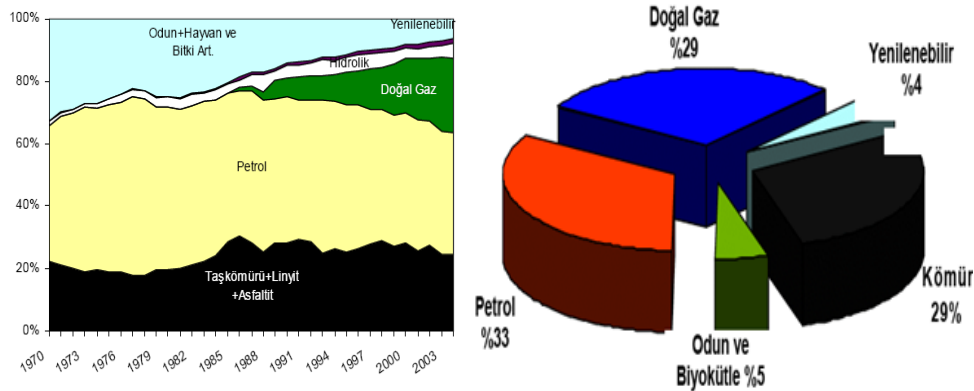
## 2.2.2 Türkiye’de Enerji Talebi Ve Kömürün Yeri

### 2.2.2.1 Türkiye Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi

Türkiye’nin enerji tüketimi ve ithalatı, ekonomisinde de olduğu gibi hızlı bir artış içerisinde. Türkiye’deki enerji sektörü çoğunlukla kamuya aittir. Enerji üretim tesisleri uzun dönemli yatırımları ve büyük miktarlardaki finansal kaynakları gerektirmektedir. İnşaatları zamanlamaların gerisinde kalan tesisler genellikle ülkenin güç talebi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır.

Türkiye’de linyit, taşkömürü, asfaltit, bitümlü şistler, ham petrol, doğalgaz gibi fosil kaynak rezervleri ile hidrolik enerji, jeotermal enerji, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi ve biomas enerji gibi yenilenebilir (tükenmez) kaynak potansiyelleri bulunmaktadır. Elektrik santrallerinin 1993 yılı itibariyle 20,337 MWh olan toplam kurulu gücü 2006 yılı VI. Döneminde 45.256 MWh’a ulaşmıştır.

2006 yılı itibariyle, ülkemizde, elektrik üretiminde kömür kullanımı %26,4 olmuştur. Bu oranın sadece %18,4’ü yerli linyit kömürünün, kalan %8’i ise ithal kömür ve taşkömürünün payıdır. 2006 yılı elektrik üretiminde doğalgaz %45,8, hidrolik kaynaklar %25,1, petrol %2,5 ve diğer kaynaklar ise %0,2 oranında kullanılmıştır (TEİAŞ, 2007). Ülkemizde 2006 yılı itibariyle elektrik üretiminde kullanılan kaynak payları Şekil 2.5’de verilmektedir.



Şekil 2.5 Birincil enerji tüketiminde kaynakların payı

TMMOB Enerji Raporunda belirtildiği üzere, ETKB'nin rakamlarına göre Türkiye'de 2004 yılında birincil enerji kaynakları üretimi 24,33 milyon tep, tüketimi ise 87,81 milyon tep olmuştur. Bu rakamlara göre enerji tüketiminin %72'si ithalatla karşılanmaktadır. Birincil enerji kaynakları tüketiminin %33'ü petrole dayalıdır. Tüketilen petrolün yaklaşık %7'si yerli üretimle karşılanmaktadır. Bunun yanında elektrik üretimi de giderek artan düzeyde yine ithal bir kaynak olan doğal gazla dayalı hale gelmiştir. Doğal gazın kurulu güç içindeki payı %35,7'dur (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Elektrik enerjisi üretimi 2006 yılı IV. döneminde, bir önceki yılın aynı dönemine göre % 8,25 artarak 45.256 GWh olarak gerçekleşmiştir. Üretilen elektriğin 2006 yılı IV.döneminde; 35.069,4 GWh'ı termik, 10.143,4 GWh'ı hidrolik ve 43,2 GWh'ı da rüzgar enerjisi olarak gerçekleşmiştir. 2006 Yılı IV. döneminde elektrik enerjisinin % 48,09'u Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ) ve EÜAŞ'a bağlı ortaklıklar, % 42,04'ü üretim şirketleri, %9,87'si otoprodüktörler tarafından gerçekleştirilmiştir. Brüt elektrik enerjisi üretiminin, enerji kaynaklarına göre 2006 yılı IV. döneminde %44,44'ü doğal gaz, %22,41'i hidrolik, %19,93'ü linyit ile çalışan santrallerden sağlanmıştır. Bir önceki yılın aynı dönemine göre elektrik üretimi, doğal gaz santrallerinde %5,4 linyit santrallerinde %3,66 oranında artmıştır. Doğal gazla olan talep tüm dünyada artmakta, özellikle doğal gazın elektrik üretimi içindeki payı hızla yükselmektedir.

Elektrik tüketimi, 2006 yılı IV. döneminde bir önceki yılın aynı dönemine göre %14,21 artarak 36.410 GWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik enerjisinin %43,13'ü sanayide, %24,36'sı meskenlerde, %12,55'i ticarethanelerde, %4,44'ü sokak aydınlatmasında, %3,66'sı resmi dairelerde %2,56'sı tarımsal sulamada, %1,79'u şantiyelerde ve %7,51'i ise diğer ve doğrudan satışlar olarak tüketilmiştir.

Türkiye'deki kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 2000 yılında 1.964 kWh olup, bu değer 2001 yılında krizden dolayı 1.937 kWh'e düşmüştür. Avrupa Birliği 1999 yılı ortalaması kişi başına 5.848 kWh, OECD ortalaması ise 7.227 kWh'dir. Bugün mevcut 279 üretim tesisinin toplam kurulu güç kapasitesi 28.246 MW, termik kurulu gücümüz

16 561 MW, hidrolik kurulu gücümüz 11 666 MW, rüzgar kurulu gücümüz ise 19 MW' tır.

#### *2.2.2.2 Türkiye Enerji Sektöründe Kömür*

Ülkemiz kömür rezervleri, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) kaynakları tarafından 1,1 milyar ton iyi kalite taşkömürü ve 8,3 milyar ton 868-5000 kcal/kg alt ısıl değerine sahip linyit kömürü şeklinde verilmektedir (MTA, 2007). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) ise, taşkömürü rezervini MTA gibi 1,1 milyar ton olarak vermekte, ancak 868-5000 kcal/kg alt ısıl değerine sahip linyit rezervini 7,96 milyar ton olarak yayınlamaktadır (ETKB, 2007).

Bununla beraber, özellikle linyit rezervi konusunda son yıllarda önemli tartışmalar söz konusudur. Son birkaç yıldır, gerek kamu kuruluşları gerekse özel sektör tarafından yapılmakta olan yoğun linyit aramaları sonucunda ülkemiz linyit rezervlerinin artmış olması muhtemeldir. Bununla birlikte, bu konuda sağlıklı bilgi elde edebilmenin de, günümüzde, eski yıllara göre daha zorlaştığı gözlenmektedir.

Ülkemiz linyitlerinin genel olarak ısıl değerleri düşüktür. 8,3 milyar ton olarak belirlenen linyit rezervinin %0,84'ü 4.000 kcal/kg'dan yüksek, %5,16'sı 3.001-4.000 kcal/kg aralığında, %24,5'i 2.001-3.000 kcal/kg aralığında, %33,32'si 1.000-2.000 kcal/kg aralığında ve %3,18'i ise 1.000 kcal/kg'dan daha azdır (Anaç, 2003). Ancak, ülkemiz linyit rezervlerinin hemen hemen tamamı termik santrallerde değerlendirilebilecek özelliktedir.

#### *2.2.2.3 Türkiye'de Linyit Üretimi*

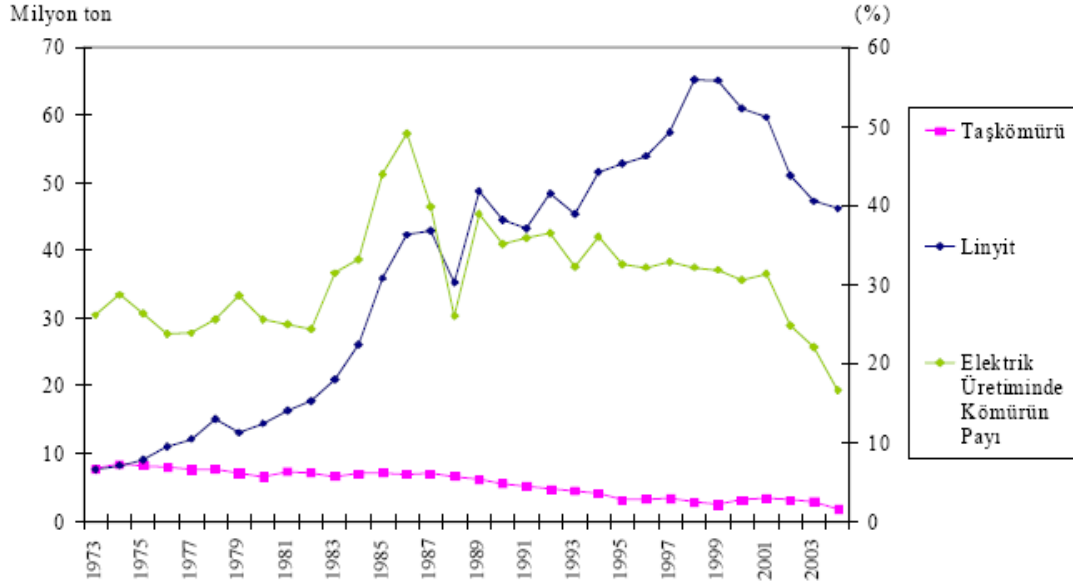
Ülkemizde linyit kömürü ağırlıklı olarak elektrik üretiminde ve ısı üretimi amaçlı olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de linyit üretimi, hem yeraltı hem açıkocak işletmecilik yöntemleriyle gerçekleştirilmektedir. Linyit rezervlerinin %74'ü kamu sektörünün, kalan %26'sı özel sektörün kontrolünde olup linyit üretiminin %90'ı kamu sektörü (TKİ

Kurumu ve EÜAŞ sahaları), %10'u özel sektöre aittir. Yıllar itibariyle Türkiye linyit üretim miktarları satılabilir bazda Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7 Türkiye Linyit Üretimi (1000 Ton).

Yıl	TKİ	EÜAŞ	ÖZEL	TOPLAM
1999	38.643	21.142	5.234	65.019
2000	39.198	19.595	2.061	60.854
2001	33.609	22.637	3.326	59.572
2002	30.661	16.531	4.468	51.660
2003	25.684	15.645	4.839	46.168
2004	24.349	13.806	5.554	43.709

Linyit üretimi, 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 doğalgaz alım anlaşmaları nedeniyle, sürekli bir iniş yaşayan linyit üretimi 2004 yılında 46 milyon tona kadar düşmüştür. 1999 yılından itibaren başlayan üretimdeki bu azalmanın sebebi olarak, yerli linyitlerimizin elektrik üretimi amaçlı kullanımlarındaki azalmadır. Yıllar itibariyle ülkemiz taşkömürü ve linyit üretimleri ile elektrik enerjisi üretiminde kömürün payı Şekil 2.6'da verilmektedir.



Şekil 2.6 Yıllar itibariyle ülkemiz taşkömürü ve linyit üretimleri ile elektrik enerjisi üretiminde kömürün payı (TKİ, 2007 ve TTK, 2007).

Elektrik Üretim AŞ'nin (EÜAŞ) termik santral amaçlı linyit üretimleri ise, 2005 yılına göre hemen hemen aynı düzeyde seyrederek 2006 yılında 21,1 milyon ton olmuştur. Bununla beraber, 2002 yılı ile karşılaştırıldığında, EÜAŞ kömür üretimleri yaklaşık 3 kat artmıştır. Türkiye Taş Kömürü Kurumu'nun (TTK) 2006 yılı satılabilir üretimi %12,3 oranında düşerek, 1,5 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TTK, 2007). Bu rakam, 2000 yılına göre yüzde 33 oranında bir azalışı ifade etmektedir. TTK'nın kömür üretimi hızla sıfır noktasına doğru ilerlemektedir. Zonguldak Havzası'ndan yapılan termik santral amaçlı kömür üretimi ise, 2006 yılında 1,6 milyon ton olmuştur. Bu miktarın 935 bin tonu TTK'nın kalan kısmı ise rodövanlı sahaların üretimidir (Tamzok, 2007).

Linyit rezervleri Türkiye geneline yayılmış olup, Türkiye'nin hemen hemen her bölgesinde bulunmaktadır. Havzalar içinde linyitler çökelim ortamlarına bağlı olarak oldukça farklı kimyasal özellikler sunmaktadır. Bölgeler bazında linyitlerin dağılımı ve kimyasal özellikleri Tablo 2.8'de verilmiştir. Tabloya göre linyit rezervi açısından en zengin bölgenin Güney-Orta Anadolu olduğu görülmektedir. En yüksek ısı değere sahip linyitler ise Kuzey-Batı Anadolu'da bulunmaktadır (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Tablo 2.8 Türkiye'de Linyit Rezervlerinin Bölgesel Dağılımı ve Ortalama Kimyasal Özellikleri (MTA, 2007; TKİ, 2008)

Bölgeler	Rezerv (109 Ton)	Nem (%)	Kükürt (%)	Kül (%)	Isıl Değer (Kcal/Kg)
Kuzey-Batı Anadolu Bölgesi (Kütahya-Balıkesir-Bursa-Manisa- Çanakkale)	1,8	20	1,7	20	3.500
Güney-Orta Anadolu Bölgesi (Adana-K.Maraş)	3,7	50	2,0	20	1.200
İç Anadolu Bölgesi (Ankara-Konya-Çankırı-Çorum-Yozgat-Sivas)	1,4	30	3,2	25	3.000
Güney Batı Anadolu Bölgesi (Aydın-Muğla-Denizli-Isparta-Burdur-Afyon)	0,9	30	2,0	20	2.500
Trakya Bölgesi (Tekirdağ-Edirne-Kırklareli-İstanbul)	0,35	30	3,0	20	2.500
Doğu Anadolu Bölgesi (Bingöl-Erzincan-Erzurum-Van)	0,15	20	1,2	20	3.000
Toplam	8,3	36,5	2,1	21	2.240



Ülkemiz, çok sınırlı doğal gaz ve petrol rezervine karşın, linyit rezervi bakımından zengindir. Hemen hemen bütün coğrafi bölgelerde ve 37 ilde linyit rezervlerine rastlanılmaktadır. MTA, TKİ ve EÜAŞ verilerine göre yapılan değerlendirmeye göre 2005 yılı itibariyle linyit rezervinin 8,22 milyar ton olduğu belirlenmiştir 2005 yılı itibariyle TKİ Kurumuna ait sahalarda 2,47 milyar ton, EÜAŞ'ne ait sahalarda 3,65 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır (TMMOB Enerji Raporu, 2006). Linyit rezervlerinin yaklaşık % 29'u TKİ, % 45'i EÜAŞ ve % 26'sı ise özel sektör elindedir. Ülkemizin en büyük linyit rezervine sahip olan Afşin-Elbistan havzasındaki rezervin TKİ tarafından yapılan amenajman planlaması sonucu yaklaşık 1 milyar ton daha arttığı rapor edilmiştir. Ancak, Elbistan havzasındaki MTA tarafından yapılan arama ve sondaj faaliyetleri devam ettiğinden gerçek rezerv bu çalışmalar sonucunda netlik kazanacaktır. Genel olarak, ülkemiz linyitlerinin kalitesi düşüktür. Toplam linyit rezervinin % 0,84'ü 4.000 Kcal/kg'dan yüksek, % 5,16'sı 3.001-4.000 Kcal/kg aralığında, % 24,5'i 2.001-3.000 Kcal/kg aralığında, % 66,32'si 1.000-2.000 Kcal/kg aralığında ve % 3,18'i ise 1.000 Kcal/kg'dan azdır (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

1970'li yıllardan itibaren başlayan elektrik enerjisi üretim amaçlı termik santral ve linyit üretim yatırımları çok büyük oranda kamu sektörü tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yatırımlar Tablo 2.9'da özetlenmektedir. Türkiye linyit rezervlerinin %94'ü termik santrallarda değerlendirilebilecek özelliindedir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Tablo 2.9 Linyite dayalı santralların kurulu güçleri ve kömür tüketim kapasiteleri

<b>Santral</b>	<b>Kömür Tüketim Kapasitesi (bin ton/yıl)</b>	<b>Kurulu Güç (MW)</b>
Muğla-Yatağan	5.350	630
Muğla-Milas-Sekköy	3.750	420
Muğla-Hüsamlar-Kemerköy	5.000	630
Çanakkale Çan	1.800	320
Kütahya Seyitömer	7.100	600
Kütahya Tunçbilek	2.450	429
Manisa Soma	8.000	1.034
Bursa Orhaneli	1.500	210
Afşin Elbistan	18.000	1.360
Sivas Kangal	5.400	450
Ankara Çayırhan	4.300	620
Toplam	62.650	6.703

Ülkemizin linyite dayalı kurulu güç toplamı 6.703 MW düzeyindedir. Çanakkale'deki 320 MW büyüklüğündeki akışkan yataklı Çan Termik Santrali ile Kahramanmaraş Elbistan'daki 1.400 MW'lık Elbistan-B santralını ile toplam kurulu güç 8.120 MW'a yükselecektir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Elektrik üretimi amacıyla işletmeye alınabilecek linyit sahaları olarak toplam 3,87 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Söz konusu rezervin, toplam 9.655 MW kurulu güç yaratabilme potansiyeli vardır. Söz konusu potansiyelin kısa dönemde gerçekleştirilme imkanlarının sağlanarak, linyite dayalı elektrik santrallerinin kurulu gücünün toplam 17.775 MW'a çıkarılabilmesi imkan dahilindedir. Ülkemiz toplam kurulu gücünün 2005 yılı sonu itibariyle 39.021,3 MW olduğu dikkate alındığında, söz konusu kapasite, bugünkü toplam kurulu gücün %45,5'ini oluşturacaktır. Bununla beraber, ülkemizin kömür potansiyeli henüz tam olarak ortaya konmuş değildir. Genel olarak maden aramaları konusundaki mevcut sorunlar, yeni kömür rezervlerinin ortaya çıkarılmasının önünde engel oluşturmaktadır (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

Sonuç olarak; ülkemiz, toplam 9,5 milyar ton görünür linyit rezervine sahip bulunmakta olup, kömür rezervlerinin büyüklüğü bakımından dünyada 11. sıradadır. Yine, yıllardır ihmal edilen aramalar ile yeni kömür yataklarının bulunup geliştirilme olasılığı son derece yüksektir. Söz konusu yatakların atıl bekletilerek elektrik üretiminde kullanılmaması, ülkemiz sanayi sektörlerinin gelişmesi bakımından son derece sakıncalıdır (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

## BÖLÜM ÜÇ

### TÜRKİYE’DE KÖMÜR YAKAN TERMİK SANTRALLER, YANMA SONUCU OLUŞAN ÜRÜNLER VE DAVRANIŞLARI

#### 3.1 Türkiye’de Kömürle Çalışan Termik Santraller ve Özellikleri

2006 yılı sonu itibariyle ülkemizde elektrik enerjisi üretim tesislerinin kurulu gücü 45,256 MW’tır. Üretilen elektriğin 2006 yılı IV. döneminde; 35.069,4 GWh’ı termik, 10.143,4 GWh’ı hidrolik ve 43,2 GWh’ı da rüzgar enerjisi olarak gerçekleşmiştir. Buradan da görüldüğü gibi termik enerjinin toplam enerji üretimindeki yeri son derece önemlidir.

Ülkemizde kurulu termik santrallerin büyük bir çoğunluğunda, yakıt olarak linyit kullanılmaktadır. Termik enerji üretiminde 1970 öncesi en büyük payı taşkömürüne dayalı santraller alırken, 1970’lerden itibaren linyite dayalı bir üretim politikası uygulanmıştır. 2006 yılı elektrik üretiminin %29.46’sı linyitle çalışan termik santrallerden sağlanmıştır (Elektrik Üretim AŞ’nin (EÜAŞ)). Termik santral amaçlı linyit üretimleri 2006 yılında 21,1 milyon ton olmuştur. Bir başka deyişle linyitlerimizin büyük bir kısmı termik santrallerde tüketilmektedir. Mevcut santrallerimizde ortalama 2000 Kcal/kg düşük ısı değerli kömürler kullanılmaktadır. Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller ve bazı özellikleri Tablo 3.1’de verilmiştir.

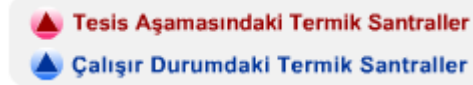
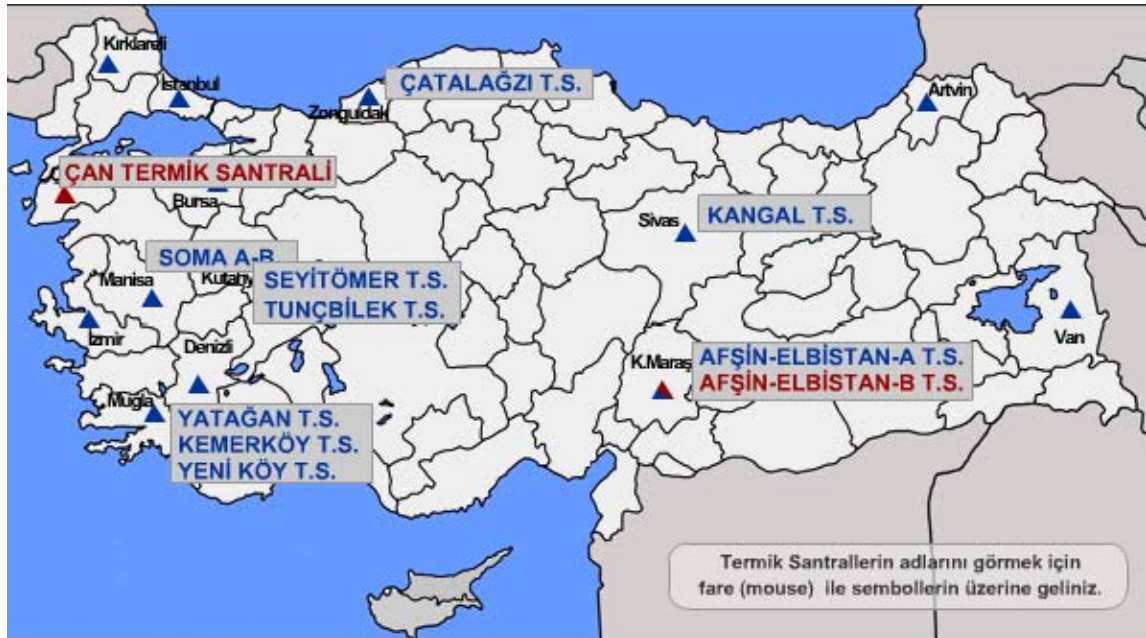
Tablo 3.1 Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller ve özellikleri

Santral	Ünite x Gücü, MW	Kömür tüketimi, t/h	Kömür Özelliği			
			AİD, kcal/kg	Kül, %	Nem, %	Kükürt, %
Yatağan	3x210	3x230	2100	20.5	36	2.7
Afşin-Elbistan	4x344	4x800	1050	15.3	57.7	1.4
Yeniköy	2x210	2x280	1750	29	33	2.72-5.96
Kemerköy	3x210	3x280	1750	29	33	2.72-5.96
Seyitömer 1-2-3	3x150	3x200	1800	35	34	1.5-2
Seyitömer 4	1x150	1x266	1400-2000	30-50	30-40	1.5-2
Soma A	2x22	2x44	3592	24.55	25.22	0.71

Tablo 3.1 Türkiye’de kömürle çalışan termik santraller ve özellikleri (devamı)

Soma B 1-2	2×165	2×166	2200	32	21	1.5
Soma B 3-4	2×165	2×166	2200	32	21	1.5
Soma B 5-6	2×165	2×275.5	1550	40.5	20.84	1.5
Tunçbilek 1-2	2×35	2×30	3650	33	22	
Tunçbilek 3	1×65	1×50	3900	25	23	
Tunçbilek 4-5	2×150	2×175	2000	42.4	22-24	1.17
Çayırhan	2×150	2×127.3	2800	29.91	27.5	4.65
Kangal	2×150	2×277	1300	21-22	45-51	1.5-2.3
Orhaneli	1×210	1×200	2560	23.8	32-36	1.9
Çan	2x160					
Çatalağzı	2x150					
Yumurtalık	2x605					
Sugözü						

\* Kömür sahaları TEAŞ tarafından işletilmektedir. \*\* Özel sektör tarafından işletilmektedir.



Şekil. 3.1 Kömürle çalışan termik santraller (EUAS, 2008)

Bu tez kapsamında Ege Bölgesinde yer alan Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy Termik Santrallerinden kömür ve kül örnekleri alınarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışılan santrallerin yakma sistemi ve genel özellikleri kısaca bölüm 3.1.1’de özetlenmektedir.

### 3.1.1 Ege Bölgesi Termik Santrallerinin Genel Özellikleri

Ülkemizde, Ege Bölgesi'nde kömüre dayalı termik santrallerin tasarımında baz alınan kömür özellikleri Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2 Ege Bölgesi Termik Santrallerinin Tasarlandığı Kömür Özellikleri

Santral	Alt Isı Değeri kcal/kg	Nem (%)	Kül		Toplam Kükürt		Sabit Karbon (%)	Uçucu Madde (%)	Baca Yüksekliği (m)	Toz Kontrol Verimi (%)
			(%)	g/MJ	(%)	g/MJ				
Soma B	2400	21	32	34.798	1.5	1.631	11.34	16-35	150	98
Soma A	1550	20.84	40.5	62.510	1.5	2.315	-	-	275	99
Seyitömer	1750	30-40	30-50	46.518	1.5-2	2.815	-	10-22	100	98
Yatağan	2100	36	20	23.354	2.70	3.076	18.5	Min 25	120	99.4
Yeniköy	1750	33	29	39.645	2.7-5.96	5.468	20.47	Min 25	200	99.4
Kemerköy	1660	30	33.8	45	2.0-2.8	-	15.40	-	300	99.4

Bu tez çalışması kapsamında numuneleri kullanılan, düşük kalorili linyit kömürleri ile çalışan Soma Termik Santrali (Soma B-6x165 MW), Yatağan Termik Santrali (3x210 MW), Yeniköy Termik Santrali (2x210 MW), ve Kemerköy Termik Santrallerinin (3x210 MW) sırasıyla; yıllık kömür ihtiyaçları 7.2 milyon ton, 5.4 milyon ton, 3.7 milyon ton, 5.7 milyon tondur. Bu santrallerde yaklaşık olarak günde 60.250 ton kömür yakılmakta ve atık depolama sahalarına günde 25.000 ton ve yılda 10 milyon tona varan kül atılmaktadır.

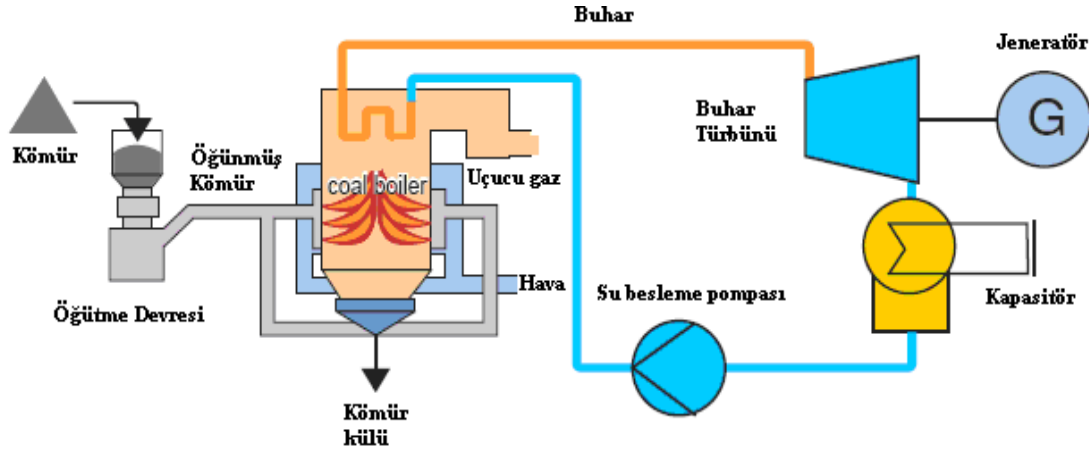
Bu santrallerde kömür pulverize yakma sistemi ile yakılarak enerji üretiminde kullanılmaktadır. Bu sistem kısaca açıklanacak olursa;

Gaz, sıvı yakıtlar ve toz kömür brülörler yardımıyla yanma odasına püskürtülerek yakılmaktadır. Yakıt taneciği havada askıda yanmakta, yanma odasında oluşturulan türbülansla kurutma, uçucu gazlaştırma, kok gazlaştırma ve yanma işlemleri kolayca sağlanabilmektedir. Uygun brülör düzeni ve işletme koşulları ile alevin duvarlarla teması olmadan olabildiğince yanma odasını doldurması sağlanmakta, kararlı yanma koşullarının oluşturulmasına çalışılmaktadır. Linyitlerin verimli ve kararlı bir şekilde yakılabilmesi için kömür öğütme değirmeni çıkışındaki kömür tozundan kalan bünyesel nemin, yaklaşık %12-16 dolayında tutulması gerekir (ÇEDB, 2004).

Sistemin prensibi, kömürün 74 mikron altına öğütülüp hava ile kazana taşınması ve sıcak zonda asılı halde yanmasıdır. Pulverize kömür yakma üzerine dizayn edilmiş modern bir termik santralde kömür, kırma ve öğütme işlemleri sırasında kurutulur. Öğütülmüş kömür, pulverize kömür kazanın merkezinde yanar ve oluşan ısı (2700°F) süper ısıtıcılara gider, sıcak gazlar kazanın daha ileri safhasında yerleştirilmiş olan buhar tüpleri arasından geçer ve bunları ısıtır. Gazlar daha sonra kazana beslenen su ve havayı ön ısıtmada kullanılır. Gazlar en sonunda kül tutuculardan ve bazı ünitelerde sıcak gaz kükürtsüzleştirme işleminden sonra atmosfere verilir. Buhar üretim sistemi yakma işlemine paralel olarak yürür. Yanmadan dolayı açığa çıkan ısı birincil buhar üretimi ünitelerinde buhar oluşmasını sağlar. Buhar kazanında toplanan buhar, süper ısıtıcılara gönderilir ve önceki sıcaklığının çok üstüne çıkarılarak yüksek basınç türbinine oradan tekrar ısıtmaya ve düşük basınç türbinine daha sonra yoğunlaştırıcılara gider. Yoğunlaştırılmış su, basıncı yükseltilecek buhar üretimi için önce ekonomizer'a oradan kazan içi su tankına ve birincil ısıtma ünitelerine beslenir. (Demirbilek, 1987).

Sistem dizaynı ve operasyonu zaman, sıcaklık ve türbülans prensiplerine dayanır. Yüksek sıcaklık yanma zamanını kısaltmış ancak, kazan yapısına zararlı olması ve NO<sub>x</sub> gazlarının oluşması olasılığı ile sınırlandırılmıştır. Yüksek sıcaklık ve düşük oksijen seviyeleri de külün erimesine ve kazan içi sıvanmalara neden olmaktadır. Türbülans, yüksek reaksiyon hızlarının ve kömürün kazanı terketmeden tam kullanımının sağlanması için önemlidir ve hava/yakıt üfleyici uçlarında taşınma hızları 60-80 ft/sn arasındadır. Kömürün ve havanın kazan içinde kaldığı zaman yanma kapasitesini, kazan boyutlarını, maliyeti ve atılan küller içindeki karbon oranını etkiler. Genelde % 99,5 yanma randımanı sağlamak için kazanda kalış zamanı 2 saniye civarında olmalı ve bunu sağlamak içinde en üst seviyedeki üfleyici ile kazan çıkışı arası uzaklığı 45-60 feet olmalıdır. Bu uzaklık kazan çıkış noktasında sıcaklığın külün ergime sıcaklığı altında olmasını sağlar. Sistemin dizaynı sırasında önemli olan diğer parametreler alev stabilitesinin sağlanması için yakıt/ hava oranının seçilmesi, net ısı açığa çıkma hızı, gazların hızı, korozyon, ısı transferinin gerçekleştiği ünitelerin yeri ve miktarı ve

yardımcı ünitelerin yerleşimidir. Kazan şekilleri kullanılan üfleyici sistemlerine ve kül alma şekline göre değişebilir



Şekil 3.2 Pulverize Kazan Üniteli Santralin Genel Prensi Şeması (Nedo, 2008)

Aşağıda tez kapsamında numune alınan santrallere ait bilgiler detaylı olarak verilmektedir.

### 3.1.1.1 Soma Termik Santrali

Soma Termik Santrali, Soma ve civarında üretilen 2,500 kcal/kg ısı değerinden düşük kalorili kömürlerin yakılarak elektrik enerjisi üretmek, Batı Anadolu'nun elektrik ihtiyacının en kısa mesafeden karşılamak ve yörenin sosyal ve ekonomik yönden kalkınmasını sağlamak amacıyla, 1034 MW kurulu gücünde ve yıllık üretimi 7.45 milyar kWh olarak Manisa ili Soma ilçesine bitişik Bakır çayı vadisinde 1,200,000 m<sup>2</sup>'lik bir alan üzerine kurulmuştur. Sekiz tane üniteye sahiptir.

Santralin yeri seçilirken; kömür yataklarına yakınlığı, yakınında kül ve curuf atmaya, depolamaya müsait coğrafya oluşu, santralin ihtiyacı olan suyun bulunabilirliği ve yakınlığı, elektrik tüketim merkezlerine yakınlığı, depreme mukavemet bakımından fay hattında bulunmaması, karayolu ulaşım kolaylığı, rüzgar yönü dikkate alınmıştır.

Santralin kömür ihtiyacı TKİ Genel müdürlüğüne bağlı ELİ merkez bölgesinin Darkale ocaklarından sağlanmaktadır. Bölgede 2000-5000 kcal/kg ısı değere sahip ocaklarından üretilen kömürler, I-IV. ünitelere %50'si bant - %50'si kamyon, V ve VI. ünitelere tamamı bant, VII ve VIII. ünitelere ise kamyonla nakledilmektedir. Bu kömürün;

Ortalama alt ısı değeri	: 2400-3325 kcal/kg
Nem	: %20.8-27
Kül	: %30-50.5
Toplam kükürt	: %1.5

Elektrik üretiminde ihtiyaç duyulan su, kullanma hakkı tamamen şirkete ait 127,000,000 m<sup>3</sup> hacimli Seyisler barajından 80 cm çapında çelik borularla sağlanmaktadır.

Kömür; 1600 ton/saat kapasiteli bantlar ve kamyonlarla santrale gelmekte kırma ve eleme tesislerinde 0-30 cm ebadında hazırlanarak stok sahasına serilmektedir. Kömür stok sahası santralin bir aylık kömür ihtiyacının karşılayacak durumdadır. Yıllık kömür ihtiyacı 7.2 milyon ton olan sistemde yanan kömür miktarının tespiti için radyoaktif kantarlar kullanılmaktadır.

Kırıcı eleklerden ve kömür stok sahasından alınan kömür, bunkerlere her biri 800 ton/saat kapasiteli biri yedek, iki bantla taşınmaktadır. Bant uzunluğu 17,036 km.dir. Konveyör uzunluğu ise 8,456.5 m.dir. Kazanın temel dengesi için kömür bunkerleri her biri 500 m<sup>3</sup> olarak dört ayrı köşeye yerleştirilmiştir. Her kazanda 37 ton/saat kapasiteli ve 550 KW gücünde 6 adet değirmen bulunmaktadır. Değirmenlerin 4 adedi direkt birer bunkerden, 2 adeti çift bunkerden beslenmektedir. Öğütülen kömür, değirmenin yarattığı hava akımı ile kazanın içine toz halinde püskürtülerek yakılmaktadır.

Yanma sonucu meydana gelen küller gazla birlikte bacaya giderken %99 verimle çalışan elektrofiltreler yardımıyla tutulmakta ve curuf ile elektrofiltrelerin alt çıkışından



alınıp su ile karıştırılarak (1/7.9 litre) su toplama havuzuna buradan da pompalar yardımıyla kül barajına pompalanmaktadır. Dolan baraj kademelerinin üzeri topraklanarak, düzgün tarım alanı haline getirilmektedir.

Baca yüksekliği I, II, III ve IV. gruplar için 150 metre, V. ve VI. gruplar için 275 metredir. Meteorolojik ve coğrafi şartlar etkisi ile de gaz ve kül çevreye herhangi bir zarar vermeyecek ölçüde düşürülmektedir. Curuf kazan altında bulunan paletli curuf çıkarıcı vasıtasıyla bantlı konveyörlere yüklenerek taşınmaktadır.

Santralde yılda yakılan yaklaşık 8 milyon ton kömürden açığa çıkan kül miktarı yaklaşık 4,000,000 tondur.

### 3.1.1.2 Yatağan Termik Santrali

Yatağan Termik Santrali, Muğla-Yatağan linyit havzasındaki düşük kalorili kömürün değerlendirilmesi ve ulusal enerji sistemin ihtiyacının karşılanması amacıyla 1975 yılında yatırım programına alınmıştır. 3x210 MW gücünde ve yıllık üretimi 4,095,000,000 kWh/yıl olan Yatağan Termik Santrali Yatağan-Milas karayolunun üzerinde ve Yatağan ilçesine 3 km mesafedeki 1,163,600 m<sup>2</sup>'lik bir alan üzerine oturtulmuştur.

Yatağan Termik Santralında kullanılacak kömürün açık ocaklardan çıkarılışı ve 0-200 mm. boyutlarında TEAŞ'a verilmesi Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Genel Müdürlüğü'ne bağlı Güney Ege Linyitleri İşletmesi tarafından yapılmaktadır. Yatağan Termik Santralinin kömür ihtiyacı 3 ünite için günde 18,000 ton civarındadır.

Kömür işletmelerinden gelen kömürün şartnameden alınan analiz değerleri:

Tane iriliği	: 0-200 mm
Kuru kömürde kül miktarı	: 28-35 %
Nem miktarı	: 32-40 %
Alt ısı değeri	: 2100 ± 100 kcal/kg

İşletmenin kömür kırma-eleme tesislerinde 0-40 mm boyutlarına indirilen kömür, konvektör bantlarla 885,000 ton kapasiteli stok sahasına alınır. Stok sahasından alınan kömür, %100 yedekli konvektör bantlarla +42 metre yükseklikteki kazan üstü bunkerlerine boşaltılmadan önce, sistemde yanan kömür miktarının tespiti için radyoaktif kantarlarla tartılmaktadır. Sahada 3 adet kömür park makinası mevcuttur. Bu makinalar kömürü stoklama, stoktaki kömürü alarak sisteme verme, gelen kömürü stoklamadan sisteme verirken üzerine stoktaki kömürü ilave edebilen pozisyonlarda çalışabilmektedir.

Su temini ise santralin ihtiyacı olan 1600 m<sup>3</sup>/h ham su 5 km uzaklıktaki Dipsiz su kaynağından, 6000 m<sup>3</sup> hacimli ham su havuzuna alınır. Ayrıca 200 m uzaklıktaki 7 kuyular pompa istasyonlarından sağlanmaktadır.

Santralde mevcut %99.2 verimle çalışan elektrofiltreler yardımıyla bacalardan kül çıkışı büyük oranda önlenmektedir. Ancak santrale verilen kömürdeki kül oranının yüksek olması halinde %35 kül oranına göre projelendirilmiş olan kül sevk tesisatında kapasite yetersiz kalmaktadır. Bu durumda önlem olarak ünitelerden yük düşülmekte ve böylece kül miktarı azaltılmaktadır. Ayrıca, ünitelerin devreye alınmış ve devreden çıkışları esnasında baca gazı 135°C ulaşmadan elektrofiltreler devreye alınmadığı için yaklaşık 1-2 saat süre ile bacadan kül çıkışı önlenememektedir. Normal işletme şartlarında elektrofiltrelerin verimini yüksek tutabilmek için bütün hücreleri çalışır vaziyette olmasına azami titizlik gösterilmektedir. Elektrofiltre altından, kazanın ara geçişinden, eko altından, bacadan ve luvo altından alınan kül, kül silolarında; kazan altından alınan curuf ise 1200 ton kapasiteli curuf bunkerlerinde toplanmaktadır.

Kül silolarında biriken kül, her bir silonun altında bulunan kül ıslatma helezonlarında ıslatılarak konveyör bantlara aktarılır. Curuf bunkerlerinde biriken curuf da aynı banta boşaltılarak 2 km. mesafedeki kül stok sahasına taşınır ve burada raylar üzerinde hareket edebilen kül serme makinası ile santral sahasından gönderilen kireçli su ve diğer atık sular eşliğinde sulu sistem ile kül barajına atılmaktadır.

3x210 MW grup için gerekli linyit miktarı 753 ton/h tır. Açığa çıkan kül-curuf miktarı orijinal baz olarak  $753 \text{ ton/h} \times 0.205 = 154 \text{ ton/h}$  tır.

Bunun  $154 \text{ ton/h} \times 0.04 = 6 \text{ ton/h}$ 'lik kısmı curuf;  $154 \text{ ton/h} \times 0.96 = 148 \text{ ton/h}$ 'lik kısmı da küldür. (TEAŞ, 2006)

### 3.1.1.3 Yeniköy Termik Santrali

Türkiye Kömür İşletmelerine ait olan Ekizköy ve Sekköy ocaklarındaki düşük kalorili linyit kömürünün değerlendirilmesi ve ulusal enerji sisteminin ihtiyacının karşılanması amacıyla 2x210 MW gücünde ve yıllık üretimi (brüt) 2,730,000,000 kWh/yıl olan Yeniköy Termik Santrali, Muğla ili, Milas ilçesine bağlı Yeniköy beldesinde Milas-Ören Karayolunun 22. kilometresinde kurulmuştur.

Termik santralin ihtiyacı olan kömür, yaklaşık 1500 m uzaklıktaki Ekizköy ve 2500 m uzaklıktaki Sekköy ocaklarından temin edilmektedir. Kullanılan kömürün özellikleri aşağıdaki gibidir.

Alt ısı Değeri :  $1750 \pm 200 \text{ kcal/kg}$

Nem : %  $(33 \pm 3)$

Kül (kuru bazda) : %  $43.3 \pm 3$

Toplam Kükürt : % 2.7-6.0 dır.

Türkiye Kömür İşletmelerine ait olan bu ocaklardan 120'şer tonluk büyük kamyonlarla santralin kırma tesislerine kadar getirilmektedir.

Santralin su ihtiyacı ise Dereköy ham su istasyonu ve Ahmetler barajından sağlanmaktadır. Yıllık su ihtiyacı ise her bir ünite için  $720.000 \text{ m}^3/\text{yıl}$ 'dır. Yeniköy Termik Santralinin yıllık ana yakıt ihtiyacı 3.767.000 tondur. Tam yükte günlük ana yakıt ihtiyacı 13.900 tondur. Türkiye Kömür İşletmeleri, Ekizköy ve Sekköy ocaklarından alınan kömürün alt ısı değeri  $1750 \pm 2000 \text{ kcal/kg}$  ve 0-300 mm boyutlarında olup, 120'şer tonluk büyük kamyonlarla kırma-eleme tesislerine kadar

getirilmektedir. Kazanların ihtiyacı olan kömür, park sahalarından, park makinaları yardımı ile alınarak konveyör bantlarla kazan üstü bunkerlerine verilmeden önce sistemde yanan kömürün miktarını tespit etme amacı ile radyoaktif kantarlarla tartılmaktadır.

Bacalarda kül çıkışı, yüksek verimle çalışan elektrofiltreler yardımı ile hemen hemen önlenmektedir. Santralde yakılan kömürden açığa çıkan kül, su ile karıştırılarak bantlı konveyörlere nakledilmektedir. Curuf bunkerlerinde biriken curuf ise yine bantlara boşaltılmaktadır. Biri yedek iki adet bantla taşınan kül, stok sahasına taşınıp, burada kül serme makinası ile kül barajına boşaltılmaktadır. Kül döküm sahaları toprakla örtülüp yeşillendirilmektedir.

2x210 MW grup için gerekli linyit miktarı 3.767.000 ton/yıl'dır. Açığa çıkan kül-curuf miktarı orijinal baz olarak  $3.767.000 \text{ ton/yıl} \times 0.40 = 1.506.800 \text{ ton/yıl}$  dır. Bunun  $1.506.800 \times 0.04 = 60.762 \text{ ton/yıllık kısmı curuf}$ ;  $1.506.800 \times 0.96 = 1.446.528 \text{ ton/yıl'lık kısmı da küldür}$ .

#### *3.1.1.4 Kemerköy Termik Santrali*

Muğla/Milas Hüsamlar-Çakıralan havzalarındaki düşük kalorili linyit kömürünün termik santralde değerlendirilerek ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla, Muğla ile Ören ilçesinde 3x210 MW kurulu güçte, 4,941,818 m<sup>2</sup> alan üzerinde kurulmuştur. Yıllık üretimi 4.1 milyon kWh/yıl'dır. Santralin yeri seçilirken; kömür rezervlerine yakınlığı, kül atma sahasına yakınlığı, ulusal elektrik şebekesinin özelliği, jeolojik yapı, kara ve deniz yolu ulaşım kolaylığı, hakim rüzgar yönü gibi faktörler dikkate alınmıştır.

Üretim için gerekli olan Kömür Türkiye Kömür işletmeleri tarafından temin edilmektedir. Alt ısı değeri 1550–1950 kcal/kg dır. 3x34,000 ton/saatlik soğutma suyu ihtiyacı deniz suyu tarafından karşılanmaktadır.

Santralde kullanılan linyitin özellikleri:

Parça büyüklüğü	: 0-1000 mm.
Kül	: % (39-47)
Toplam kükürt	: % (2.0-2.8)
Kül ergime sıcaklığı	: 1040-1100°C
Nem	: %(29-37)
Alt Isı Değeri	: 1550-1950 kcal/kg. dır.

Stok sahasından alınan kömür, konveyör bantlarla kazan üstü bunkerlerine boşaltılmadan önce, sistemde yanan kömürün miktarının tespiti için radyoaktif kantarlarla tartılmaktadır. Yıllık kömür ihtiyacı 5.7 milyon tondur. Kömürün kazanda yanmasını sağlamak için, fan tipi değirmenler kullanılmaktadır. Kömür, 1600 ton/saat kapasiteli bantlar ve kamyonlarla santrale gelip kırma ve eleme tesislerinde 0-30 mm tane boyutunda hazırlanarak stok sahasına dökülmektedir.

Kazan suyu ise Ahmetler su barajı ve Dereköy'deki kuyulardan sağlanmaktadır. Ahmetler barajı, rezerv kapasitesi ~4,450 milyon m<sup>3</sup> su toplama kapasitelidir. Yıllık su ihtiyacı Dereköy'den karşılanmaktadır.

Yanma sonucu oluşan kül; elektrofiltre altından, kazanın ara geçişinden, eko altından, bacadan ve luvo altından alınarak pnömatik olarak kül silolarında; kazan altından alınan curuf ise curuf bunkerlerinde toplanmaktadır. Kül silolarında biriken kül, her bir silonun altında bulunan kül ıslatma helezonlarında ıslatılarak iki paralel konveyör bantlara aktarılır. Curuf bunkerlerinde biriken curuf da aynı banta boşaltılarak kül stok sahasına nakledilmektedir. Burada kül serme makinası ile sulu olarak kül barajına atılmaktadır. Deniz seviyesinden +125 m. yukarıda bulunan kül barajı 11,000,000.m<sup>3</sup> kapasiteye sahiptir. Üç ünite için on yıl kül depolama imkanı bulunmaktadır

3x210 MW grup için gerekli linyit miktarı 5,700,000 ton/yıl'dır. Açığa çıkan kül-curuf miktarı orijinal baz olarak yaklaşık olarak 5,700,000 ton/yıl x 0.40=2,280,000 ton/yıl dır.

Bunun  $2,280,000 \times 0.04 = 91.200$  ton/yıllık kısmı curuf;  $2,280,000 \times 0.96 = 2,188,800$  ton/yıllık kısmı da küldür. (KEAŞ, 2006)

### 3.2 Yanma Sonucu Oluşan Ürünler ve Davranışları

Kömür; havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen, %55 ile %95 arasında, serbest veya bileşim halinde karbon ihtiva eden, katı organik kökenli kayaçlar olarak tanımlanmaktadır.

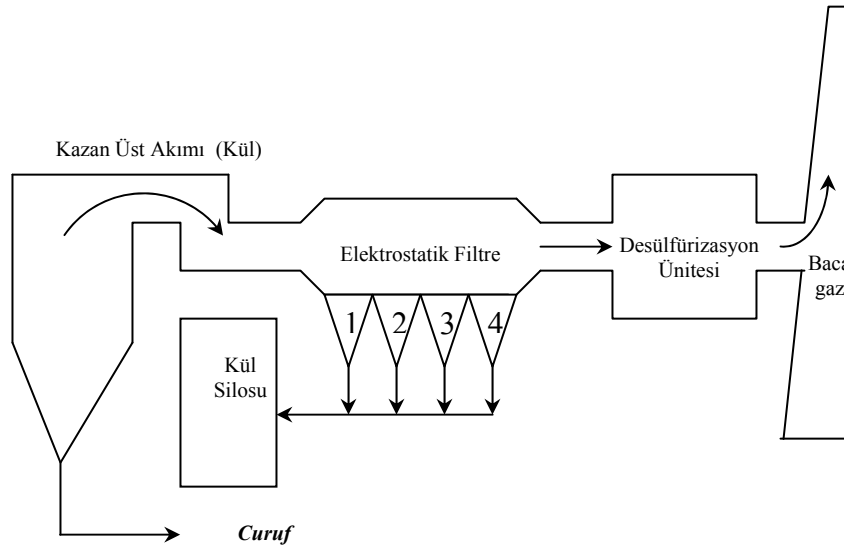
Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, özellikle endüstrinin diğer kesimlerinde değerlendirilme imkanı bulunmayan düşük kalorili, kül oranı yüksek linyit kullanılmaktadır. Kömür ile çalışan termik santraller, doğaya saldıkları katı ve gaz atıklar sebebiyle, gerek atmosferin kirlenmesinde gerekse de ekosistemin zarar görmesinde çok etkili rol alırlar. Yetmişli yıllarda termik santrallerin üretimini arttırmak amacıyla yeni tekniklerin uygulanması, düşük kaliteli kömürlerin değerlendirilmesi olanaklarını arttırmış ve yanma sonucunda da düşük kaliteli linyit kömürlerinin oluşturduğu gaz ve toz emisyonları ile büyük miktardaki katı atıklar (uçucu ve taban külü, curuf ve baca gazı) meydana gelmiştir. Bu sorunlar hem linyitin hem de yakma sisteminin özelliklerinden kaynaklanmaktadır.

Curuf olarak tanımlanan iri kül taneleri  $100 \mu\text{m}$  den daha iri boyutta kazanda yanmaya uğramamış artık maddelerdir. Genel olarak, kazanın çıkışında hemen altında bulunan su ile dolu ve periyodik olarak boşaltılan curuf oluklarına boşaltılır. Curuf katı olarak ya da su içerisinde çökeltilerek taşınır. Curuf/uçucu kül oranı, kömür içerisindeki kül miktarına ve curuf/elektro filtrede tutulan kül oranına bağlıdır. Bu oran genelde 5/95 ile 20/80 arasında değişmektedir. Ancak bu oran tam olarak kesin değildir.

Geri kalan katı maddeler ise uçucu kül ve taban külü olarak tanımlanırlar. Uçucu küller  $10-200 \mu\text{m}$  çapa sahip, camsı yapıda ve çoğunlukla küresel tanelerdir. Bunlar kazanı hava akımı ile terk ederler ve bacadan atılmadan önce elektrostatik veya bez filtrelerde tutulur. Çok ince uçucu kül tanelerinin bir kısmı da baca gazı ile atmosfere

salınırlar. Taban külleri ise uçucu küllerden daha büyük ve ağır, yerçekimi ile kazan tabanına çökelen küllerdir.

Günümüzde termik santrallerde elektrik üretimi sırasında genellikle pulverize kömürün yakıldığı kuru dip şarjlı kazanlar kullanılmaktadır. Bu tip termik santrallerde kömürü yakmak için genellikle fuel-oil tercih edilmektedir. Yanma sonrası oluşan uçucu gazlar yüksek verimlerde çalışan elektrostatik filtrelerde tutulmakta ve desülfürizasyon ünitelerinde kireç ile muamele edilmektedir. Şekil 3.3’de yanma sonrasında oluşan ürünlerin yanma kazanından hangi bölümlere gittikleri gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Kömür Yakan Termik Santrallerde Kazandan Çıkan Ürünlerin Dağılımı

Kömür yakan termik santrallerde yanma kazan içerisinde kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak 900-1400°C arasında gerçekleşir. Kömür parçaları kazan içerisinde ısınır, buharlaşabilen maddeler gaz haline gelir ve yanma gerçekleşir. Mineraller yüksek ısı altında bozunup erimeye, parçalanmaya başlar ve aglomere olurlar. Bir başka şekilde ifade edilecek olursa yanma sırasında kömürdeki anorganik yapıdaki değişikliğin, kömür kül yapısını ve ergime sıcaklığını etkilediği ve bununda yanma koşullarında aglomerasyona neden olduğu bilinmektedir. Oluşan bu madde termik santrallerimizde büyük problemlere yol açmaktadır. Zamanla kazan içinde curuflanması meydana gelmekte buda yanma verimini düşürmektedir. Dolayısıyla enerji üretimini olumsuz

etkilemektedir. Zaman zaman kazanı temizlemek amacıyla santral durdurulmakta buda enerji üretiminin durmasına sebep olmaktadır

Bu sebeple yapılan bu tez çalışmasında santrallerimizde yakılan kömür içerisindeki mineral madde ve kömürün kimyasal yapısı tespit edilerek kazan içerisinde oluşacak olan curuflanmaya etkileri incelenmiştir. Kömürün mineral madesi ve önemi bölüm 3.2.1’de ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

### ***3.2.1 Kömürün Mineral Maddesi***

Kömürdeki inorganik minerallerin ve kömürün organik yapısının parçası olmayan elementlerin toplamı olarak tanımlanabilir. Organik olarak bağ yapan C, H, O, N ve S dışındaki tüm elementler bu sınıflandırmaya göre mineral madde olarak tanımlanır (Vorres, 1984). Genelde organik olarak kabul edilen bu beş elementin dördü kömürde inorganik kombinasyon halinde de bulunur. Kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlarda; karbon, serbest su ve hidrat suyu olarak hidrojen, oksitlerde; suda, sülfatlarda ve silikatlarda oksijen; sülfürler ve sülfatlarda kükürt bulunmaktadır (Lowry, 1963). Organik yapı ile bağ yapmış inorganik maddeler de mineral madde olarak nitelendirilir. Kömürdeki mineral maddeler çıplak gözle görülebilecek büyüklükten optik veya elektron mikroskobu ile görülebilen mikron boyutlarına kadar çeşitli büyüklüklerde olabilmektedir. Gözlem sonuçları mineral taneciklerinin genellikle ortalama olarak 20 mikron çapında olduğunu ve ancak çok az mineral taneciğinin çapının 100 mikrondan büyük olabildiğini göstermiştir (Vorres, 1984).

İçerdiği mineral madde, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkilemektedir. Mineral madde kömür üretim ve taşımacılığında arzu edilmeyen bir yakıt bileşenidir. Kömür hazırlama ve zenginleştirme işlemleri, kömürün içerdiği mineral maddeyi azaltmaya yöneliktir. Bu işlemlerin başarısı, mineral maddenin özelliklerine (özgül ağırlık, boyut, şekil gibi) bağlıdır. Kömür hazırlama tekniklerinin etkinlikleri ne olursa olsun, daima önemli bir miktar mineral madde kömürde kalır ve kömürün kullanımında önemli rol oynar. Ayrıca kömür bir yakma ünitesinde yakıldığında içerdiği mineral maddeler değişikliklere uğrayarak klinker oluşumu, korozyon, curuf ve kurum



gibi sorunlar yaratır (Yaman, 1992).

### *3.2.1.1 Kömür Mineral Maddesinin Sınıflandırılması*

Mineral maddeler çok çeşitli şekillerde sınıflandırılabilir. Öncelikle mineral madde kabaca sınıflandırılacak olunursa:

**Bünye mineral maddesi**, turbaya ve daha sonra kömüre dönüşen bitkilerin inorganik kısmından kaynaklanmaktadır. Yanmadan önce ayrılmayan organik kömür parçacıklarıyla alakalıdır. Doğal mineraller, organik parçacıkların %10'undan daha azını ifade ederler (genellikle % 2-4). Bünye mineral maddesi kömür zenginleştirme yöntemleriyle uzaklaştırılmaz.

**Dış mineral madde**, kömür oluşumundan sonra kömüre karışan safsızlıklardır. Mineral maddenin %90'ını ifade eden ve yanma öncesi parçalanma ile ayrılan parçacıklar, En fazla 100 µm boyuta sahip organik parçacıklara göre 4-7 µm boyuta sahiptir (en çok 40-70 µm olmak üzere). Dış mineral maddeler kömürün organik yapısına dağılmamış olduğundan, fiziksel yöntemler ile kömürden ayrılabilir (Vorres, 1984).

Diğer bir sınıflandırmaya göre ise mineral maddeler;

Kökenlerine, kömüre katıldıkları zamana ve kömürdeki derişimlerine göre sınıflandırılır.

**Kökenlerine göre sınıflama:** Kömür mineralleri kökenlerine göre üç gruba ayrılabilir (Meyers, 1982)

*Aşınma kökenli:* Bu gruba giren mineral maddelerin kaynağı turbanın oluştuğu bataklık dışındadır ve tanecikler su veya rüzgar yardımıyla bataklığa taşınmıştır. Killi mineraller ile kuvarsın genellikle aşınma kökenli olduğu kabul edilir.

*Bitkisel kökenli:* Bu grubu oluşturan mineraller bataklık bitkilerinin inorganik bileşenlerinden kaynaklanırlar. Bütün bitkiler inorganik madde içerirler; içerdikleri

inorganik madde miktarı ve bileşimi, bitkinin türüne, dokusuna, yetiştiği toprağa ve iklime bağlı olarak değişir. En az inorganik madde derişimine odunun dokusu sahiptir (kuru temelde ortalama  $< \% 1-2$  ). Kükürt, bitkilerin beslenmeleri için gerekli bir element olduğundan kükürt bileşiklerinin kömürde bulunması şaşırtıcı değildir. Bataklık bitkilerinin odunsu dokusundaki alumina ve silika derişimi yüksektir. Bitkilerin kabuk ve yaprakları daha fazla inorganik madde içerirler; örneğin yaprakların kuru temeldeki kül içeriği  $\% 15-20$  kadardır. Bitkisel kökenli mineral madde, demir, fosfor, kalsiyum, potasyum ve magnezyumca zengindir; çünkü bu elementler bitki hayatı için gereklidir (Raask, 1985)

*Kimyasal kökenli:* Bu tür mineraller bataklık sulu çözeitesindeki karışımdan kaynaklanmaktadır. Kömürün bünyesindeki mineraller çözeltideki inorganik maddelerin kimyasal olarak çökmeleri veya çözeltiler ile turba veya kömürde önceden var olan organik veya inorganik maddelerin tepkimeye girmesi sonucu oluşmuş olabilir.

Sulu çözeltideki iyonların kaynağı çeşitlidir. Kaynaklardan biri bataklık civarındaki kayalardan yeraltı veya yüzey sularıyla bataklığa taşınan iyonlardır. Çözünmüş olan maddelerin diğer kaynağı ise bataklığın içindedir; bitkilerin bozunması sonucu bitki dokusunda külün bileşeni olarak bulunan ve suda çözünebilen maddeler de çözeltiye geçer. Bitkisel maddelerin organik bileşenlerinin bazıları da bozunma sırasında organometalik bileşikler halinde çözeltiye geçmektedir. Kömürün içerdiği pirit ve karbonatlar bu tür minerallerdendir (Jenkins, 1984).

**Kömüre katıldıkları zamana göre sınıflama:** Mineraller kömüre tüm oluşum aşamalarında katılırlar; fakat kömüre mineral madde girişi iki önemli dönemde gerçekleşir. Mackowsky (Mackowsky, 1984) kömürün içerdiği mineralleri iki gruba ayırmıştır:

*Syngenetic mineraller:* Turba-birikim aşamasından yumuşak linyit oluşumuna kadar olan süreçte kömüre katılmış olan mineral maddeler bu grubu oluşturmaktadır. Bu tanıma göre kömürün içerdiği minerallerin çoğu syngenetic' tir.

*Epigenetic mineraller:* Sertleşme başladıktan sonra epigenetic faz başlar. Kömürün organik kısmı inertleşmiştir ve çözümlerden etkilenmez. Kömür yatağında oluşan önemli çatlaklar mineral oluşturuca iyonlar içeren yeraltı sularının yatağa girmesine sebep olur.

Karbonatlar, sülfür mineralleri ve kuvars hem syngenetic, hem de epigenetic kökenli; kil mineralleri syngenetic; tuz mineralleri ise epigenetic kaynağıdır ( Berkowitz, 1985).

**Kömürdeki derişimlerine göre sınıflama:** Kömür minerallerinin sınıflandırılması, genellikle kömürdeki derişimleri esas alınarak yapılır; ancak, çeşitli sınıflamaların dayandırıldıkları derişim sınırları farklıdır.

Meyers (Meyers, 1982) kömürün içerdığı mineral maddeleri, majör, minör ve iz mineral maddeler olmak üzere üç gruba ayırmıştır. Majör mineraller, kömürdeki toplam mineral maddenin %10'undan fazlasını oluşturan bileşiklerdir; minör mineral maddelerin derişimleri % 1-2; iz minerallerinki ise %'in altındadır. İz mineraller bitkisel kökenlidir. Kil mineralleri ve kuvars majör; karbonatlar, di-sülfürler, sülfatlar, feldispatlar ve sülfürler ise minör mineral bileşenleridir (Lowry, 1963).

Kömürün içerdığı mineral safsızlıklar oluştukları bölgenin jeolojik çevresini yansıtır. Mineral maddeyi oluşturan bileşiklerin derişimleri yerel jeolojik çevreye ve kömürün yaşına bağlıdır. Yer kabuğunu oluşturan temel elementler olan Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K ve Ti ' nin oksijenli bileşikleri aynı zamanda çeşitli kömürlerin yanmayan kısmını da oluşturlar. Mineral madde kömüre üretimi sırasında komşu mineral damarlarından da karışmış olabilir .

### 3.2.1.2 Kömürün İçerdığı Mineral Maddeler

Kömürün içerdığı mineral maddelerin %95' inden fazlasını majör bileşenler oluşturur. Majör bileşenler dört gruba ayrılmaktadır:

*Killi mineraller:* İllit, kaolinit, montmorillonit ve illitmontmorillonit'lerin karışımı olarak ortaya çıkan aluminosilikatlar toplam mineral maddenin %50'sini teşkil eder.

*Karbonat mineralleri:* Kalsit, siderit, dolomit ve ankerit'in yanısıra kalsiyum, demir, magnezyum ve mangan'in çeşitli kompleks karbonatları da kömürün içerdiği majör bileşenlerdendir.

*Kükürtlü mineraller:* Genellikle FeS<sub>2</sub>'nin iki kristal şekli olan pirit ve markasit kükürtlü mineralleri oluşturur; piritin kristal şekli kübik, markasitinki ise rombiktir.

*Silikat mineralleri:* Büyük miktarı kuvars şeklinde ortaya çıkar ve toplam mineral maddenin %15-20'sini oluşturur (Berkowitz, 1985, Kemezys, 1964).

Minör bileşenler ve iz mineraller periyodik cetveldeki elementlerin birçoğunu içerir. Potasyum, sodyum, titan ve zirkon silikat fazında derişik halde bulunurken; arsenik, kadmiyum, bakır, kurşun, civa ve selenyum sülfür oluşturma eğiliminde olup FeS<sub>x</sub> ile birlikte bulunur. Berilyum, bor ve germanyum kömürün organik kısmına dağılmış halde bulunurken; arsenik, kadmiyum, kurşun, mangan, civa, molibden, çinko ve zirkonyum genellikle inorganik kısımda görülür.

Kömürde bulunabilen mineral maddeler Tablo 3.3'de görölmektedir.

Tablo 3.3 Kömürün içerdiği mineral maddeler

Mineral İsmi	Kimyasal Formül
<b>Killi mineraller</b>	
Montmorillonit	Al <sub>2</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub> .XH <sub>2</sub> O
İllit-serisit	KA <sub>1</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )
Kaolinit	Al <sub>4</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
Halloysit	Al <sub>4</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
Klorit	Mg <sub>3</sub> Al(AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>8</sub>
<b>Sülfür mineralleri</b>	
Pirit	FeS <sub>2</sub> (kübik)
Markasit	FeS <sub>8</sub> (ortorombik)
Sphalerit	ZnS
Galen	PbS
Kalkopirit	CuFeS <sub>2</sub>
Pirhotit	FeS
Arsenopirit	FeAsS
Millerit	NiS
<b>Karbonat mineralleri</b>	
Kalsit	CaCO <sub>3</sub>
Dolomit	(Ca, Mg)CO <sub>3</sub>
Siderit	FeCO <sub>3</sub>
Ankerit	(Ca, Fe, Mg)CO <sub>3</sub>
Hiterit	BaCO <sub>3</sub>

Tablo 3.3 Kömürün içerdiği mineral maddeler (devamı)

<b>Sülfat mineralleri</b>	
Barit	BaSO <sub>4</sub>
Gips	CaSO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O
Anhidrit	CaSO <sub>4</sub>
Bassanit	CaSO <sub>4</sub> .1/2H <sub>2</sub> O
Jarosit	(Na, K)Fe <sub>3</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (OH) <sub>6</sub>
Szomolnokit	FeSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O
Rozenit	FeSO <sub>4</sub> .4H <sub>2</sub> O
Meianterit	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O
Coquimbit	Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .9H <sub>2</sub> O
Roemerit	FeSO <sub>4</sub> .Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> .12H <sub>2</sub> O
Mirabilit	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10H <sub>2</sub> O
Kieserit	MgSO <sub>4</sub> .H <sub>2</sub> O
Sideronatrit	2Na <sub>2</sub> O.Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .4SO <sub>3</sub> .7H <sub>2</sub> O
<b>Klorür mineralleri</b>	
Halit	NaCl
Silvit	KCl
Bişofit	MgCl <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O
<b>Silikat mineralleri</b>	
Kuvars	SiO <sub>2</sub>
Biotit	K(Mg, Fe) <sub>3</sub> (AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> )(OH) <sub>2</sub>
Zirkon	ZrSiO <sub>4</sub>
Tourmalin	Na(Mg, Fe) <sub>3</sub> Al <sub>6</sub> (BO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> (Si <sub>6</sub> O <sub>18</sub> )(OH) <sub>4</sub>
Garnet	(Fe, Ca, Mg) <sub>3</sub> (Al, Fe) <sub>2</sub> (SiO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>
Kyanit	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub>
Staurölit	Al <sub>4</sub> FeSi <sub>2</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
Epidot	Ca <sub>2</sub> (Al, Fe) <sub>3</sub> Si <sub>3</sub> O <sub>12</sub> (OH)
Albit	NaAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Sanidin	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Ortoklas	KAlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Augit	Ca(Mg, Fe, Al)(Al, Si) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>
Hornblende	NaCa <sub>2</sub> (Mg, Fe, Al) <sub>5</sub> (SiAl) <sub>8</sub> O <sub>22</sub> (OH) <sub>2</sub>
Topaz	Al <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> (OH, F) <sub>2</sub>
<b>Oksit ve hidroksit mineralleri</b>	
Hematit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Magnetit	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>
Rutil	TiO <sub>2</sub>
Limonit	FeO.OH.nH <sub>2</sub> O
Goethit	FeO.OH
Lepidocrocit	FeO.OH
Diaspore	AlO.OH
<b>Fosfat mineralleri</b>	
Florapatit	Ca <sub>5</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> (F, Cl, OH)

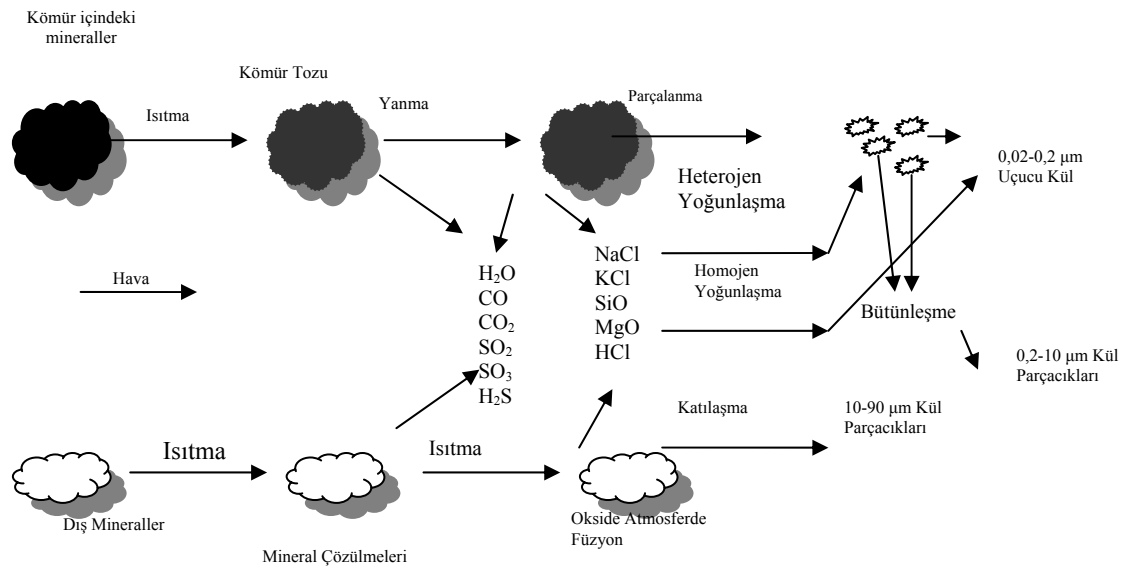
### 3.2.1.3 Yanma Esnasında Mineral Madde Dönüşüm Kinetiği ve Mineral Maddeden Kaynaklanan Birikimler

İçerdiği mineral madde kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkiler. Kömür hazırlama ve zenginleştirme işlemleri kömürün içerdiği mineral maddeyi azaltmaya yöneliktir. Kömür hazırlama tekniklerinin etkinlikleri ne olursa olsun, daima önemli bir miktar mineral madde kömürde kalır ve kömürün kullanımında önemli rol oynar. Kömür bir yakma ünitesinde yakıldığında içerdiği mineral maddeler önemli değişikliklere uğrayarak klinker oluşumu, korozyon, curuf ve kurum gibi sorunlar yaratır. Kömürdeki enerjiyi farklı bir şekle dönüştürmeye yönelik işlemlerin çoğuna

olumsuz etki gösteren inorganik bileşenlerin birçoğu kömürde bulunmaktadır. Kömür ısıtıldığında bu inorganik fazlar; katı, sıvı ve uçucu türlerinin karmaşık bir karışımını veren dönüşüm ve tepkimeler gösterirler.

Kömür yakma ünitelerinde, mineral madde dönüşümünün basite indirgenmiş mekanizması Şekil 3.4'de gösterilmiştir. Bu ünitelerin içine iki tür parçacık verilmiştir; (1) doğal mineraller içeren kömür parçacıkları ve (2) Dış Mineraller

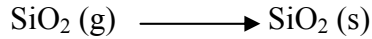
Kömür parçacıkları ısıtıldıkları zaman gaz haline gelen parçacıklar oluşturur ve bu oluşan parçalar kömürleşmiş parçacıklar gibi yanarlar. Sonunda, %10'dan daha az organik madde içeren dış mineral parçacıklarından daha yüksek bir ısıya ulaşırlar. Doğal mineraller (0.1  $\mu\text{m}$ ), kömürleşmiş parçacıklar içinde değişime uğrarlar ve kömürleşme sürecindeki parçalanma sırasında serbest kalırlar. Minerallerin çözülmesi ve katı safhaya geçme esnasında gaz çıkışı olur. Bu gazlar homojen kimyasal reaksiyonlara girerek homojen ve heterojen yoğunlaşmalara neden olurlar. Boyutları 0,02-0,2  $\mu\text{m}$  olan küllerin kaynağı bu homojen yoğunlaşmalar ve minerallerin ayrışmasıdır. Ayrışmış mineral madde parçacıklarının tekrar birleşmesi de 0,2-10  $\mu\text{m}$  boyutlarındaki küllerin oluşmasına neden olur. En büyük kül parçacıkları ise (10-90  $\mu\text{m}$ ) dönüşmüş dış mineral parçacıklarından meydana gelir.



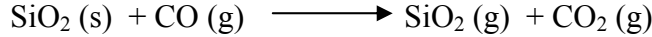
Şekil 3.4 Kömür Yakma Ünitelerinde Mineral Madde Dönüşümünün Basite İndirgenmiş Mekanizması

Dış minerallerden oluşan küller yaklaşık 10 µm civarındadır. 0,01-0,1 µm arasındaki minerallerin birleşmesinden oluşan parçacıklar bir araya gelerek, birleşirler ve 0,1 µm'den küçük boyutlara sahip parçacıklar oluştururlar. Yanma sırasında mineral maddenin küçük bir kısmı buharlaşıp, yoğunlaşarak 0,05 µm'ye kadar büyüyen mikro uçucu toz oluştururlar. Bu toz toplam kül kütlelerinin %1'ini oluşturmasına rağmen çok daha fazla çevresel zarara neden olurlar. Kül oluşumunun mekanizması hala anlaşılmamaktadır. 1800 K altındaki sıcaklıklarda yakılan kötü kalite kömürlerin küllerinde, MgO ve CaO bulunmaktadır. Bununla birlikte maden kömürlerinin yanmasıyla oluşan küllerde ise SiO<sub>2</sub>'nin oranı fazladır. Kömürleşmiş maddede bulunan SiO'in homojen gaz konumundayken oksitlenmesi ve daha sonra yoğunlaşarak SiO<sub>2</sub>'yi oluşturması, SiO<sub>2</sub>'nin kül içinde neden yer aldığını açıklamaktadır. Aynı zamanda yüksek uçucu olan Na homojen yoğunlaşma için çok uygundur. Ancak toplam Na miktarının sadece yarıya yakını uçucu küllerde yer almaktadır. Kömürün yanmasında yer alan mikrondan küçük parçacıkların açıklanabilmesi için yüksek sıcaklığa dayanıklı oksitlerin buharlaşması gerekmektedir. Bununla birlikte bu buharlaşma mekanizmasının var olduğuna dair yeterli kanıt bulunmamaktadır. Bu nedenle mikrondan küçük olan bu parçacıkların, kömürleşmiş parçacıkların yanması sırasında doğal minerallerin ayrışmasıyla oluştuğunu söylemek daha mantıklı olacaktır. İnorganik buhar cinslerinin homojen yada heterojen olarak yoğunlaşması nedeniyle, soğuyan yüzeylerde bazı artıklar meydana gelir. Bu olay, uçucu kül parçacıklarının yada büyük yapışkan parçacıkların kuru yüzeylere veya diğer parçacıkların yapışkan artıklara yapışması olarak açıklanabilir. Bazı durumlarda, gaz safhası aşırı doymuş hale gelebilir. Bunu sağlayan ise soğuyan yüzey sınırlarında, sıcaklığın düşmesi ile parçacıkların gaz halde çekirdekleşmiş homojen bileşimler oluşturmasıdır. İnorganik parçacıkların oluşumu; kömürden yanma ile ayrılan küçük inorganik parçacıklar ile açıklanabileceği gibi dışsal mineral maddelerden yayılan kül parçacıkları ile de açıklanabilir. Aşırı doyum mekanizması;

$$\text{SiO (g)} + 1/2 \text{O}_2(\text{g}) \longrightarrow \text{SiO}_2 (\text{g})$$
 denklemleri ile ifade edilebilir. Eğer SiO<sub>2</sub> (g)'nin kısmi basıncı, sıvı SiO<sub>2</sub> (s) üzerindeki denge basıncından fazla ise sıvı SiO<sub>2</sub> (s)'de homojen çekirdekleşme gözlenir.



2000 K alev sıcaklığında yoğunlaşma için gerekli  $\text{SiO}_2 (\text{g})$ 'nin molar içeriği 0,02 ppm'e eşittir. Oksijenin az olduğu bölgelerde  $\text{SiO}_2 (\text{s})$  azalması gözlenebilir.



Böylece  $\text{SiO}_2$ 'in kısmi basıncı CO ve  $\text{CO}_2$  'nin kısmi basınçlarıyla kontrol edilmiş olacaktır. Isınma yüzeylerindeki curuflenme ve bozulmalar piritin davranışının kontrolü altındadır. Oksidasyon sürecinin %80'inde pirit ayrışarak pirotit oluşturur. Pirit aynı zamanda oksitlenerek sırasıyla magnetit ve hematit'e dönüşür. Erime safhası demirin tortulanması ile tanımlanabilir. Gözenekli pirotit'in parçalanmasıyla meydana gelen demir buharı da demir tortulanmasının kaynağıdır.

Çözünür sodyumun yaklaşık %50'si buharlaşır. Tortulamada sodyum, ya tuz olarak ( $\text{NaCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ), ya büyük silisli parçacıklar olarak ( $\text{NaSiO}_3$ ), ya da alüminyum silikat ( $\text{NaAlSiO}_4$ ) olarak tanımlanır.

Kömürün ticari olarak kullanımındaki sorunlar genellikle kömürün içerdiği mineral maddeden kaynaklanır. Yakma sistemlerinde serbest kalan mineral madde, birkaç saniye içinde fırını ve hemen sonrasında baca yolu üzerindeki kısımları geçer. Mineral maddenin çoğu nispeten yüksek erime sıcaklığına sahip küle dönüşmüşse "uçucu kül" terimi kullanılır. Bu uçucu kül, fırın içinden ince tanecikleri uzaklaştırmak için tasarlanmış bazı donanımlara doğru hareket eder. Külün erime sıcaklığı nispeten düşükse küçük tanecikler yumuşar ve yapışkan hale gelir; bunlar duvarlara yapışabilir veya fırın boşluğundaki borular üzerinde birikebilir. Uçucu kül ve biriken tortuların varlığı ısı iletimini ve buhar üretimini düşürür; fırın boşluğundaki gaz akımına engel olur; fırının iç kısımlarında aşındırıcı etkilere yol açar.

Bir kömürün bir yakıcıda sürekli olarak kolayca yakılıp yakılamayacağını belirlemede içerdiği mineral türlerinin özellikleri çok önemlidir. Düşük erime sıcaklıklı türleri oluşturabilecek hızdaki mineraller arasındaki tepkimeler veya düşük erime



sıcaklıklı türleri oluşturabilen uçucu bileşiklerin ortaya çıkışı genellikle sorunların büyüklüğünü belirler. Kömür külünün birikim oluşturmasından kaynaklanan kurumu veya curufu belirleyebilen ve herkes tarafından kabul edilmiş olan bir cihaz yoktur (Vorres, 1984)

Bazı kömür külü tanecikleri ısıtıcı içindeki metal parçalarını aşındırma özelliğine sahiptir. Özellikle sert kül tanecikleri fırın ve ısıtıcı yüzeylerine çarptığında önemli bir aşınmaya neden olur. Alkali elementlerin ve özellikle belirli kömürlerde klor ile birlikte bulunan sodyum elementinin, kesintileri ve bakım masraflarını, artıran aşındırıcı etkisi vardır. Klorlu bileşikler kömür kullanılan donanımlarda aşınma hızının artmasına neden olmaktadır. Kömürde bulunan otuz iki minör ve iz element çevre sorunlarına neden olmaktadır.

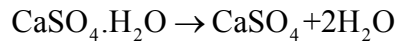
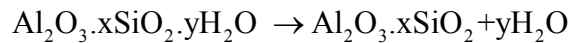
*3.2.1.3.1 Curuf Oluşumu.* Mineral maddenin yakıcının cidarlarında eriyip sertleşmesi olarak tanımlanan curuf oluşumu, ısı iletimini azaltır ve fırını terk eden atık gazların sıcaklıklarının yüksek olmasına neden olur. Curuf oluşumunun en önemli etkisi, üzerinde curuf oluşmuş metal parçalarına verdiği zarardan ötürü ısıtıcının bakım masraflarını artırmasıdır. Curuf blokları fırının üst kısmında 1.5 metreden daha fazla bir kalınlığa erişebilir ve sonunda kendi ağırlığından ötürü düşüp fırının alt kısmında parçalanır. Elektrik enerjisi üretiminde ısıtıcı kapasitesi, curuf oluşumu ile önemli miktarda düşer.

Toz kömür yakılması sırasında kömür alevinin içinde bulunduğu atmosferik koşullar, demirin stabil iyonik formunun ferro olmasından ötürü indirgeyici olarak göz önüne alınır. Kül tanecikleri alev bölgesini terk ettikten sonra daha oksitleyici bir çevre ile karşılaşır ve havanın yakıtta olan oranına bağlı olarak demirin başlıca ferrik veya ferro ile ferrik'in bir karışımı halinde olabildiği birikimleri ve uçucu külü oluşturur (Yaman, 1992).

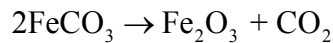
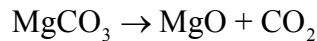
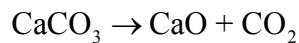
*3.2.1.3.2 Kurum Oluşumu.* Kurum, genellikle konvektif ısı iletim yüzeylerinde nispeten düşük sıcaklıklarda (873 K den 1273 K'ye kadar) oluşmaktadır. Alkali elementler (sodyum, potasyum) bu tür birikimlerin oluşmasındaki başlıca etkenlerdir. Bu elementler alev içerisinde uçucu hale gelir. Organik bağ yapmış alkalilerin 1673-1773 K lik alev sıcaklıklarında kolayca uçucu hale gelmesi beklenir. Bitümlü kömürlerde sodyumun en yaygın şekli olan sodyum klorür; bu şekilde davranmaktadır. İllit'in içerdiği potasyumun kolayca uçucu hale gelemeyeceği beklenebilir; çünkü illit bu sıcaklıklarda kolayca erimiş curufa dönüşmektedir. Bu nedenlerden ötürü kömürün suda çözünen alkali içeriği toplam alkali içeriğine göre güvenilir bir kurum belirteci olarak göz önüne alınabilir. Bu birikimler, özellikle, yumuşak ve oldukça viskoz taneciklerin sıcak metal yüzeylerinde bozunması ve yapışmasından kaynaklanır. Yapılan incelemeler, boruların yüzeyleri üzerinde düşük sıcaklıkta eriyen bir fazın oluşumunu içeren ilk aşamanın, birikim oluşumuna izin veren bir çeşit yapışkan madde temin ettiğini göstermektedir. Başlangıç tabakasının oluşumu ile ilgili olan düşük erime sıcaklığına sahip madde; alkali sülfatları, demir-veya alüminyum-sülfatları içerir (Yaman, 1992).

*3.2.1.3.3 Kömür Külü Oluşumu ve Ergime Özellikleri.* Kül, kömürün yanmasından sonra arta kalan mineral maddedir. Kömürün mineral madde ve kül içeriği ne bileşim ne de miktar bakımından aynı değildir. Kömür yandığı zaman, içerdiği mineral maddeler aşağıda belirtilen temel değişikliklere uğrayarak küle dönüşmektedirler.

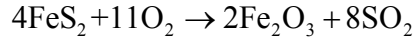
Hidrat suyu içeren minerallerin hidrat sularını kaybetmeleri;



Karbonatların parçalanması,



Sülfürlerin kavrulması;



Alkali metal klorürlerin uçuculaşması; Bu nedenle olan ağırlık kaybı genellikle çok azdır ve ihmal edilebilir.

Kömürün yanması sırasında oluşan metal oksitlerin, organik ve pratik kükürdün bir kısmı ile reaksiyona girmesi,  $\text{SO}_3$  artışına neden olmaktadır. Sıcaklığın yeterince yüksek olması durumunda ise, oksitler, silikatlar ve serbest silika tepkimeye girerek yeni bileşikler oluşturur.

Kül oluşurken mineral maddenin uğradığı değişiklikleri hesaba katan ve kömürün içerdiği mineral madde miktarını, kül analiz sonucundan yararlanarak bulmayı amaçlayan birçok formül türetilmiştir. Bu formüllerin en eskilerinden biri Parr tarafından oluşturulmuştur (Pollack, 1979)

$$M = 1.08 A + 0.55 S$$

Brown ve arkadaşları kömürlerin çoğu için kullanılabilen istatistiksel bir formül türetmiştir.

$$M = 1.06 A + 0.53 S + 0.74 \text{CO}_2 - 0.32$$

Bu formüle bazı terimlerin eklenmesiyle King Formülü adı verilen diğer bir formül türetilmiştir (9):

$$M = 1.13 A + 0.8 \text{CO}_2 + 0.5 S_{\text{pirit}} - 2.8 (S_{\text{kül}} - S_{\text{SO}_4}) + 0.5 \text{Cl}$$

Daha sonra bu formül aşağıdaki şekilde kısaltılmıştır:

$$M = 1.06 A + 0.55S + 0.74 \text{CO}_2 - 0.32$$

KMC (King, Maries ve Crossley) adı verilen bir başka formül birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Brown, 1959) Bu formül:

$$M = 1.09A + 0.5 S_{\text{pirit}} + 0.8 \text{CO}_2 + 2.5 S_{\text{SO}_4} - 2.5 S_{\text{kül}} + 0.5 \text{Cl}$$

şeklindedir.

Given Formülü adı verilen bir başka formül ise;

$$M = 1.13A + 0.47 S_{\text{pirit}} + 0.5 \text{Cl} \quad \text{dir.}$$

M	= Kömürün mineral madde içeriği, %
A	= Kömürün külü, %
S	= Kömürün toplam kükürt içeriği, %
CO <sub>2</sub>	= Kömürün karbondioksit içeriği, %
S <sub>pirit</sub>	= Piritik kükürdü, %
S <sub>kül</sub>	= Kömürün külündeki sülfat kükürdünü, %
S <sub>so4</sub>	= Kömürün içerdiği sülfat kükürdünü, %
Cl	= Kömürün klor içeriği, %

Yakma sisteminin tasarımı, işletilmesi ve kömürlerin optimum harmanlama oranlarının belirlenmesi açısından, kullanılacak kömürün külünün bileşiminin, ergime ve curuf özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Kül yüksek sıcaklıklarda ısıtılırsa yumuşar ve ergiyerek, akışkanlaşır. Farklı kömürlerin erime özellikleri çok farklı olabilir. Kül ergime özellikleri bileşimine bağlı olarak değişmektedir. Kül kristal, yarı kristal ve camsı minerallerin çok kompleks bir karışımıdır. Bu nedenle belirli bir ergime sıcaklığına sahip olması beklenemez. Ancak, kül ergime testleri sonucunda belirli bir ergime sıcaklığı saptanmaktadır. Bu testler, pramit veya silindirik şekil verilmiş olan kül peletlerinin bir fırında, oksitleyici veya az indirgeyici atmosferde, kontrollü olarak ısıtılmaları arasındaki şekil deformasyonu, büzülme ve akma gibi numunenin dış görünüşünde meydana gelen değişikliğin gözlenmesi suretiyle gerçekleştirilir. Genellikle piramit şeklindeki kül peletlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Çünkü yuvarlaklaşma sıcaklığı, silindirik peletlerinkine kıyasla daha net bir şekilde gözlenebilmektedir (Thessen, 1945).

Kömür külünün erime sıcaklığı yakma sisteminin tasarımında ve işletme sırasında, değerlendirmeye alınırken önemlidir. Bu nedenle kömür külünün kimyasal bileşimi ile ergime sıcaklığı arasındaki ilişkiyi bulma konusundaki ilk çalışmalarda, SiO<sub>2</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve kükürdün etkileri incelenmiştir (Gray, 1984)

Nicholls ve Selving külün Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> içeriği ile yumuşama sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranında her %1'lik artışın, ergime sıcaklığını 23 K düşürdüğü sonucuna varmıştır. Nicholls ve Selving 43 kömür külü üzerinde yaptıkları çalışmaların sonucunda ;

$$R=(Al_2O_3+SiO_2) / (Fe_2O_3 + CaO+ MgO+Na_2O+K_2O)$$

oranı ile yumuşama sıcaklıkları arasında bir ilişki olduğunu gözlemlemiştir (Meyers, 1982)

Schaeffer külün bileşimi ile ergime sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi irdelemek için R ile tanımlanan başka bir oranı temel almıştır.

$$R= Al_2O_3 (Al_2O_3+SiO_2) / SiO_2 (FeO + 0.6(CaO+ MgO+Na_2O+K_2O))$$

Kunstmann, 24 Güney Afrika kömürünün külüne Nicholls ve Seving'in R formülü ile Schaeffer'in türettiği R formülünü uygulamış ve ikincisinin kullanımıyla, külün ergime sıcaklığı ile R arasında, daha net bir ilişki olduğu sonucuna varmıştır (Meyers, 1982).

Kömürün külünün kimyasal bileşimi ile erime sıcaklığı arasındaki ilişkiyi incelemek için bazı parametreler şunlardır (Thessen, 1945):

$$\text{Silika değerleri (\%)} = SiO_2 * 100 / (SiO_2 + Fe_2O_3 + CaO + MgO)$$

$$\text{Baz/Asit Oranı} = (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O) / (SiO_2 + Al_2O_3 + TiO_2)$$

$$\text{Silika/Alumina Oranı} = SiO_2 / Al_2O_3$$

$$\text{Demir Oksit/Kalsiyum Oksit Oranı} = Fe_2O_3 / CaO$$

$$\text{Dolomit (\%)} = (CaO + MgO) * 100 / \text{Toplam Baz}$$

$$\text{Demir Oksit/Dolomit Oranı} = Fe_2O_3 / (CaO + MgO)$$

Kömür külünün ergime sıcaklığı ile kimyasal bileşimi arasındaki ilişkiyi saptamak üzere çok çeşitli formüller türetilmiş olmasının nedeni, külün ergime sıcaklığının öncelikle kimyasal bileşimine bağlı olmasındandır. Kömürün külünün bileşimi geniş bir aralıkta değiştiğinden ergime özellikleri de önemli farklılıklar göstermektedir. Külün erime özelliklerinin deneysel olarak saptanması özel aletler gerektirdiğinden ve zaman kaybına neden olduğundan, bu özelliğin bazı formüller yardımıyla saptanması mühendislik açısından değerlidir.

### ***3.2.2 Kömür Külünün Yakma Sistemlerinde Yarattığı Sorunlar***

Yanma sonunda oluşan kül yakma sistemlerinde sorunlar yaratır. Bu sorunları azaltabilmek için kullanılan kömürün kül miktarına ilaveten kimyasal bileşimini ve erime özelliklerini de bilmek gerekir. Yakıldığı zaman bıraktığı kül miktarı az; fakat erime sıcaklığı düşük olan bir kömür, daha fazla kül bırakan; ancak külünün erime sıcaklığı daha yüksek olan diğer bir kömürden daha düşük bir verimle yakılabilir.

Kömürün külü yakma sistemlerinde erime eğilimi gösterdiğinden ve sıvı bir curuf oluşturduğundan kömürün yakıt olarak değerini önemli ölçüde etkiler. Kolay eriyen kül çeşitli sorunlar yaratır; erimiş curuf kütlesi içinde kalan yanmamış karbon yanma veriminin düşmesine neden olur. Klinkerin, erimiş veya yarı-erimiş kül, yada külü oluşturan mineral madde karışımı olduğu, klinkerleşme sorunu ortaya çıktığından beri bilinmektedir. Yakma sistemlerindeki ızgaraların hava geçişleri klinkerlerle tıkanırsa yanma verimi düşer ve baca kayıpları artar. Oluşan klinker yakma fırınının refraktör civarında eriyerek temizlenme sırasında mekanik hasar oluşmasına neden olabilir; daha önemlisi erimiş curuf refraktör malzemeyi etkileyip erimesine neden olabilir.

Himus (Himus, 1958), kömürleri küllerinin yakma sistemlerinde eriyebilirlikleri ve klinker oluşturma özelliklerine göre 3 gruba ayırmıştır:

Dayanıklı küller oluşturan kömürler: Bu tür kömürlerin külleri 1730 K'den daha yüksek sıcaklıklarda eridiklerinden klinker oluşum sorunu yaratmazlar.

Orta erirliğe sahip küller oluşturan kömürler: bu kömürlerin külleri 1473-1703 K arasında erir ve klinker oluşturma eğilimleri külün ergime sıcaklığı düştükçe artar.

Kolay eriyebilen külleri oluşturan kömürler: Bu gruba giren kömürlerin külleri 1313-1473 arasında erir ve tedbir alınmaz ise klinker oluşumu büyük sorun yaratır.

Kömür külünün erime özelliklerinin ve ölçme yöntemlerinin yoğun bir şekilde araştırılmasının nedeni, külün eriyebilirliğinin, klinker oluşma sorunu çıkıp çıkmayacağıının önceden tahmin edilebilmesinin oldukça güvenilir bir göstergesi olmasındandır. (Roask, 1985) Kömür külünün erime sıcaklığı ile klinker oluşumu arasında bir paralellik varsa, külün klinker oluşturup oluşturmayacağı çeşitli etkenlere bağlıdır. Bu etkenleri şu şekilde özetleyebiliriz.

- Kömürün içerdiği mineral maddenin dağılımı,
- Külün bulunduğu ortamın gaz atmosferinin bileşimi,
- Yakıtın yakıldığı yatağın en sıcak bölgesinde yakıt ile içerdiği mineral maddesinin ne ölçüde karışmış olduğu,
- Külün yüksek sıcaklığa maruz kaldığı süre,
- Yakma sisteminin tasarım özellikleri,
- Yakıt tabakasının kalınlığı,
- Yanma hızı.

Kömürün yanabilen kısmı yanıp uzaklaşınca, kül tanecikleri daha çok birbirlerine yaklaşırlar ve ızgarada az veya çok sinterleşmiş bir kısım oluştururlar ki bu sorun yaratmaz. Eğer yakma bölgesindeki sıcaklık külü eritecek kadar yüksek ise; fakat erimiş curufun viskozitesini curuf taneciklerinin yerçekimi etkisiyle yakıt yatağında aşağıya doğru göçmesini sağlayacak kadar düşürmeye yetecek kadar yüksek değilse, erimiş ve az hareketli bir curuf oluşur ve yakıt yakma bölgesinde aşağıya doğru indikçe büyük bir kütle oluşur. Eğer kömürün külü çok ise bu kütle hava akımını keser, veya en azından yanma veriminin düşmesine neden olur. Eğer, yakma sistemindeki sıcaklık yeterince

yüksek ise curufun viskozitesi küreciklerin kendi ağırlıklarının etkisiyle aşağıya doğru hareket etmelerini sağlayacak kadar düşer. Bu durumda kömür tanecikleri yanarken dış yüzeyde erimiş bir curuf küreciği oluşur ve yanma sürerken büyür; artan boyutu ve yakıt taneciğinin yüzeyinin küçülmesi nedeniyle de patlar ve aşağı akar; eğer bir engel ile karşılaşmaz ise ideal sonuca ulaşır; yani kürecik ızgara aralığından geçerek küllüğe ulaşır ve hemen donarak küçük camsı klinker oluşturur. Öte yandan, eğer aşağı doğru akmaya başlayan curuf küreciği ızgaraya ulaşmadan engellerle karşılaşır ve o bölgede sıcaklık düşük ise klinkerleşme olur.

Gray ve Moore (Gray, 1984), kül erime testinde gözlenen başlangıç deformasyon (IT) ve yarımküre sıvılıklarına (HT) dayanan bir curuf oluşturma indeksi ( $F_s$ ) teklif etmişlerdir.

$$F_s = (4IT + HT) / 5$$

Yazarlar kömür külünü bu indekse göre Tablo 3.4'deki gibi sınıflandırmışlardır.

Tablo 3.4 Külün curuf oluşturma indeksine göre sınıflandırılması

Curuf Oluşturma indeks sıcaklığı $F_s$ (K)	Yakıcıda curuf oluşturma özelliği
1505-1615	Orta
1325-1505	Yüksek
<1325	Şiddetli

Külün demir içeriği yüksek olan kömürler toz kömür yakma sistemlerinde şiddetli curuf oluşumuna neden olurlar.

Bir çok araştırmacı kömür külündeki bazik oksitlerin toplamının, asidik oksitlerin toplamına oranını, külün curuf oluşturma eğiliminin göstergesi olarak kullanmışlardır.

Ayrıca kömür külünün curuf oluşturma eğiliminin toz kömürdeki piritin miktarı ve tanecik boyutuyla da ilişkili olarak ifade edilebileceğini savunmuşlardır. Bu nedenle linyit ve yarı bitümlü kömürler için önemlidir. Çünkü pirit bu tür kömürlerde daha büyük tanecikler halinde bulunabilir; eğer pirit mineralleri toz kömür içinde küçük



boyutlarda ve silisli mineral madde içinde dağılmış durumda ise, aynı miktarda piritin daha büyük boyutlarda olduğu durumlardan daha az curuf oluşturur.

Kömür yakma sistemlerinde yüksek sıcaklıklarda küllerin sinterleşmesi veya aglomerasyonu görülmektedir. Sinterleşme ve aglomerasyon olayları iç içe geçen olaylardır. Bazen aynı anlamda, bazen ise küllerin koklaşması sürecinin ardışık iki aşaması olarak görülmektedir. Bu nedenle kesin çizgilerle birbirinden ayrılmaları mümkün değildir.

Aglomerasyon, kül taneciklerinin birbirine yapışarak daha büyük bir kütleye dönüşmesi olayıdır. Oluşan kütlelerin özellikleri, kömürün özellikleri ile çalışma koşullarına bağlı olarak değişebilmektedir. Buna bağlı olarak, aglomere kütle bazen bir darbeye kolaylıkla dağılabilmekte, bazen de oldukça sağlam bir fiziksel yapıya sahip olmaktadır. Bazı Türk linyitlerinin kükürt, alkali metal (sodyum, potasyum gibi) içeriklerinin yüksek olması bunların aglomerasyon sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır (Ch Goni etc, 2003). Bu anlamda düşük kül sinterleşme sıcaklığı ve yüksek ayrışma eğilimi aşılması gereken önemli bir sorundur.

Aglomerasyon temel olarak, taneciklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Aglomerasyon eğilimi taneciklerin temas yüzeylerinin büyüklüğü ve birbirini çekme özellikleri ile orantılıdır (Ch Goni etc, 2003). Taneciklerin hareketliliği arttıkça bu eğilim azalmaktadır. Yapılan çalışmalarda kömürlerin anorganik yapısı ile aglomerasyon özellikleri arasında güçlü bir ilişkinin bulunduğu konusunda yaygın bir görüş bulunmuştur. Kömürlerin içerdiği anorganik bileşiklerin eriyerek yüzeye ulaşmasıyla aglomerasyonun başladığı bilinmektedir (Estep, 1934).

Bu olay birbirinden farklı çeşitli aşamalardan geçerek gerçekleşir. Aglomerasyon taneciklerin teması ve yüzeyler arasında oluşan bağların büyümesi ile başlar ve taneciklerin birbirine yapışarak gözenekli bir ağ yapısı oluşturmasıyla son bulur. Zaman içinde, taneciklerin arasındaki bağlar gittikçe güçlenir ve yoğunlaşır. İç kısımlarda kalan gözenekler kapanır ve bağlar büyüyerek partikülün yapısını tamamen değiştirir. Sonunda kütle sürekli, yoğun bir materyal haline dönüşmektedir.

Aglomerasyon olayının üç temel mekanizmaya göre gerçekleştiği belirtilmektedir.

Kısmi ergime, Kısmi ergime ve viskoz bir sıvının oluşumu, Kimyasal reaksiyon.

Kısmi ergime, reaktif sıvı sinterleşmesi olarak da tanımlanmaktadır. Kül partiküllerinin içerdiği mineral maddelerin kısmi ergimesiyle sıvı faz oluşmakta ve bu faz taneciklerin birbirine yapışması sürecini başlatmaktadır. Sıvı fazın miktarı, taneciklerin yapışkanlık özelliklerini ve kuvvetini belirler. Ortamda yeterince sıvı varsa tanecikler birbirine yapışır, başka bir ifadeyle aglomerasyon başlar (Rogers, 1928)

Kısmi ergime esnasında meydana gelebilecek kül aglomerasyonun derecesi, kömürün (kül) içerdiği inorganik maddenin faz denge hesaplaması ile tahmin edilebilir (Rogers, 1928). Sodyum, kükürt ve klorür yönünden zengin kömürlerin yakıldığı ortamda külün kolayca ergimesi sebebiyle aglomerasyon gerçekleşebilmektedir. Yapılan yanma çalışmalarında sodyum ve sülfürlerin külün ergiyip kazan yüzeylerinde birikmesine ve bu taneciklerin yapışkan bir özellik kazanmalarına neden oldukları gözlenmiştir.

Viskozite hem camsı fazın kimyasal kompozisyonunun hemde sıcaklığın bir fonksiyonu olduğundan dolayı, bu faktörler viskoz akış sinterleşmesini kontrol eder. Aglomerasyona neden olan diğer bir mekanizma anorganik yapıda kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesidir. Bu kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşan ve ergime sıcaklıkları düşük olan bileşikler, tanecikler arasında köprücüklerin kurulmasına ve büyümesine ortam hazırlamaktadır. SO<sub>2</sub> uzaklaştırılması amacıyla kullanılan kireç taşının yakma sistemlerinde curuf oluşumu esnasında partikül-partikül sinterleşmesini arttırdığı bununda SO<sub>2</sub> atmosferinde CaO bakımından zengin küldede gerçekleşen çeşitli reaksiyonlara bağlı olarak gerçekleştiği açıklanmıştır (Rogers, 1928).

Aglomerasyon konusu, birçok araştırmacı tarafından geniş bir şekilde değerlendirilmiştir. Kullanılan malzemenin özelliklerinin yanısıra, taneciklerin yüzey alanı ve sıcaklıkları da, aglomerasyonun ortaya çıkıp gelişmesinde rol oynadığı bilinmektedir. Yine yüksek sıcaklıklarda mineral maddelerin eriyerek yüzeye ulaşması sonucu, yapışkan bir özellik kazanan taneciklerin aglomerasyona neden olduklarını ileri

sürülmektedir. Ayrıca düşük sıcaklıklarda bile oluşabilecek ötektik noktalar vasıtasıyla, yarı kok ve kül taneciklerinin birbirine yapışmalarını ve yakılan kömürlerde yüksek oranda Na ve K tuzlarının bulunmasını, aglomerasyonun diğer nedenleri olarak görülmektedir. Yapılan pek çok çalışmada  $\text{Na}_2\text{O}$  oranının artması aglomerasyonu hızlandırdığı belirlenmiştir. Ayrıca linyitin tane büyüklüğü arttıkça, linyitin cinsi ve çalışma koşullarına bağlı olarak aglomerasyon sıcaklığı sınırlı bir oranda artmaktadır.

Linyitlerin yanması konusunda yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, linyit bünyesinde bulunan  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$ 'un aglomerasyon eğilimini arttırdığını göstermiştir.

Skrifvars vd. CaO bakımından zengin kömür külünün normal koşullarda, 1173 K (899 C°) olarak saptadıkları sinterleşme sıcaklığını 873 K'e (599 C°) düşüğünü saptamıştır (Lawrence vd., 2008).

Huffman ve arkadaşları oldukça geniş bir mineral aralığına sahip bir kömürün küllerinin yüksek sıcaklık davranışlarını incelemişler ve külün indirgeyici atmosferde küllerin ergime sıcaklığının 200-400 K kadar düşüğünü saptamışlardır (Lawrence vd., 2008).

Kül ergime sıcaklığı ile aglomerasyon sıcaklığı arasında bir paralellik olmasına rağmen külde kısmen ergimenin ASTM kül ergime sıcaklıklarının oldukça altındaki sıcaklıklarda meydana geldiği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalarda külün başlangıç deformasyon sıcaklığının oldukça altındaki sıcaklıklarda sinterleşmenin başladığını saptamışlardır. Aglomerasyonun ortaya çıkmasını etkileyen birçok faktör olmasına karşın, bu olayı büyük ölçüde kömürün anorganik yapısının özelliklerinden kaynaklandığı bilinmektedir. Özellikle külün ergime sıcaklıkları ve yapısı önemli rol oynamaktadır.

## BÖLÜM DÖRT

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR ve BULGULARIN İRDELENMESİ

#### 4.1 Malzeme

##### 4.1.1 Numune Alma

Bu çalışmada kullanılan uçucu kül, kömür ve kazan içi curuf numuneleri; Soma Termik Santrali, Yatağan Termik Santrali, Yeniköy Termik Santrali, Kemerköy Termik Santrali ve Çatalağzı Termik Santrallerinden alınmıştır.

Uçucu kül numuneleri elektro filtre alt çıkışlarından, kömür numuneleri ise Yeniköy ve Kemerköy Termik santrallerinde kazana beslenecek mevcut öğütülmüş kömür numunesi olarak değirmen çıkışı numune alma haznesinden; Soma, Yatağan ve Çatalağzı Termik santrallerinde ise bunker altı değirmen girişinden yöntemine uygun olarak alınmıştır.

Curuf numuneleri ise termik santrallerin kazan içi temizlikleri yapılırken kazan içerisine girilerek farklı kotlardan alınmıştır.

Santrallerde numuneler hiçbir hazırlama işlemine tabi tutulmamış olup direkt olarak Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirilmiştir. Uçucu küllere son ürün olduğu için herhangi bir numune hazırlama işlemi yapılmamıştır.

##### 4.1.2 Numune Hazırlama

Alınan uçucu kül örneklerine herhangi bir fiziksel işlem yapılmaksızın yöntemine uygun olarak numune azaltma işleri uygulanmış ve 100'er gr lık ağız kapaklı kalın naylon poşetlere havaları alınarak koyulmuş ve deneylerde kullanılmak üzere saklanmıştır.

Yeniköy ve Kemerköy Termik santrallerinden alınan kömür numuneleri uçucu kül örneklerinde olduğu gibi hazırlanmış olup Soma, Yatağan ve Çatalağzı Termik santral kömürleri ise hazırlama işlemlerinden sonra kullanılmıştır. Alınan kömür numuneleri kimyasal analiz ve yakma testleri için uygun boyutlara getirilmiştir. Bu aşamada ortalama 2-10 cm boyutları arasındaki kömür numuneleri ilk olarak çıkış açıklığı 5 mm'ye ayarlanan laboratuvar tip büyük çeneli kırıcıdan geçirilmiştir. Daha sonra kül ergime testlerine hazırlık için -0,5 mm çıkış açıklıklı haçlı kırıcıda kırılmıştır. Kırılan tüm kömür numuneleri homojenleştirme işleminden sonra deneylerde kullanılmak üzere numune bölücüden geçirilerek ağızları sıkı bir şekilde kapatılarak 250'şer gramlık kalın ağzı kapaklı naylon torbalara koyularak havası alındıktan sonra poşetlenmiştir. Gerekli zaman bu numuneler termik santrallerde kazanda yakılan kömür boyutuna getirilmek üzere şarj oranı %30 olan laboratuvar tipi çubuklu değirmende 90 dev/dk. hızda kapalı devre olarak öğütme testlerine tabi tutulmuştur. Öğütme testleri sonucunda, her santralde kullanılan kömürün tane boyut dağılımına en yakın tane boyut dağılımını veren süre seçilmiştir. Bu numuneler, belirlenen sürelerde deneylerde kullanılmak üzere 2'şer kg olmak üzere öğütülmüş ve fiziksel, kimyasal analizlerde kullanılmak üzere torbalanarak etiketlenip stoklanmıştır.

Soma Termik Santrali, Yatağan Termik Santrali, Yeniköy Termik Santrali ve Kemerköy Termik Santrali kazan içerisinden alınan curuf numunelerine herhangi bir boyut küçültme işlemi yapılmadan poşetlenmiş, numuneler daha sonra kimyasal ve mineralojik testlerde kullanılmak üzere yöntemlerine uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlanan her numune birbirlerini ve alınan asıl numuneyi temsil edecek şekilde azaltılmıştır. Bu işlem daha sonra yapılacak testlerin uyumluluğu için çok önemlidir.

#### **4.2 Metod ve Test Yöntemleri**

Kullanılacak malzemelerin kimyasal ve mineralojik yapısını belirlemek üzere numuneler bir dizi kimyasal ve mineralojik analizden geçirilmiştir. Bu bölümde söz konusu analizler sırasında uygulanan yöntemlerin ayrıntıları sunulmaktadır.

İlk olarak deneylerde kullanılacak malzemelerin tane boyutlarını belirlemek üzere numuneler boyut analizlerine tabi tutulmuştur. Elek serileri ASTM standartlarına göre üretilmiş eleklerden seçilmiştir.

#### ***4.2.1 Kimyasal Analiz Yöntemleri***

Küllerin element analizi için boyut analizleri yapılan malzemelerin her fraksiyonundan numuneler alınarak, analiz boyutu olan 100 µm boyutuna öğütülmüştür. Daha sonra platin kroze içerisine yaklaşık 0.25 g örnek tartılarak üzerine 3 g lityum tetraborat ilave edilmiş ve 1100°C'de, 1.5 saat fırında erimeye bırakılmıştır. Fırından çıkarılan krezeler desikatörde soğutulduktan sonra üzerine %10'luk 100 ml HCl ilave edilerek manyetik karıştırıcı yardımıyla cam beher içerisinde çözülmüştür. Çözelti balon jojeye boşaltılarak 250 ml'ye tamamlanmış ve AnayltikJenaAG novAA 330 model atomik absorpsiyon spektrometresinde element derişimleri belirlenmiştir.

Malzemenin kükürt (S) içeriğinin belirlenmesi için rutin gravimetrik kükürt analizi yapılmıştır.

Kullanılmış olan linyit numunelerine ait ASTM standartlarına uygun olarak; nem (ASTM Standart-D3173-73), uçucu madde (ASTM Standart-D3175-77), kül (ASTM Standart-D3174-73) ve ısıl değer (ASTM Standart-D2015-66) tayinleri yapılmıştır.

Deneylerde kullanılan kömür numuneleri ise, önce 800 °C'de kül haline getirilmiş daha sonra yukarıdaki yöntem kullanılarak kimyasal analizi yapılmıştır. Bu durumda, kimyasal analiz sonuçları, kömürdeki element içeriğini verecek şekilde kül yüzdesine bölünerek sunulmuştur.

#### ***4.2.2 Mineralojik Analiz Yöntemleri***

Kömür ve kül örneklerinin X-Ray difraksiyon ve flouresans analizleri bölümümüze ait X-Ray laboratuvarında bulunan Jeol marka JSDX-100 X-ray Difraksiyon Spektrometresinde yapılmıştır. Bunun için malzeme analiz boyutu olan 100 µm tane

boyutuna öğütülmüştür. Difraksiyon için toz örnek cam aparat üzerine yerleştirilmiş, floresans analizi için ise toz örnek alüminyum halka içine yerleştirilerek preslenmiş ve pelet numune ile analiz gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri 32 kVolt, 22 mA'de Nikel filtre kullanılarak, XRF analizlerinde ise 50 kVolt, 32 mA'de EDDT, Lif, RbAp kristalleri kullanılarak yapılmıştır.

Kazan içinden alınan curuf numunelerinin XRD analizleri ise DEU Müh. Fakültesi Malzeme-Metalurji Bölümü'ne Rigaku D/Max-2200/PC marka X-Ray cihazında tesbit edilmiştir.

Numunelere ait mikroskopik görüntüler, Olympus SZ61 marka, 20x objektife sahip binoküler mikroskop ile SEM görüntüleri ise Jeol JXA-733 Superprobe kullanılarak elde edilmiştir.

DTA/TG Analizleri Kale Maden End. Ham. San. ve Tic. A.Ş'ne ait laboratuvar cihazıyla yapılmıştır. Ayrıca ergime testlerini desteklemek ve kontrol amaçlı ısl mikroskop çalışmaları da yine Kale Maden End. Ham. San. ve Tic. A.Ş'ne ait ısl mikroskop tarafından yapılmıştır.

#### **4.2.3 Test Yöntemleri**

##### *4.2.3.1 Mineral Madde Tayini*

Mineral madde tayini İSO-602 standartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu analiz yönteminde kömür numunelerinin inorganik kısmının klorür ve florür asidi çözeltileri kullanılarak ekstrakte edilmesi esas alınır.

Tanecik boyutu 250 mikronun altına indirilen 4 gr'lık numune 600 ml'lik kapaklı bir behere koyulur ve üzerine 40 ml 5 N klorür asidi ( $d=1.09$  g/ml, 5N) çözeltisi ilave edilerek 328-333 K de tutulan bir su banyosu üzerinde 45 dakika bekletilir. Bu süre sonunda her 5 dakikada bir karıştırılır. Sonra beher su banyosu üzerinden alınarak sıvı ve kömür fazlarının birbirlerinden ayrılması için 10 dakika bekletilir ve çözelti nuçe erleni ile siyah bantlı süzgeç kağıdı kullanılarak süzülür. Filtre edilen kömür, yaklaşık

100 ml sıcak saf su ile yıkanır ve 373 K deki havalandırılmalı bir etüvde kurumaya bırakılır. Kömür, kurumuş süzgeç kağıdının üzerinden dikkatlice alınarak behere konur ve üzerine 40 ml florür asidi çözeltisi ilave edilerek su banyosu üzerinde 45 dakika bekletilir. Yukarıda anlatıldığı şekilde tekrar süzme, yıkama ve kurutma işlemleri yapılır. Süzgeç kağıdı üzerinden alınan kömür, 50 ml 10 N klorür asidi ( $d=1.18$  g/ml, 10N) çözeltisi ile birlikte behere konularak 45 dakika su banyosu üzerinde bekletilir. Kömür-asit çözeltisi karışımı nuçe erleni ile siyah bantlı süzgeç kağıdı kullanılarak süzülür ve yıkama suyunun pH'ı yaklaşık 7 olana kadar sıcak su ile yıkanır. Daha sonra, filtre edilmiş kömür 373 K deki havalandırılmalı etüvde kurumaya bırakılır, kurumuş kömürün topaklanmış kısımları giderildikten sonra etüvden çıkarılıp tartımı alınır.

Numunenin % mineral madde içeriği aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanır;

$$M.M(\%) = \frac{M_1 - M_2 + HCl + 1,1 * A}{M_1} * 100$$

M.M= % mineral madde içeriğini

$M_1$ = Orjinal kömür numunesi miktarını

$M_2$ = Ekstrasyon sonunda elde edilen kömür numunesi miktarını

HCl= Ekstrakte edilen kömür numunesinin bünyesinde tuttuğu klorür asit miktarını

A= Ekstrakte edilen kömür numunesinin içerdiği kül miktarını göstermektedir.

#### 4.2.3.2 Kül Ergime Testleri

Kül ergime sıcaklığı standart testi kömür küllerinin kazanlarda curuflaşmanın ölçümü için geliştirilen bir yöntemdir. Pulverize yakma sistemlerindeki kömür taneciklerinin maruz kaldığı ısı zaman ilişkisi nedeniyle her zaman AFT doğru olarak öngörülemez. AFT testi ölçümden daha çok gözlem amaçlı yapılır (Lawrence, 2007).

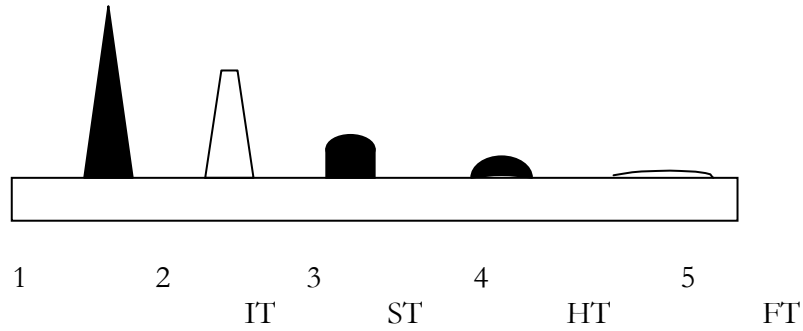


Kömür numunelerinin küllerine ve uçucu kül numunelerine uygulanan ergime testleri Eurotherm 818/XF5 sıcaklık kontrolü ayarlanabilen bir fırında Australian Standard AS 1038.15-1995'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir (Juniper, 2000)

Cihaz maksimum 1800 °C'ye kadar  $\pm 5$  °C hassasiyette çalışabilmektedir. Kül numuneleri için 4 kritik sıcaklık saptanmaya çalışılmıştır.

- Başlangıç deformasyon sıcaklığı (IT)
- Yumuşama sıcaklığı (ST)
- Yarım-küre sıcaklığı (HT)
- Akma sıcaklığı (FT)

Elek açıklığı 0.25 mm olan eleğin altına geçen kül numunelerinden hazırlanacak olan piramit için gerekli miktarda alınarak birkaç damla %10'luk dekstrin çözeltisi ile nemlendirilir. Filtre edilmiş olan dekstrin çözeltisi berraktır ve içinde %0,1 derişiminde salisilik asit içermektedir. Bu asit şekil koruyucu olarak görev yapmaktadır. Nemlendirilmiş kül numuneleri hazırlanan kalıbın içine düzgünce yerleştirilip, dikkatlice kalıp çıkarılmıştır. Numune düz bir tabaka üzerine yerleştirilmiş ve sıcaklık dakikada 8 °C arttırılarak kül numunesinin kritik sıcaklıkları kaydedilmiştir



Şekil 4.1 Kül erime testi kritik sıcaklıkları

*Başlangıç deformasyon sıcaklığı:* Piramit şeklindeki numunenin tepesinde ilk yuvarlaklaşmanın görüldüğü sıcaklıktır. Piramidin tepesi sivri kaldığı sürece görülen büzülme ve eğrilme ihmal edilir. Şekildeki birinci koni numunenin başlangıç

durumunda, ikinci ise başlangıç deformasyon sıcaklığındaki tipik bir koninin görüntüsünü vermektedir

*Yumuşama sıcaklığı:* Kül piramidin eriyerek küresel bir yığın oluşturduğu sıcaklıktır ve yükseklik taban genişliğine eşittir.

*Yarım-küre sıcaklığı:* Kül piramidin eriyerek yarım-küre şeklinde bir yığın oluşturduğu sıcaklıktır ve yükseklik taban genişliğinin yarısına eşittir.

*Akma sıcaklığı:* Erimiş kütlenin yayılarak en fazla 1.6 mm yüksekliğinde düz bir tabaka oluşturduğu sıcaklıktır (Juniper, 2000)

Kömür külünün erime sıcaklığı yakma sisteminin tasarımında ve işletme sırasında, değerlendirmeye alınırken önemlidir. Bu nedenle kömür külünün kimyasal bileşimi ile ergime sıcaklığı arasındaki ilişkiyi saptamak üzere çok çeşitli formüller türetilmiştir.

$$R1 = \text{SiO}_2 * 100 / (\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO})$$

$$R2 = \text{Al}_2\text{O}_3 (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / \text{SiO}_2 (\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.6(\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}))$$

$$R3 = (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)$$

$$R4 = (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$R5 = \text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$$

$$R6 = \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2$$

$$R7 = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$$

$$R8 = \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$$

$$R9 = \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$$

$$R10 = \text{Fe}_2\text{O}_3 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$$

$$R11 = \text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$$

$$R12 = (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{CaO} + \text{MgO})$$

Kömür külünün ergime sıcaklığı ile kimyasal bileşimi arasındaki ilişkiyi saptamak üzere çok çeşitli formüller türetilmiş olmasının nedeni, külün ergime sıcaklığının öncelikle kimyasal bileşimine bağlı olmasındandır. Kömürün külünün bileşimi geniş bir aralıkta değiştiğinden ergime özellikleri de önemli farklılıklar göstermektedir

Küllerinin curuflaşma eğilimlerini belirlemek için türetilmiş bu indekslerden en çok kullanılanları aşağıda verilmiştir.

$$\text{Silika Modülü} \quad \text{Silika \%} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}} * 100$$

Bu değerin %86'nın üzerinde olması istenir. Altında olduğu zaman curuflaşma riski artmaktadır.

$$\text{Asit Baz Oranı} \quad \text{B/A} = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2}$$

Bu oranın 0,11 den küçük olması istenir. Eğer yüksek olursa yine kömür külünün curuflaşma eğilimi yüksektir.

$$\text{Curuf İndeksi} \quad \text{Curuf İndeksi, Rs} = \text{kuru S\%} \times \text{B/A} \quad (\text{Gray ve Moore, 1984})$$

Bu oranın 0,6 nın üzerinde olmaması istenir.

Ayrıca kömür külü içerisindeki  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  oranının % 6'dan küçük olması istenmektedir.

Gray ve Moore , kül ergime testinde gözlenen başlangıç deformasyon (IT) ve yarımküre sıcaklıklarına (HT) dayanan bir cüruf oluşturma indeksi (Fs) teklif etmişlerdir.  $\text{Fs} = (4\text{IT} + \text{HT})/5$

Bu tez kapsamında yukarıda özetlenen analiz metotları ve test yöntemleri kullanılmıştır. Elde edilen bulgular ve değerlendirilmesi aşağıda ilgili bölümlerde verilmektedir.

### 4.3 Deneysel Bulgular ve Değerlendirilmesi

Termik santrallerde yakılacak olan kömürün yanma profilinin bilinmesi oluşacak problemlerin önlenmesi için mutlaka gereklidir.

Kömürün termik santrallerde kullanımında, kömür külünün elementer bileşimi, kazan içerisindeki curuflaşma oranını ve curuf oluşum mekanizmasını etkileyen önemli bir faktördür.

Pek çok araştırmacı, ergime noktasını etkileyen kömürün külünü oluşturan sekiz ana oksit olduğunu rapor etmişlerdir (Seggiani M, 1999, J.C. van Dyk, 2005). Bu oksitler kendi aralarında genel olarak üç gruba ayrılmaktadır; asit oksitler, bazik oksitler, amfoterik oksitler. Asit oksitler olarak  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$  ve  $\text{P}_2\text{O}_5$  alınırken, bazik oksitler olarak  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  ve  $\text{MnO}$ , amfoterik oksit olarak  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  alınmaktadır. Ancak iki grupta toplanırsa  $\text{Al}_2\text{O}_3$  asit oksit,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ise bazik oksit olarak sınıflandırılmıştır (Seggiani M, 1999, Alpern B, 1984). Bazik oksitlerin asit oksitlere oranı baziklik derecesi olarak tanımlanmaktadır. Baziklik derecesi arttıkça, kömür külünün ergime derecesi düşmekte dolayısıyla da curuflaşma problemi artmaktadır. Bu nedenle, curuflaşma problemini azaltmak için asit oksit oranlarının yüksek olması istenmektedir. Ayrıca kükürt oranı ve kömür külündeki  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  curuflaşma riskinin artması açısından önemli rol oynamaktadır. Demir içeriği yüksek olan kömür külleri toz kömür yakma sistemlerinde şiddetli curuf oluşumuna neden olurlar.

Kazan içerisinde curuf oluşum mekanizması sadece ergimeyle ilgili değildir. Asılma olarak tabir edebileceğimiz kuru yapışma sonucu da kazan içerisinde kül birikmesi olmaktadır. Burada en önemli etken kuru yapışmayı kolaylaştıran alkali (Na ve K) ve kazan içerisinde redükleyici ortam olduğu zaman buharlaşan demirli bileşiklerin varlığıdır. Na, K ve Ca ergime derecesini düşürdüğü gibi aynı zamanda silis ve silikatlı bileşiklerle de reaksiyona girerler. Bunların az veya çok olmasının yanında, reaksiyona girdiği elementlerin oranı da önemlidir. Örneğin, ergime derecesi  $1700\text{ }^\circ\text{C}$  civarında olan silika, potasyum silikata dönüştüğünde ergime derecesi  $750\text{ }^\circ\text{C}$ 'a kadar düşebilmektedir.

Birçok araştırmacı kömür külündeki bazik oksitlerin toplamının, asidik oksitlerin toplamına oranını, külün curuf oluşturma eğiliminin göstergesi olarak kullanmışlardır. Daha önce de belirtildiği gibi kül ergime testleri kömürün yanma karakterizasyonu konusunda bilgi edinmemizi sağlar. Kül ergime testleri ile külün başlangıç deformasyon

sıcaklığından curuf haline gelene kadar olan aşamaları saptanabilir. Ancak bu testler tek başına termik santrallerde yanma performansı konusunda yeterli olmamaktadır (Olsen, 1999). Yapılan pek çok çalışma göstermektedir ki kül ergime sıcaklığını kömürün kimyasal ve mineralojik kompozisyonu önemli ölçüde etkilemektedir.

Bu tez çalışmasında Ege Bölgesi sınırları içerisinde yer alan Kemerköy, Yeniköy, Yatağan ve Soma Termik santrallerinde mevcut olan curuflaşma problemlerinin sebepleri ve bu problemlerin önlenmesine yönelik deneysel çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalara geçmeden önce aşağıda maddeler halinde kısaca izlenen yol verilmektedir.

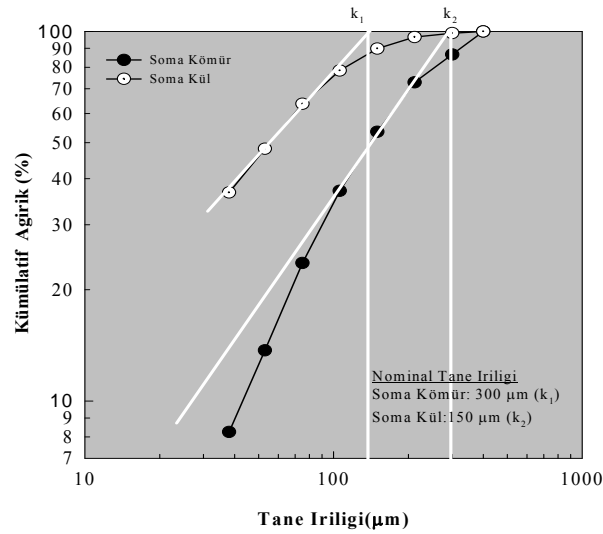
- Santrallerden numune alma bölümünde anlatıldığı üzere elektro filtre çıkışlarından kül, değirmen çıkışları ve bunker altından kömür ve kazan içerisinden farklı kotlardan curuf numuneleri alınmıştır.
- Uçucu kül ve kömür numunelerinin tane boyut dağılımları, özgül yüzey alan ve spesifik yoğunluk testleri, binoküler mikroskop ve elektron mikroskop (SEM) çalışmaları yapılarak numunelerin fiziksel karakterizasyonu belirlenmeye çalışılmıştır.
- XRD-XRF ve EDS analizleri ile numunelere ait mineralojik karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır.
- Uçucu kül, kömür ve kazan içi curuf numunelerinin kimyasal kompozisyonlarının tespiti için yaş kimyasal analiz yapılmıştır.
- Uçucu kül numunelerinin başlangıç tutuşma sıcaklıklarının ve kütle kaybının tespiti için Eşzamanlı Termogravimetrik Analiz ve Diferansiyel Termal (TGA/DTA) analizleri yaptırılmıştır.
- Kömür numunelerine ait mineral madde miktarı belirlenmiş ve curuflaşmaya olan etkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.
- Uçucu kül ve kömür örneklerine kül ergime testleri yapılmış, santralden

alınan kül örneğinin ve kömür külünün ergime dereceleri aralarında farkların olup olmadığı araştırılmış elde edilen sonuçların curuflaşma üzerine nasıl etki edebileceği konusu araştırılmıştır.

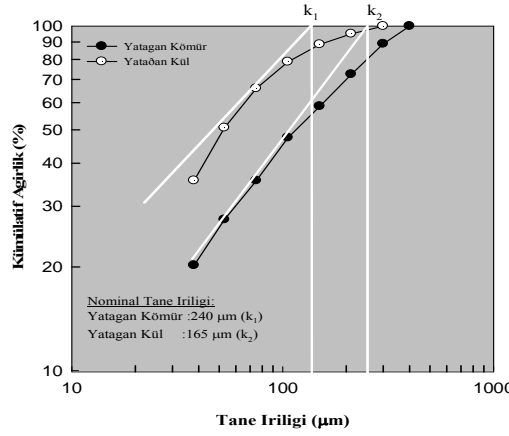
- Kömür küllerine ilave başka mineraller ve kömür külü örneği karıştırılarak ergime noktaları tayin edilmiş, kimyasal kompozisyonlarına ve ergime derecelerinin değişimine göre curuflaşma üzerindeki değişiklikler hesaplanan indekslere göre saptanmaya çalışılmıştır.
- Kazan içi profilinin çıkarılabilmesi için termik santral kazan içlerinden numuneler alınmış ve bu numunelerin kimyasal ve mineralojik kompozisyonları tespit edilmiştir.
- Tüm yapılan analizler sonucunda termik santral kazan içi curuflaşma sorunu ve uygulanabilecek öneriler hakkında değerlendirme yapılmaya çalışılmıştır.

### 4.3.1 Fiziksel Karakterizasyon

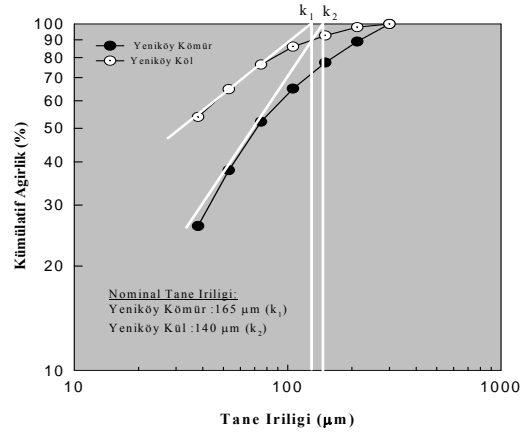
#### 4.3.1.1 Uçucu Kül ve Kömür Numunelerinin Tane Boyut Dağılımları



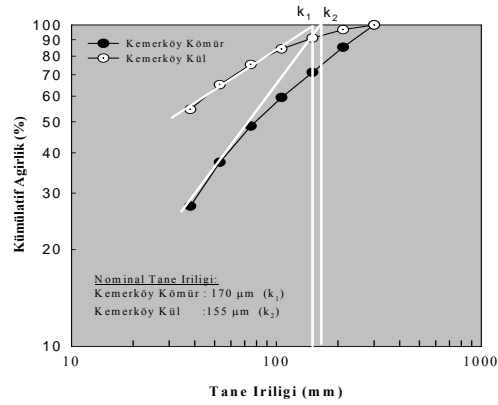
Şekil 4.2 Soma Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)



Şekil 4.3 Yatağan Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)



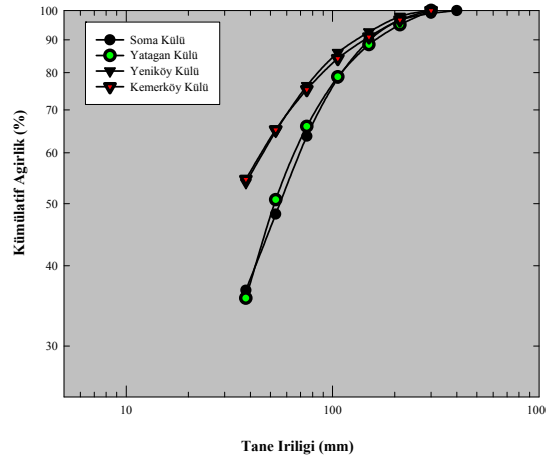
Şekil 4.4 Yeniköy Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)



Şekil 4.5 Kemerköy Termik Santrali Kömür ve Külünün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)

Termik santral kömür ve elektro filtre alt çıkışlarından alınan uçucu küllerin tane boyut dağılımlarına baktığımızda termik santral kömürlerinin sırasıyla nominal elek altı oranlarının (k değerleri) 300  $\mu\text{m}$ , 240  $\mu\text{m}$ , 145  $\mu\text{m}$  ve 170  $\mu\text{m}$  olduğu, küllerin ise 150  $\mu\text{m}$ , 165  $\mu\text{m}$ , 140  $\mu\text{m}$ , 155  $\mu\text{m}$  olduğu görülmektedir.

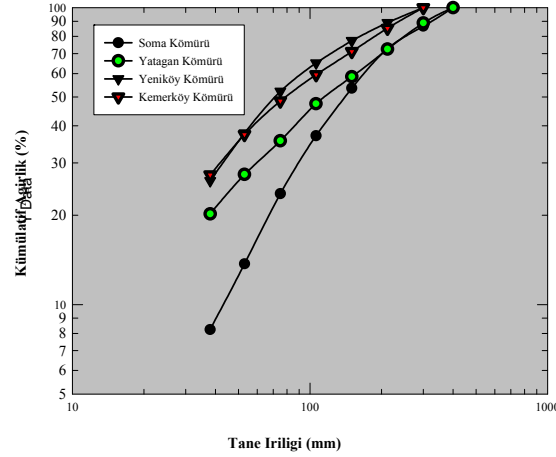
Şekil 5.6 ve 5.7’de termik santral uçucu kül ve kömürlerine ait boyut dağılımları karşılaştırılmıştır. Buna göre Soma ve Yatağan termik santral elektro filtre alt çıkışlarından alınan uçucu küllerinin boyutlarının yaklaşık %40-45’inin 45  $\mu\text{m}$ ’nin altında olduğu, Yeniköy ve Kemerköy termik santral uçucu küllerinin ise yaklaşık %60-65’inin 45  $\mu\text{m}$ ’nin altında olduğu görülmektedir. Bu tane boyutları literatürle karşılaştırıldığında Bayat’ın (Bayat, 1998) Türkiye uçucu küllerinin karakterizasyonu üzerine yazdığı makale ile, Townsend ve Hodgson’un İngiliz kömür külleri üzerine yaptığı çalışmalar sonucunda elde ettikleri sonuçlar ile örtüşmektedir (Townsend ve Hodgson, 1978). Santraller arasındaki tane boyut dağılımlarındaki farklılık, beslenen kömür boyutlarındaki farklılıklardan kaynaklanmış olabileceği gibi kömürün bünyesindeki mineral maddenin sistem içerisindeki yanma koşullarından veya elektro filtrelerin toz tutma verimliliklerinden de kaynaklanmış olabilir.



Şekil 4.6 Termik Santral Küllerinin Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)

Şekil 5.7’ye baktığımızda Soma termik santral kömürünün yaklaşık %10-12’si, Yatağan termik santral kömürünün yaklaşık %22-24’ü, Yeniköy ve Kemerköy termik santral kömürünün %35-40’ı 45  $\mu\text{m}$ ’nin altındadır.





Şekil 4.7 Termik Santral Kömürün Boyut Dağılımı ve Nominal Elek Altı Değerleri (k)

Pulverize yakma ile elektrik üreten termik santrallerde genelde yanma veriminin iyi olması için öngörülen tane boyutu 90 mikronun altındadır. Kemerköy ve Yeniköy Termik santrallerinden değirmenden çıkışından alınan kömür numuneleri ve Soma, Yatağan santrallerinden edinilen değirmenden çıkış ürünlerinin bilgileri değerlendirildiğinde bu boyut dağılımının yanma öncesinde iri kaldığı görülmektedir. Bu sebeple santrallerde yanma sırasında problem oluşturduğu düşünülmektedir.

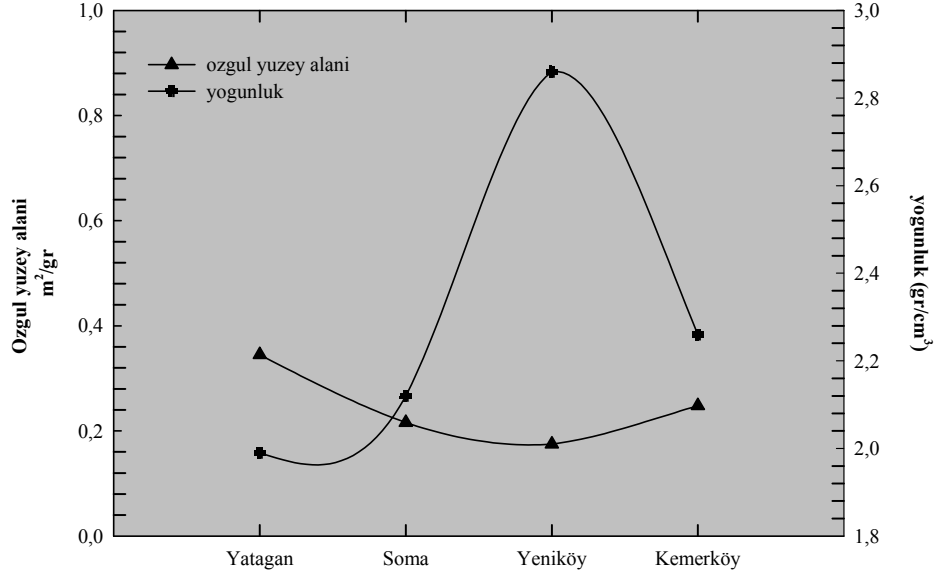
#### 4.3.1.2 Özgül Yüzey Alan ve Spesifik Yoğunluk Testleri

Yapılan özgül yüzey alan ve spesifik yoğunluk testleri sonuçları Tablo 2'de verilmiştir. Görüldüğü gibi küllerin spesifik yoğunlukları 1,99-2,86 g/cm<sup>3</sup> arasında, özgül yüzey alanları ise 0,175-0,345 m<sup>2</sup>/gr arasında değişmektedir.

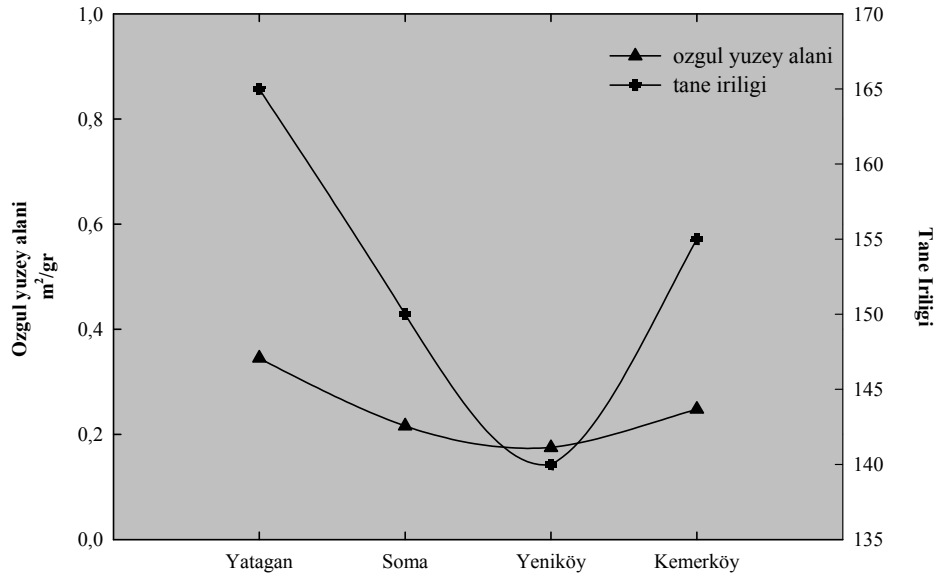
Tablo 4.1 Termik Santral Uçucu Kül Numunelerinin Özgül Yüzey Alan ve Spesifik Yoğunlukları

Uçucu Örnekleri	Kül	Özgül Yüzey Alan (m <sup>2</sup> /gr)	Nominal Altı (µm)	Elek	Spesifik Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
Yatağan		0,345	165		1,99
Soma		0,216	150		2,12
Yeniköy		0,175	140		2,86
Kemerköy		0,248	155		2,26

Özgül yüzey alan ölçümleri ELE marka Rigdens Flowmeter EL38-0500 Blain cihazı ile yoğunluk testleri ise piknometre ile yapılmış ve elde edilen ölçümler hesap yoluyla bulunmuştur. Her bir ölçüm en az üç defa tekrarlanmıştır.



Şekil 4.8 Yoğunluk-Özgül yüzey alan ilişkisi



Şekil 4.9 Tane İriliği-Özgül yüzey alan ilişkisi

Şekil 8 ve 9'dan görüldüğü üzere özgül yüzey alanı arttıkça numunenin yoğunluğu azalmış ve tane boyutu artmıştır. Tane boyutu azaldıkça yoğunluk artmıştır. Yoğunlukların farklı olması partikül boyutu farklılıklarından, uçucu kül partikülleri içindeki boşlukların hacminden kaynaklanıyor olabilir.

#### 4.3.1.3 Uçucu Kül ve Kömür Numunelerinin Mikroskop Analizleri

##### 4.3.1.3.1 Binoküler mikroskop.

Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy Kül numuneleri, numune hazırlama yöntemlerine uygun olarak hazırlandıktan sonra temsili numuneler alınmış ve bu numuneler üzerinde Olympus SZ61 marka, 20x objektifli binoküler mikroskop ile fotoğrafları çekilmiştir.

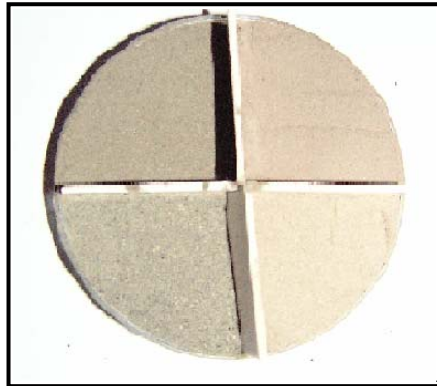
Dört ayrı termik santralden alınan kül numuneleri renklerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir.

Soma termik santral külü gri,

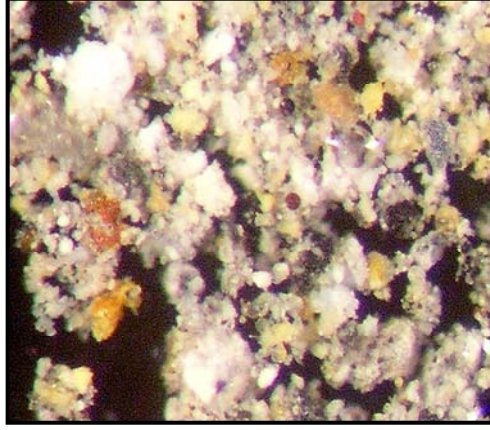
Yatağan termik santral külü sarı,

Yeniköy termik santral külü sarı ve açık kahve

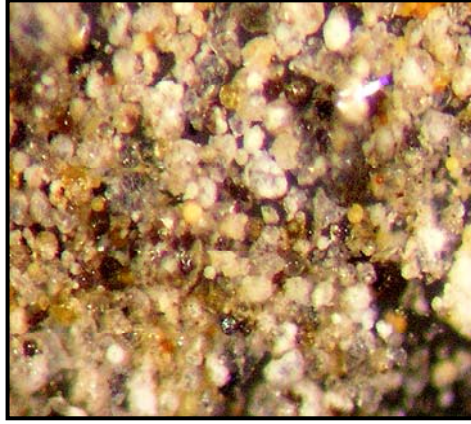
Kemerköy termik santral külünün ise çikolata kahve olduğu görülmektedir.



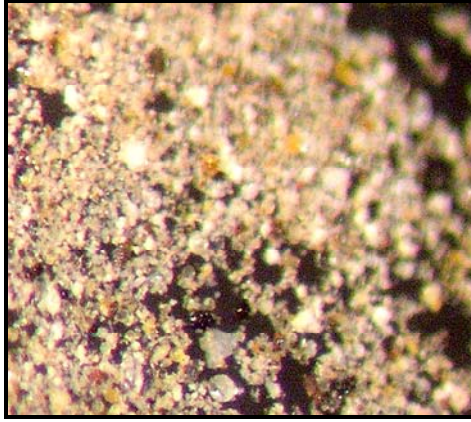
Şekil 4.10. Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy kül numunelerinin mikroskopik görünüşü



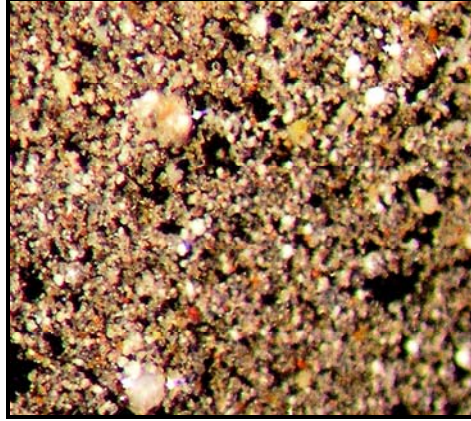
Şekil 4.11 Soma kül numunesi mikroskobik Görünüşü (30 kat büyütme)



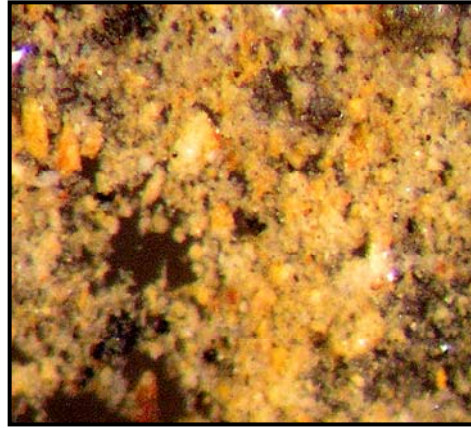
Şekil 4.12 Yatağan kül numunesi mikroskobik görünüşü (30 kat büyütme)



Şekil 4.13 Yeniköy kül numunesi mikroskobik görünüşü (30 kat büyütme)



Şekil 4.14. Kemerköy kül numunesi mikroskobik görünüşü (30 kat büyütme)

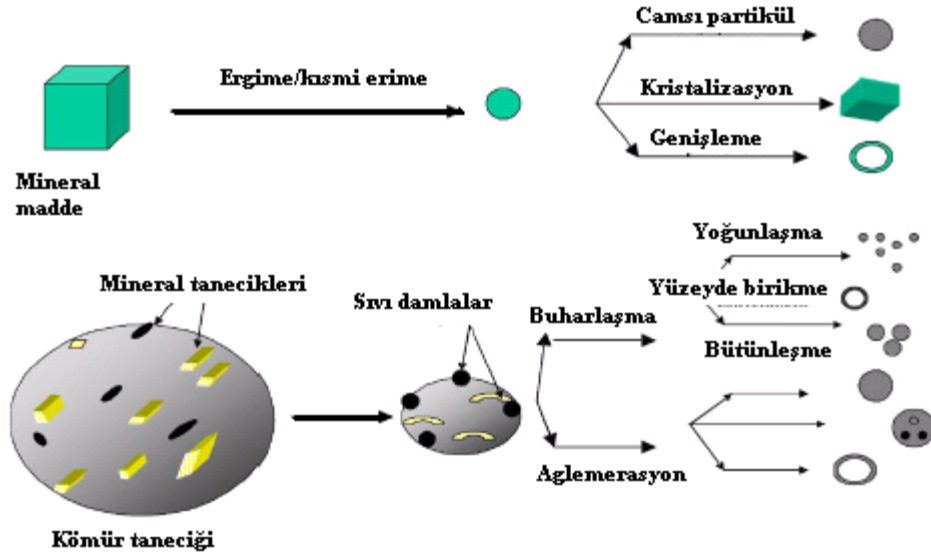


Şekil 4.15 Çatalağzı kül numunesi mikroskobik görünüşü (30 kat büyütme)

#### 4.3.1.3.2 Uçucu Kül Numunelerinin Elektron Mikroskop (SEM) Analizleri

Kömürün yanması sırasında bünyesi içindeki mineral madde önce yüksek sıcaklık altında akışkan hale gelir daha sonra ise soğur (Clark, 1992). Pulverize yakma sistemlerinde genellikle kazan içerisindeki sıcaklık 1400 °C civarındadır. Bu sıcaklıkta kömür içerisindeki mineral madde oksitlenebilir, bozuşabilir, ergir, sinterleşir yada aglomera olabilir. Aglomera olan ya da eriyen bu partiküller daha sonra soğurken küresel, amorf (kristal olmayan) partiküller haline gelirler. Buharlaştan bu maddelerin genişmesi sonucunda yapılarda gözenekler oluşmaktadır. Minerallerin yanması ve

soğuması her bir partikülün morfolojisi ve yapısındaki değişiklik üzerinde önemli bir rol oynar. Şekil 4.16'da yanma sırasında mineral maddenin genel dönüşümü verilmiştir.



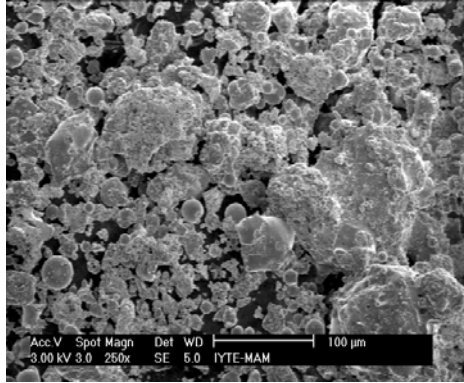
Şekil 4.16 Kömürün yanması sırasında mineral maddenin genel dönüşümü

Vassilev ve Vassileva SEM analizlerinin uçucu küllerin kimyasal ve fiziksel karakterizasyonunda kullanılan en iyi tekniklerinden biri olduğunu söylemişlerdir (Vassilev ve Vassileva, 2005).

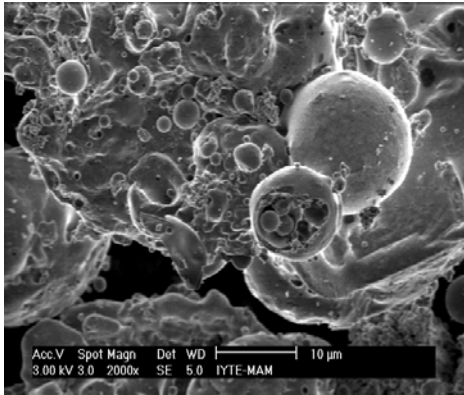
Çalışmanın bu bölümünde uçucu kül partiküllerinin, morfolojisi dış yüzey yapıları ve tek noktada elementsel dağılımları incelemesi yapılmıştır.

Uçucu kül taneciklerinin morfolojik yapıları yanma sıcaklığı ve soğuma hızı ile ilişkilidir. Örneğin yüksek sıcaklıklarda ısı inorganik minerallerin sıvılaşmasına, buharlaşmasına ya da oksijenle reaksiyona girerek oksitlenmelerine neden olur. Daha sonra bu partiküller soğuma hızına da bağlı olarak farklı şekillerde katılaşır. Örneğin düşük soğuma hızlarında partiküller birbirlerine yapışabilir ve olduklarından daha büyük tanecikler haline gelebilirler. Ya da ani soğuyarak hacimsel olarak daralır ve yuvarlak küçük küresel partiküller haline gelebilirler. Bazıları kristalleşirken bazıları da amorf yapıda kalabilir ya da diğer bir partikülün üzerini kaplayabilirler.

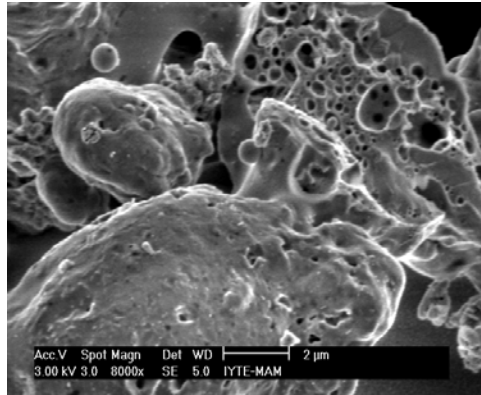
## Soma Kül Numunesi Morfolojik Analiz Sonuçları



Şekil 4.17 Soma uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x250)



Şekil 4.18 Soma uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x2000)



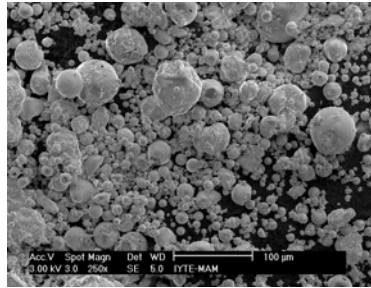
Şekil 4.19 Soma uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x3500)

Soma uçucu külünün morfolojik analizinde genellikle büyüklükleri değişken ve çoğunluğu düzensiz şekilli olmak üzere yüzeyi pürüzlü küresel ve yarı küresel tanecikle

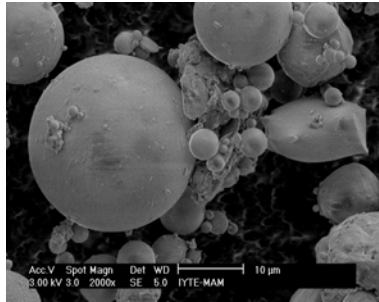
içerdiği gözlenmiştir. Tane boyutlarının büyük çoğunluğu, yaklaşık 1 ile 100 mikron arasında değişmektedir.

Taneciklere uygulanan mikro analiz sonucunda, köşeli yapıların kil kalıntıları, poröz yapıların yanmamış karbon olduğu saptanmıştır. Deforme olmuş yarı-küresel tanecikler, kömürden gelen kil mineralinin (İllit) yanması sonrasında ergime sıcaklığının altında soğumasıyla, küresel yapılı ürünün parçalanması sonucunda meydana gelmektedir.

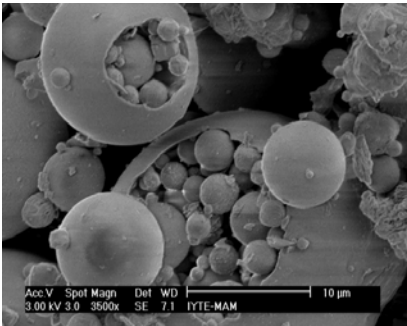
#### Yatağan Kül Numunesi Morfolojik Analiz Sonuçları



Şekil 4.20 Yatağan uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x250)



Şekil 4.21 Yatağan uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x2000)



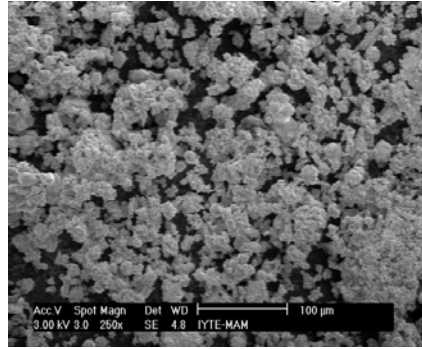
Şekil 4.22 Yatağan uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x3500)



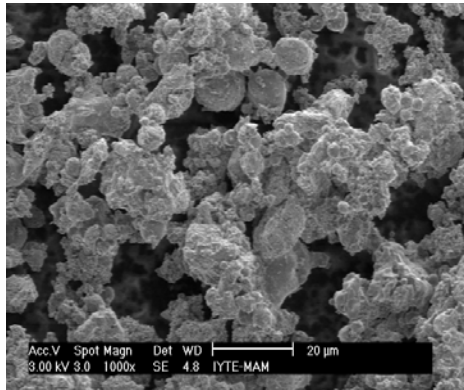
Yatağan uçucu külü yukarıdaki fotoğraftan görüldüğü gibi homojen olmayan tane büyüklüğüne sahiptir. Taneciklerin büyük bir kısmı 1 ile 100 mikron arasında değişmektedir.

Yapı içinde masif kütle halinde Kuvars, Ortoklas, İllit olduğu mikro analiz sonucunda tespit edilmiştir. Yapılan mikro analiz sonucunda, buradaki kuvars, ortoklas  $K(Al.Si_3O_8)$  minerallerinin, kömürden gelmekte olup, sabit kristal örgüleri nedeniyle yanmadan küresel şekilli olarak küle katıldıkları söylenebilir. İri küresel taneciklerin yüzeyinde de mikro kristallere rastlanmıştır ( $Fe_2O_3$  gibi). Ayrıca kül taneciklerinin ergimeden sonra hızla soğuması sonucunda küresel şekil aldıkları 4.21’de ve birbirleriyle kontak halde iç içe geçmiş olarak daha büyük tanecik gibi görüldüğü şekil 4.22’de görülmektedir.

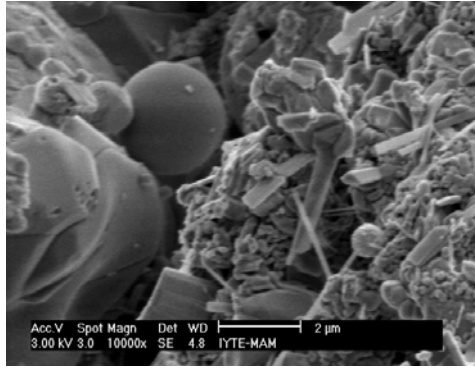
#### Yeniköy Kül Numunesi Morfolojik Analiz Sonuçları



Şekil 4.23 Yeniköy uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x250)



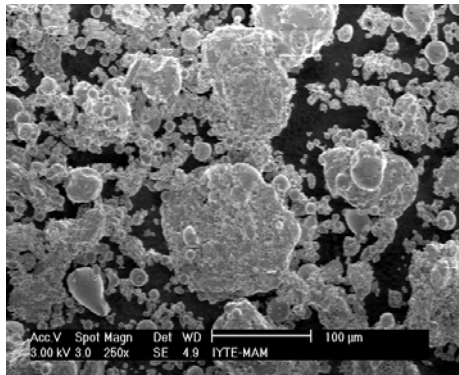
Şekil 4.24 Yeniköy uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x1000)



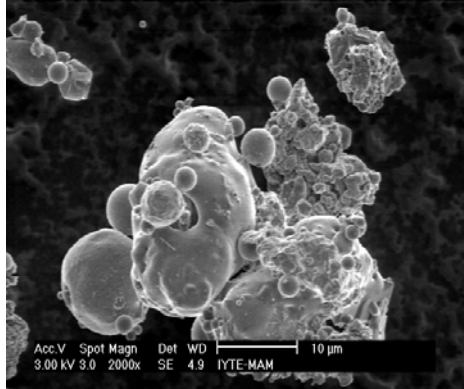
Şekil 4.25 Yeniköy uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x10000)

Yeniköy uçucu külünün çok ince taneli olduğu yarı-küresel yüzeyi pürüzlü, tam küresel ve düzensiz şekilli taneciklerden oluştuğu görülmüştür. Bu taneciklerin boyutları çoğunlukla 10-20 mikron arasında değişmektedir. Mikro analiz sonucunda yüzeyi anhidrit kaplı küreler, yanmamış kil kalıntıları, kalsit kristalleri tespit edilmiştir. Ayrıca 3 mikron ve altındaki tam küresel taneciklerin, alüminyum silikat bileşimi olduğu bulunmuştur. Anhidrit kömürdeki kükürlü mineralin ( $\text{FeS}_2$ ) yanması sonucu ortaya çıkan  $\text{SO}_2$ 'nin soğuması sırasında uçucu kül yüzeyinde yoğunlaşması ve CaO tarafından tutulması veya kömürden gelen jipsin parçalanması sonucu ortaya çıkan kireç ve oksijenin baca gazlarındaki  $\text{SO}_2$  ile birleşmesi sonucunda meydana geldiği söylenebilir.

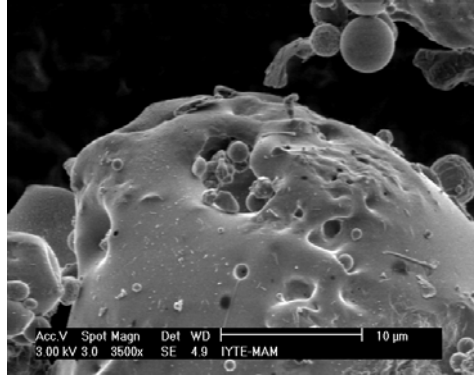
#### Kemerköy Kül Numunesi Morfolojik Analiz Sonuçları



Şekil 4.26 Kemerköy uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x250)



Şekil 4.27 Kemerköy uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x2000)



Şekil 4.28 Kemerköy uçucu külünün morfolojisine ait fotoğraf (x3500)

Kemerköy uçucu külünün çok ince taneli olduğu düzensiz şekilli aglomere olmuş taneciklerden oluştuğu görülmüştür. Tanecikler genellikle köşeli şekilsiz yapıda olmakla birlikte yarı küresel ve yüzeyi pürüzlü küresel yapılar vardır. Taneciklere uygulanan mikro analiz sonucunda, deforme olmuş yarı-küresel tanecikler, tanelerin üzerinde Kuvars ve anhidrite ayrıca hematite rastlanmıştır.

Genel olarak uçucu küllerin morfolojik yapılarını değerlendirdiğimizde Kemerköy ve Yeniköy uçucu küllerinin curuflaşmaya daha yatkın olduklarını söyleyebiliriz. Daha çabuk aglomere olup birbirlerine yapışarak amorf bir yapı oluşturduklarını ve bu yapının

kazan içerisinde meydana geldiğinde kazanın çeperlerine yapışarak askıda kalan kül kütlesi oluşturabileceği söylenebilir. Buda istenmeyen bir durumdur.

### 4.3.2 Uçucu Kül ve Kömür Numunelerinin Minerolojik Yapıları

#### 4.3.2.1 XRD Analizleri

Malzemelerin mineralojik karakterizasyonları X-Ray analizleri (XRD) difraksiyon ve elementel içeriklerini kalitatif olarak belirlemek üzere (XRF) flouresans analizleri yapılmıştır. Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy kömür ve kül numunelerinin mineralojik yapısının belirlenmesi amacı ile yapılan XRD analizleri Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezinde bulunan Philips X'pert Pro marka cihazla yapılmıştır. Analiz sonuçları Tablo 2’de ve grafikleri ekler bölümünde sunulmuştur.

Tablo 4.2 XRD Analiz Sonuçları

Soma Kömür	Soma Kül	Yatağan Kömür	Yatağan Kül	Kemerköy Kömür	Kemerköy Kül	Yeniköy Kömür	Yeniköy Kül
Kuvars İllit Kalsit Klorit	Kuvars Ortoklas	Kuvars Ortoklas Kalsit Klorit İllit	Kuvars Ortoklas	İllit Kuvars Hematit Anhidrit	Klorit İllit Kuvars Anhidrit Pirit	Kalsit Kuvars Anhidrit Pirit	Kuvars Anhidrit Kalsiyum Oksit

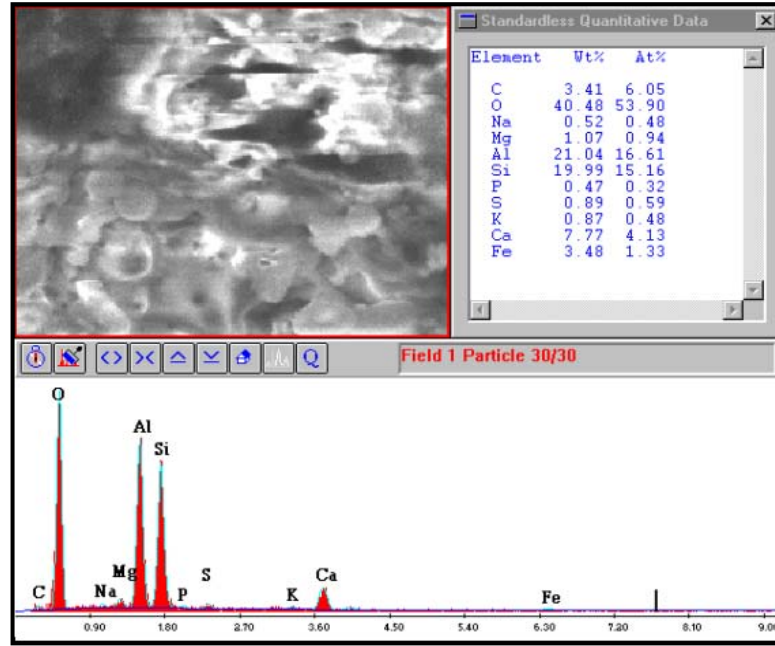
#### 4.3.2.2 XRF Analizleri

XRF Analizleri Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Joel JSDX-100S4 marka X-ışını spektrometresi ile yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçlarına göre tüm numunelerde Sr, Mn,Ti, Ca, Cu, Zn, Ni, K, Na, Al, Si, Fe, Pb, Zn, Sr, Mg, Mo, Cr, Sb, Zr elementleri saptanmış olup grafikleri ekler bölümünde sunulmuştur.

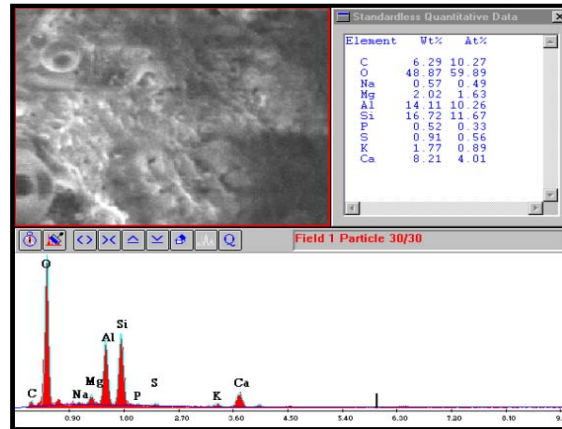
### **EDS**

Uçucu kül örnekleri için Yüksek Teknoloji Enstitüsü Malzeme Araştırma Merkezinde bulunan Philips X'pert Pro marka cihazı ile Eds analizleri yaptırılmış olup sonuçları Şekil 28, 29, 30 ve 31’de verilmiştir. Örneklerde major ve minor element kompozisyonu ile yanmamış karbon konsantrasyonlarına bakılmıştır. Örneklerin her birinde yaklaşık %5-20 arasında Si, %5-22 arasında Al, Soma ve Yatağan Termik santral uçucu

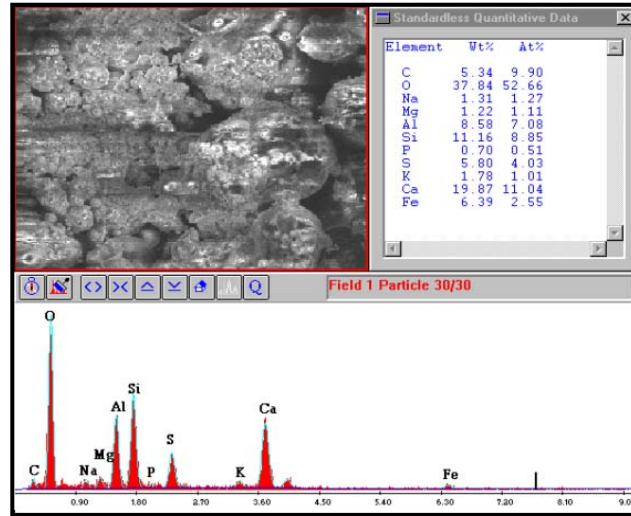
küllerinde yaklaşık %7-9 arasında Ca, Kemerköy ve Yeniköy uçucu küllerinde yaklaşık %20-30 arasında Ca bulunmuştur. Yine tüm santral numunelerinde yaklaşık %2-8 arasında Fe bulunduğu gözlenmektedir. Yanmamış karbon (C) konsantrasyonu % 3-5 arasında değişirken oksijen (O) majör anyon olarak görülmekte, ayrıca uçucu küller S ve P'de içermektedir.



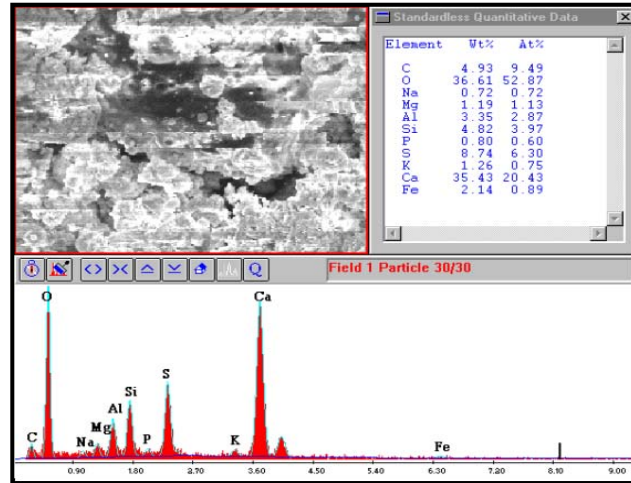
Şekil 4.29 Soma Kül Numunesi EDS Analiz Sonuçları



Şekil 4.30 Yatağan Kül Numunesi EDS Analiz Sonuçları



Şekil 4.31 Kemerköy Kül Numunesi EDS Analiz Sonuçları



Şekil 4.32 Yeniköy Kül Numunesi EDS Analiz Sonuçları

Küresel demir taneciklerinin çoğu demir oksit halinde amorf yapıdaki alimünasilikatlar ile birleşik haldedir ve yaklaşık boyutları  $> 10$  mikromdur. Gözlenen bu boyutlar daha önce literatüre geçmiş üzerinde çalışılmış uçucu kül boyutlarıyla benzeşmektedir (Vassilev, 2003 ve Vassilev ve Vassileva, 2005).

### 4.3.3 Kimyasal Kompozisyon

Numune hazırlama işlemlerinden sonra yöntemine uygun olarak kimyasal analiz için alınan uçucu kül ve kömür numuneleri, bileşimlerindeki element miktarlarının belirlenmesi için, Bölüm 4.2.1’de detaylı olarak anlatıldığı şekilde kimyasal analize tabi

tutulmuştur. Tablo 4.3’de Termik Santrallere ait kül numunelerinin kimyasal analiz sonuçları sunulmaktadır.

Tablo 4.3 Termik Santral Uçucu Kül Numunelerinin Kimyasal Bileşimi

	<b>Soma Kül</b>	<b>Yatağan Kül</b>	<b>Kemerköy Kül</b>	<b>Yeniköy kül</b>
CaO (%)	33.77	20.5	35.82	28.24
SiO <sub>2</sub> (%)	32.42	36.43	22.3	20.79
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	16.13	16.13	14.51	17.26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6	7.77	4.14	7.17
MgO (%)	6.07	8.8	3.83	4.66
SO <sub>3</sub> (%)	2.8	6.83	12.55	12.8
Na <sub>2</sub> O (%)	1.04	1.05	1.3	2.19
K <sub>2</sub> O (%)	0.66	0.77	1.53	1.33
BaO (%)	0.15	0.15	0.89	0.13
Pb (mg/kg)	420.00	391.84	65.00	72.00
Cu (mg/kg)	172.00	179.93	126.00	135.00
Ni (mg/kg)	152.00	163.93	617.27	678.78
Zn (mg/kg)	116.00	119.95	140.32	136.00
Co (mg/kg)	104.00	95.96	151.74	140.00
Cr (mg/kg)	64.00	91.96	260.00	233.48
Sr (mg/kg)	60.00	43.98	135.94	149.11
Cd (mg/kg)	40.00	31.99	31.98	27.98

Kömür örneklerine elementer analiz yapılmadan önce standart kömür analizleri uygulanmış ve kömür numunelerinin özellikleri saptanmıştır.

Tablo 4.4 Termik Santrallerin Kömür Özellikleri

Santral	Alt Isı Değeri	Nem	Kül	Toplam Kükürt	Sabit Karbon	Uçucu Madde
	kcal/kg	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Soma	2356	21	32	1.6	11.34	30,1
Yatağan	2125	36	20	2,65	18.5	67,52
Yeniköy	1790	33	29	3,92	20.47	28,12
Kemerköy	1705	30	33.8	4,21	15.40	35,3

Tablo 4.5 Kömür Külü Numunelerinin Kimyasal Bileşimi

	<b>Kemerköy (K)</b>	<b>Soma (S)</b>	<b>Yeniköy (Y)</b>	<b>Yatağan (Ya)</b>	<b>Çatalağzı (Ç)</b>
CaO (%)	29,46	25,48	15,56	13,98	3,12
SiO <sub>2</sub> (%)	23,62	36,78	43,41	54,65	57,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	24,49	23,32	17,89	14,28	24,96
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,84	5,71	5,23	5,07	3,22
MgO (%)	0,85	0,66	1,01	0,76	1,17
SO <sub>3</sub> (%)	10,52	3,97	9,82	6,63	1,68
Na <sub>2</sub> O (%)	0,72	0,99	0,33	0,19	0,44
K <sub>2</sub> O (%)	2,23	1,93	1,28	1,63	2,38
KK	1,76	0,71	4,04	2,56	4,89

Testlerde kullanılan kömür numuneleri ise, önce 800 °C'de kül haline getirilmiş daha sonra lityum tetraborat eritiş yöntemi kullanılarak kimyasal analizi yapılmıştır. Bu durumda, kimyasal analiz sonuçları, kömürdeki element içeriğini verecek şekilde kül yüzdesine bölünerek sunulmuştur.

Termik santral uçucu kül ve kömür külü numunelerinin kimyasal analiz sonuçlarına baktığımızda içerdikleri kimyasal kompozisyonun farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılığın kömürün kazan içerisinde yandıktan sonra oluşan ürünlerine bağlayabiliriz. Kömür santrallerde yanarken sadece gaz emisyonları değil bunun yanında katı atık olarak curuf , uçucu kül ve taban külü de meydana gelir. Curuf/uçucu kül oranı, kömür içerisindeki kül miktarına ve curuf/elektro filtrede tutulan kül oranına bağlıdır. Bu oran genelde 5/95 ile 20/80 arasında değişmektedir. Ancak bu oran tam olarak kesin değildir.

Elektrofiltre çıkışlarından alınan kül numunelerinde tablo 4.4 ve 4.5'e baktığımızda %CaO ve %MgO oranlarında bir yükselme olduğu, %SiO<sub>2</sub> oranı ve %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarında ise bir düşme olduğu görülmektedir.

#### **4.3.4 DTA/TG Analizleri**

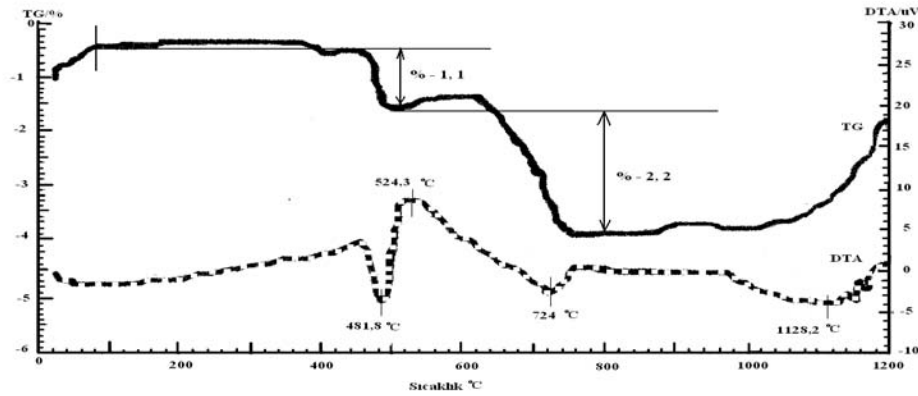
Diferansiyel termal analiz yöntemi inorganik maddelerin silikatların, killerin, oksitlerin, seramiklerin incelenmesinde; organik maddelerin erime, kaynama ve parçalanma sıcaklıklarının bulunması amacıyla kullanılmaktadır.



DTA ile yöntemde numune ve termal olarak inert olan referans maddeye aynı sıcaklık programı uygulanır. İkisi arasındaki fark, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülür. Bu iki madde bir arada ısıtılır. Sıcaklık düzgün bir şekilde arttırılır. TG deki gibi sadece kütle kaybına bağımlı olmadığı için daha geniş bir kullanım alanı vardır. Isının absorblandığı veya açığa çıktığı her numuneye uygulanabilir. Fiziksel olarak absorpsiyon ve kristalizasyon olayı ekzotermik bir olaydır. Desorpsiyon, süblimleşme, erime ve buharlaşma olayları ise endotermiktir. Kimyasal olarak ise polimerleşme ve oksitlenme ekzotermik; bozunma, dehidrasyon ve indirgenme olayları ise endotermiktir.

Kalemaden End. Ham. San. Ve Tic. A.Ş. Semedeli Laboratuvarında bulunan DTA/TG ile dakikada 10 C° artan hızla 2 saatte, 100 mg örnekle çalışılmıştır.

Yapılan DTA eğrilerine baktığımızda, genellikle nem çıkışını karakterize eden ve numunenin nem içeriğiyle orantılı bir büyüklükte olan endotermik bir veya iki pikten sonra, uçucu madde ve sabit karbonun yanması sonucu oluşan ısının neden olduğu bir veya iki ekzotermik pik içerdiği görülmektedir.

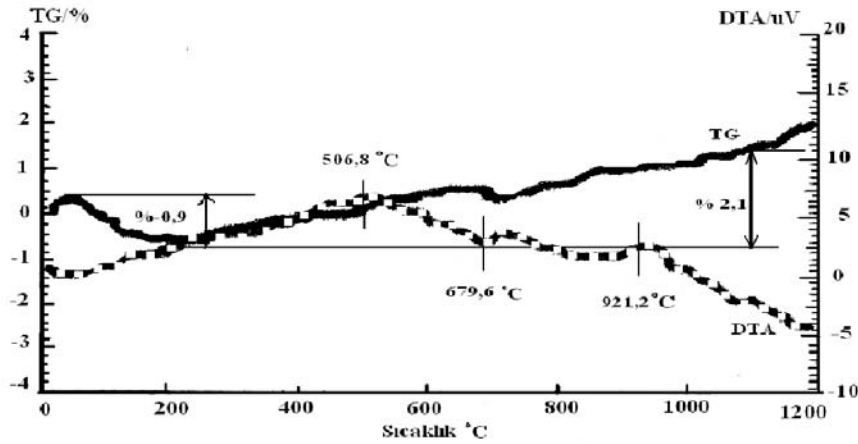


Şekil 4.33 Soma Külü DTA-TG Analiz Sonuçları

Yukarıdaki grafiklerden de görüldüğü gibi Soma külünün DTA-TG analizlerini birlikte değerlendirecek olursak 478-485 °C arasında bir kütle kaybı olduğu görülmektedir. Kütle kaybının ardından 524,3 °C'de yeni bir faz oluştuğu ve bu fazın oluşmasıyla beraber kütlede çok hafif bir artış olduğu gözlenmektedir. 520 °C'deki artışın sebebi olarak, ortamdaki alkalilerin varlığı sonucunda SiO<sub>2</sub>'nin 575 °C'deki

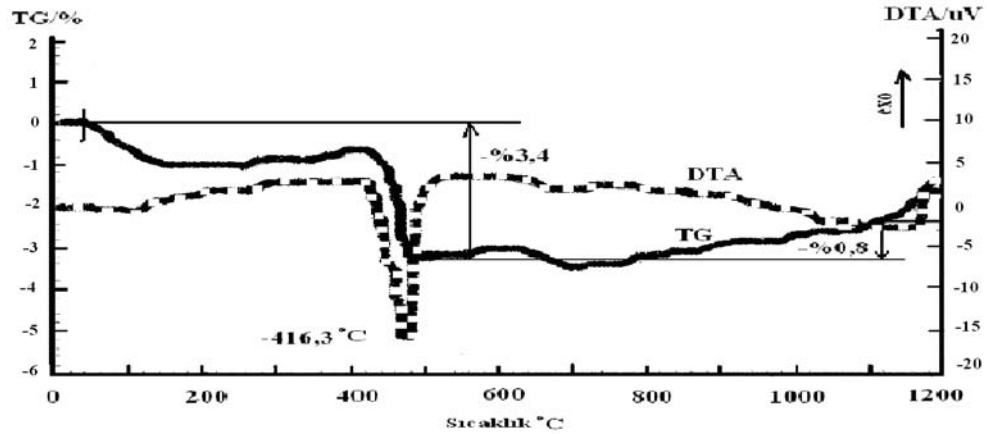
kararlı yapıdaki  $\alpha$  SiO<sub>2</sub>'nin kararsız  $\beta$  SiO<sub>2</sub>'ye dönüşüm sıcaklığının 480 °C'lere düşmüş olabileceği olarak düşünülmektedir.

720-750 °C'ler arasında kütle kaybı %- 2,2'lik olmuştur. Buradaki endotermik reaksiyon muhtemelen ortamdaki potasyum silikatların (erime sıcaklığı (740-780 C°) bozunmalarından meydana gelmiştir. Ayrıca ortamdaki alkalilerin ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'in varlığı, CaCO<sub>3</sub>'ün bozunma sıcaklığını (750-850 °C) 700-750 °C'ye düşürmesi ile de açıklanabilir (Taylor, 1997). 1100 C°'den itibaren yeniden bir endotermik reaksiyon söz konusudur.



Şekil 4.34 Yatağan Külü DTA-TG Analiz Sonuçları

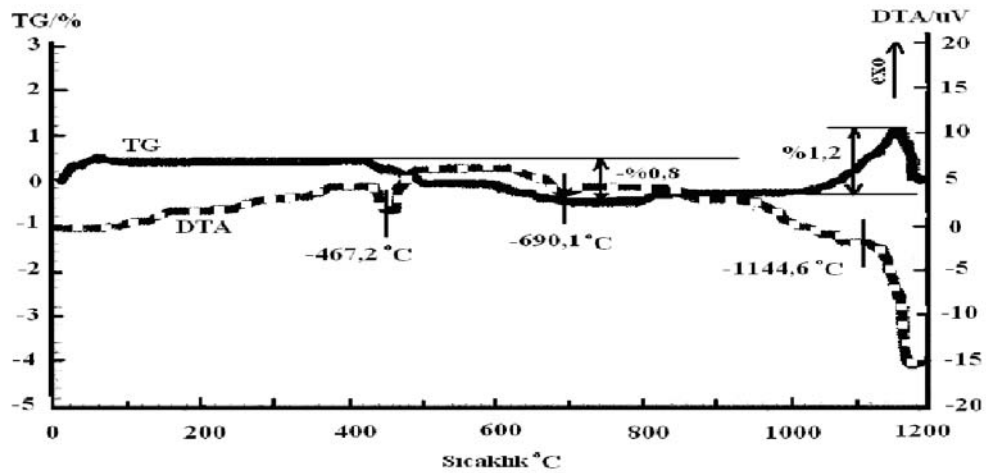
Yatağan külünün DTA-TG grafiklerine baktığımızda TG eğrisinden yaklaşık 80 °C'ye kadar kütle kaybının olmadığı görülmektedir. Daha sonra %-0.9'luk bir kütle kaybı tespit edilmiştir. Bu ortamdaki nem kaybıdır. Daha sonra TG eğrisinde bir kütle artışı olduğu görülmektedir. TG eğrisinde normalde kütle azalmaları görülür ancak burada bir kütle artışı söz konusu olmuştur. Kütledeki bu artış başlangıçta malzemeden ayrılan alkalilerin daha yüksek sıcaklıkta tekrar malzeme ile reaksiyona girerek kütle artışına neden olması ile açıklanabilir. DTA analizlerinede baktığımızda sıcaklık artışı ile faz dönüşümlerinin olduğu gözlenmektedir. Ortamdaki safsızlıklar tüm reaksiyonların termal dönüşümlerini etkilemektedir.



Şekil 4.35 Yeniköy Külü DTA-TG Analiz Sonuçları

Yeniköy külünün DTA-TG grafiklerinden de görüldüğü gibi 500 C<sup>o</sup>'ye kadar kütle kaybının olmadığı görülmektedir. Bu sıcaklıktan sonra ise %3.4'lük bir kütle kaybının ve endotermik bir pik oluşmuştuğu gözlenmektedir. Burada muhtemelen yeni bir faz oluşumu söz konusudur. Ortamdaki alkali fazlalığı büyük olasılıkla SiO<sub>2</sub>'nin 575 C<sup>o</sup>'deki dönüşüm sıcaklığını 480 C<sup>o</sup>'lere düşürmüştür.

Yine 710-750 C<sup>o</sup>'ler arasında bir pik daha görülmektedir. Bu ortamdaki potasyum silikatlar (erime sıcaklığı (740-780 C<sup>o</sup>) bozunması sonucunda gösterdiği endotermik reaksiyon ile açıklanabilir. Yine Soma Külünde olduğu gibi 1100 C<sup>o</sup>'den itibaren yeniden kütle artışı (%-0.8) olmuştur.



Şekil 4.36 Kemerköy Külü DTA-TG Analiz Sonuçları

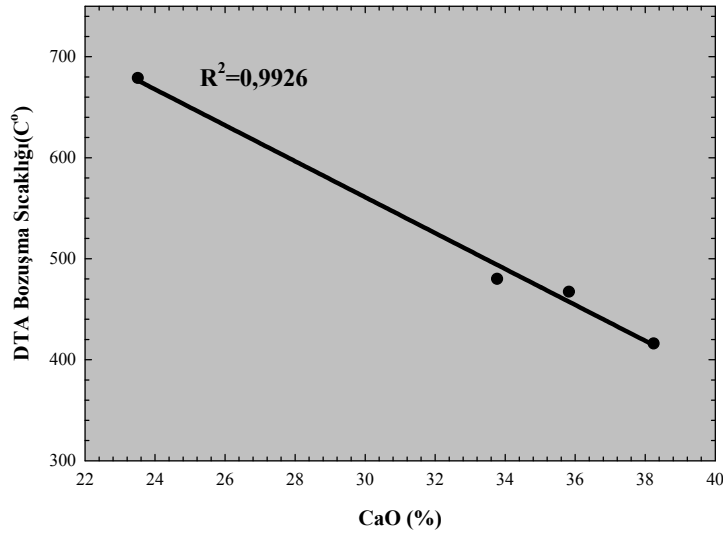
Kemerköy külünün DTA-TG grafiklerinden de görüldüğü gibi 500 C°'ye kadar kütle kaybının olmadığı görülmektedir. Sonraki kütle kaybı %- 0,8'lik 710-750 C°'ler arasında olmuştur. Diğer santrallerde olduğu gibi buradaki endotermik reaksiyonu ortadaki alkaliler ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> varlığında CaCO<sub>3</sub>'ün bozunma sıcaklığını düşürmesine bağlayabiliriz.

Yine Soma ve Yeniköy külünde olduğu gibi burada da 1100 C°'den itibaren bir kütle artışı (%-1.2) olmuştur. Bu aşamada oluşumu, ortamdaki alkalilerin varlığında reaksiyon oluşturup daha sonra oluşan yeni yapının ortama ısı vermesi ile açıklayabiliriz.

DTA analiz sonuçlarından elde edilen numunelerin Termal bozuşma sıcaklıkları (tablo 4.6) ile CaO içerikleri ve CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O içeriklerinin toplamı ile Termal bozuşma sıcaklıkları arasındaki ilişki Şekil 4.37. ve Şekil 4.38'de görülmektedir.

Tablo 4.6. DTA Termal bozuşma Sıcaklığı (C°)

Numune Adı	Termal bozuşma Sıcaklığı	CaO (%)	CaO+MgO+Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O
SomaKülü	480	33,77	41,54
Yatağan Külü	679	23,51	34,13
Yeniköy Külü	416	38,24	46,42
Kemerköy Külü	467,2	35,82	42,48



Şekil 5.37 DTA Termal bozuşma sıcaklıkları ile CaO içeriği arasındaki ilişki

DTA termal bozuşma sıcaklıkları ile kül numunelerinin CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O bileşimleri arasındaki ilişki regresyon analizi yapılarak incelenmiştir. Şekil 4.36' dan da görüldüğü üzere regresyon analizi sonucu elde edilen eşitlik ve regresyon katsayısı aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

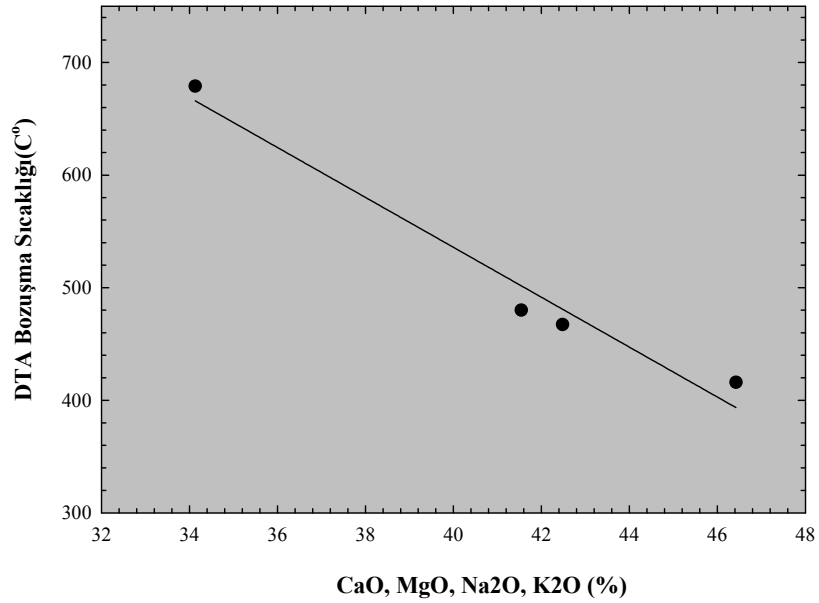
$$(F_{(x)})= y_0+a.x$$

Bu eşitlikte DTA termal bozuşma sıcaklığı ( $F_{(x)}$ ),

$$y_0= 1094,44,$$

$$a=-17,28,$$

$x= \text{CaO}(\%)$  ile ifade edilmiştir. Elde edilen regresyon katkısı  $R^2= 0,9926$  dır.



Şekil 4.38 DTA Termal bozuşma sıcaklıkları ile CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O içeriği arasındaki ilişki

Şekil 4.38'deki ilişkide ise regresyon katsayısı  $R^2= 0,9668$  olarak hesaplanmış ve bağlantı ise aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$(F_{(x)})= y_0+a.x$$

Bu eşitlikte;

DTA termal bozuşma sıcaklığı ( $F_{(x)}$ ),

$$y_0= 1422,42,$$

$$a=-22,16,$$

$x= \text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  (%)'dir.

Görüldüğü gibi numunelerin DTA Termal bozuşma sıcaklıkları ile CaO içerikleri arasındaki ilişki incelendiğinde  $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  içerikleri arasındaki ilişkiden daha kuvvetli olduğu CaO oranı arttıkça DTA termal bozuşma sıcaklığının düştüğü görülmektedir.

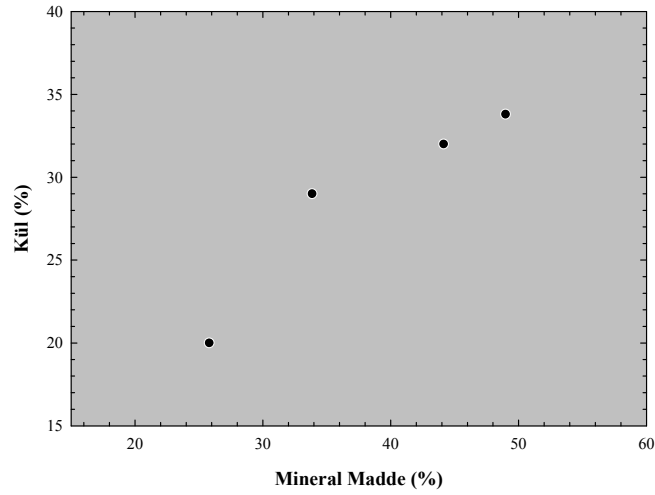
#### **4.3.5 Mineral Madde Analiz Sonuçları**

Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santral kömürlerinin mineral madde içerikleri ve mineral madde faktörü bulunarak bunların kül, alt ısı ve yüzey alanı ile ilgisi tesbit edilmiştir. Bulgular aşağıda tablo 4.7 ve şekil 4.39., 4.40., 4.41'de sunulmaktadır.

Tablo 4.7 Mineral madde analiz sonuçları ile mineral madde faktörleri

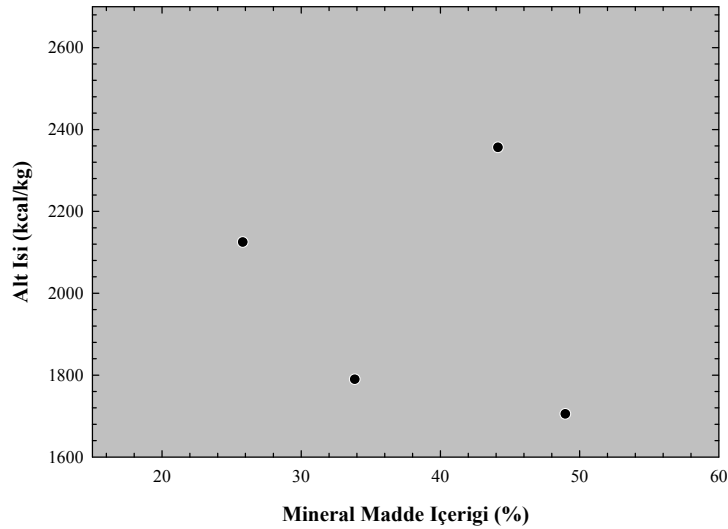
Numune Adı	Mineral Madde İçeriği (%)	Mineral Madde Faktörü	Kül (%)	Alt Isı (Kkal/kg)	Yüzey Alanı (m <sup>2</sup> /gr)
SomaKülü	44,14	1,38	32	2356	0,216
Yatağan Külü	25,80	1,29	20	2125	0,345
Yeniköy Külü	33,85	1,17	29	1790	0,175
Kemerköy Külü	48,98	1,45	33.8	1705	0,248

Mineral madde faktörü; mineral madde içeriğinin kül içeriğine bölünmesi ile elde edilen değerdir.



Şekil 4.39 Mineral madde ve kül içeriklerinin ilişkisi

Bu çalışmada kullanılan kömür numunelerinin mineral madde ve kül içerikleri ile, mineral madde faktörleri arasında net bir ilişki bulunamamıştır ancak kül miktarı arttıkça mineral madde miktarının da arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.40 Mineral madde ve alt ısı ilişkisi

Mineral madde ile alt ısı arasındaki ilişkiye baktığımızda bir etkileşim olması gerektiği öngörülmektedir. Mineral madde kömürün yanmayan bileşimidir. Bu sebeple ısı verici özelliği olmayan bir bileşendir. Mineral maddenin artması ile alt ısı değerinin

düşmesi beklenmelidir. Ayrıca kömürün yanması sırasında sıcaklığın yükselmesi nedeniyle, mineral maddeyi oluşturan bileşiklerin endotermik ayrışma tepkimeleri sonucunda kömürün verdiği ısının bir kısmı harcanmaktadır. Ancak bu kömürün içerdiği mineral maddenin türü ile ve yanma ortamının sıcaklığı ile ilişkilidir. Yanma ortam sıcaklığında inert davranan mineral madde türleri kömürün yanabilen kısmının verdiği ısıyı azaltıcı etki yapamazlar. Karbonatlarca zengin kömür ile hidrat suyu fazla olan mineral madde türleri kömürün yanması sonucu yayılan ısıyı önemli oranda etkilemektedir.

Mineral madde içeriğinin artması ile yüzey alanının düşmesi beklenmelidir. Bu kömürün organik yapısının gözenekliliğinin inorganik bileşenlerinden yüksek olması ile açıklanabilir. Kömürün organik kısmının özgül ağırlığı 1,2-1,4 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişirken, minerallerinin özgül ağırlığı 2-5 gr/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir.

#### ***4.3.6. Kül Ergime Testi Sonuçları***

Çalışmanın bu bölümünde kömür numunelerinin küllerine uygulanacak ergime testlerini (Eurotherm 818/XF5 sıcaklık kontrolü ayarlanabilen bir fırında ASTM D1857'ye uygun olarak) desteklemek amacıyla Kale Maden Endüstriyel Ham. San. ve Tic. AŞ'ne ait Ar-ge laboratuvarlarındaki ısıl mikroskop ile ergime testleri yaptırılmış ve ısıl mikroskop resimleri çekilmiştir.

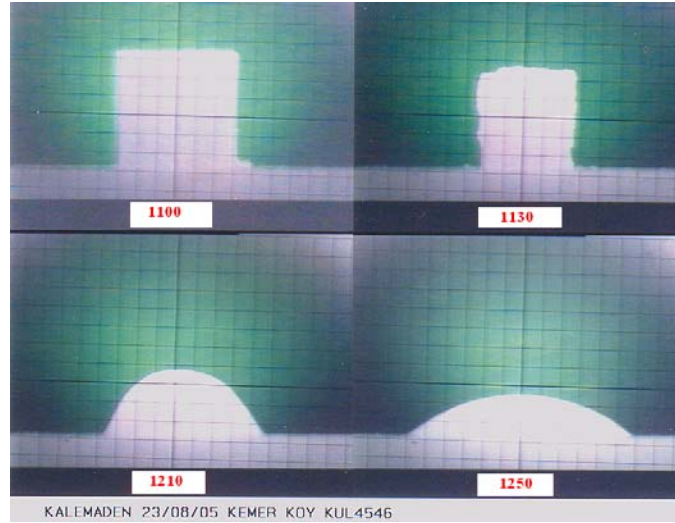


#### 4.3.6.1. Isıl Mikroskop Testi Sonuçları

Bu test termik santrallerden alınan kül örneklerine yapılacak olan kül ergime testleri için ön bir çalışma amaçlı olarak yapılmıştır. Isıl mikroskop kullanılarak numunelerin ergime sıcaklık noktaları belirlenmiştir. Bu bulgular daha sonra çalışılacak olan fırında yapılacak ergime testlerini kontrol amaçlı elde edilen sonuçlardır.

Tablo 4.8. Kemerköy Külü Ergime Sıcaklıkları (°C)

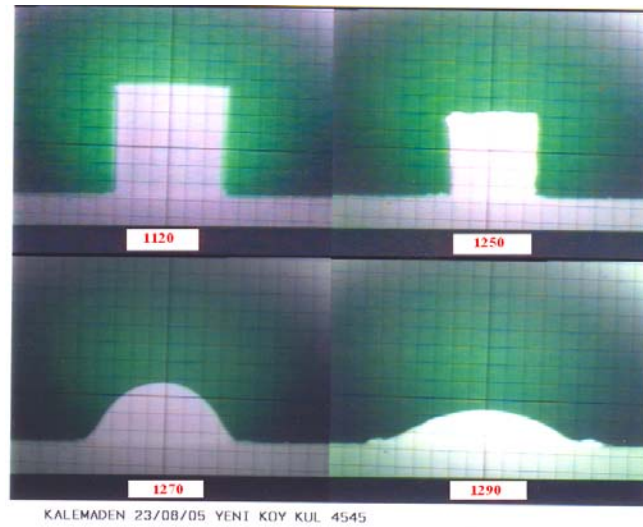
Ergime Dereceleri	Kemerköy Kömür Külü (°C)
IT	1100
ST	1190
HT	1210
FT	1250



Şekil 4.41 Kemerköy Külü Ergime Sıcaklıkları (°C)

Tablo 4.8. Yeniköy Külü Ergime Sıcaklıkları (°C)

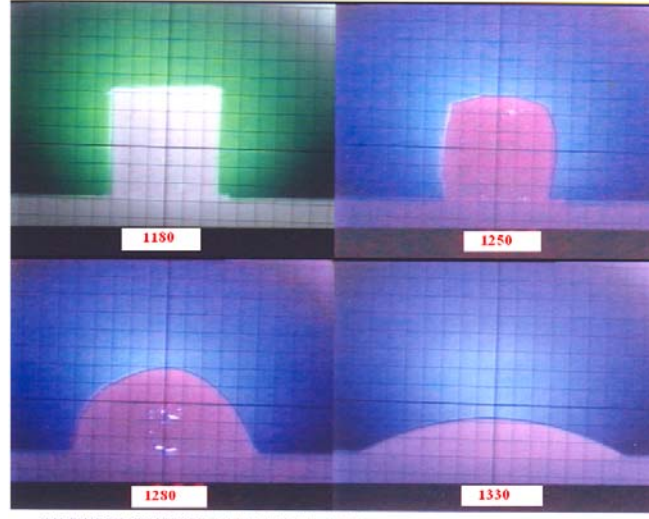
Ergime Dereceleri	Yeniköy Kömür Külü (°C)
IT	1120
ST	1250
HT	1270
FT	1290



Şekil 4.42 Yeniköy Külü Ergime Sıcaklıkları (°C)

Tablo 4.9. Yatağan Külü Ergime Sıcaklıkları (°C)

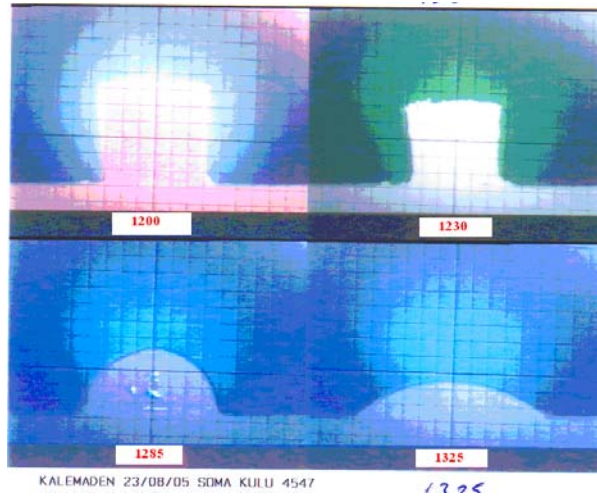
Ergime Dereceleri	Yatağan Kömür Külü (°C)
IT	1180
ST	1250
HT	1280
FT	1330



Şekil 4.43 Yatağan Küllü Ergime Sıcaklıkları (°C)

Tablo 4.10. Soma Küllü Ergime Sıcaklıkları (°C)

Ergime Dereceleri	Soma Kömür Küllü (°C)
IT	1200
ST	1230
HT	1285
FT	1325



Şekil 4.44 Soma Küllü Ergime Sıcaklıkları (°C)

Yapılan ısı mikroskop çalışması sonucunda sırasıyla, başlangıç deformasyon sıcaklıklarının Kemerköy'ün 1100 °C, Yeniköy'ün 1120 °C, Yatağan'ın 1180 °C ve Soma'nın 1200 °C olduğu tespit edilmiştir.

#### *4.3.6.2 Uçucu Kül Numuneleri Ergime Testi Sonuçları*

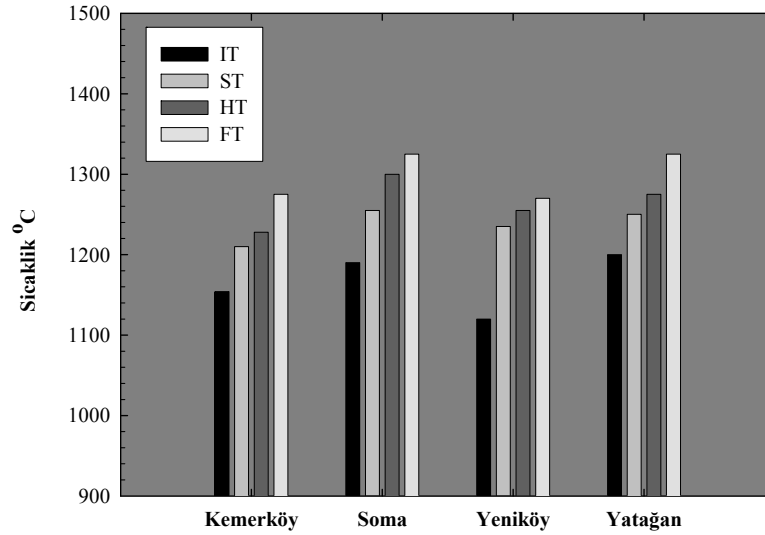
Pulverize kömür yakma ile elektrik üreten termik santrallerde yanma sonucu ortaya çıkan katı atıklar kazan içerisinden farklı bölgelerden kazan dışına atılırlar. Örneğin uçucu küller elektro filtrelerde tutulurken tane boyutları daha iri küller taban külü olarak kazan alt çıkışına yerleştirilen bantlar vasıtasıyla dışarı atılırlar. Bir kısımda ergiyerek ya da kuru yapışma yaparak kazan iç duvarlarında askıda kalabilirler. Kimyasal içerikleri farklı olan bu katı atıklardan uçucu küller kazan içerisinde curuflaşmaya sebep olabilirler. Bu sebeple alınan uçucu küllerin ergime testleri yapılmış ve elde edilen bulgular kazana beslenen kömürün ergime dereceleriyle karşılaştırılmıştır.

Örneklerin hazırlanması:

Elek açıklığı 0.25 mm olan eleğin altına geçen kül numunelerinden hazırlanacak olan piramit için gerekli miktarda alınarak birkaç damla %10'luk dekstrin çözeltisi ile nemlendirilir. Filtre edilmiş olan dekstrin çözeltisi berraktır ve içinde %0,1 derişiminde salisilik asit içermektedir. Bu asit şekil koruyucu olarak görev yapmaktadır. Nemlendirilmiş kül numuneleri hazırlanan piramit kalıbın içine düzgünce yerleştirilip, dikkatlice kalıp çıkarılmıştır. Numune kaolin ve alumina karışımının nemlendirilmesiyle hazırlanan yapışkan pürüzsüz, düz ve ince bir tabaka oluşturacak şekilde sürülen tabaka üzerine yerleştirilmiş ve sıcaklık dakikada 5 °C arttırılarak kül numunesinin kritik sıcaklıkları otomatik olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo 5.11 ve şekil 4.45'te verilmiştir.

Tablo 4.11 Termik Santral Uçucu Kül Numunelerinin Ergime Sıcaklıkları (°C)

Ergime Dereceleri	Kemerköy (K) (°C)	Soma (S) (°C)	Yeniköy (Y) (°C)	Yatağan (Ya) (°C)
IT	1150	1190	1120	1200
ST	1210	1255	1235	1250
HT	1228	1300	1255	1275
FT	1275	1325	1270	1325



Şekil 4.45 Santral uçucu külleri ergime sıcaklıkları (°C)

Standart kül ergime testinde saptanan başlangıç deformasyon sıcaklığı gerçek bir kömür yakma fırınındaki kül taneciklerinin fırından geçişte birbirine hafifçe yapışma eğilimi muhafaza ettikleri bir sıcaklığa kadar soğudukları ve ısı değiştirici yüzeylerde tortu oluşturdukları sıcaklığa karşılık gelir.

Test sonucu saptanan yumuşama sıcaklığına genellikle külün ergime sıcaklığı denir ve külün başlangıç deformasyonu ile akma durumu arasında gözlenmiş olan durumu ifade eder. Hem yumuşama ve hem de yarım-küre sıcaklıkları kömürün külünün büyük bir hızla kütle oluşturma ve ısı değiştiricilerin yüzeylerine büyük miktarlarda yapışma eğilimi gösterme durumuyla ilgilidir.

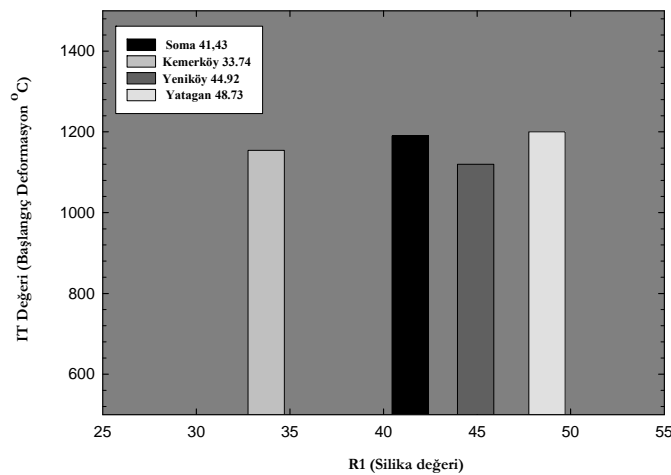
Kömür külünün ergime sıcaklığı ile kimyasal bileşimi arasındaki ilişkiyi saptamak üzere çok çeşitli formüller türetilmiş olmasının nedeni, külün ergime sıcaklığının

öncelikle kimyasal bileşimine bağlı olmasındandır. Kömürün külünün bileşimi geniş bir aralıkta değiştiğinden ergime özellikleri de önemli farklılıklar göstermektedir.

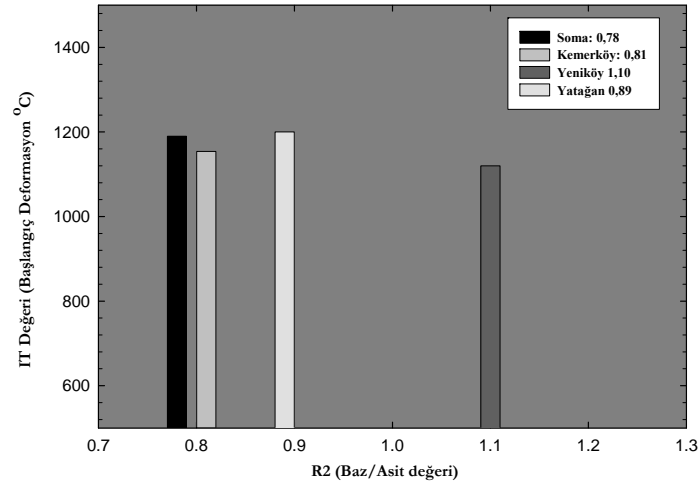
Tablo 4.12 Termik santral uçucu kül numunelerinin hesaplanan ampirik değerleri

Element	Kemerköy	Soma	Yeniköy	Yatağan
R1	33.74	41.43	44.92	48.73
R2	0.81	0.78	1.10	0.89
R3	1.27	0.98	0.83	0.76
R4	1.04	0.76	0.58	0.53
R5	0.65	0.50	0.62	0.46
R6	36.81	48.55	45.05	51.36
R7	46.62	47.54	37.59	38.89
R8	40.95	54.55	52.22	59.13
R9	42.48	41.54	30.42	31.12
R10	0.11	0.12	0.16	0.15
R11	1.20	1.46	1.14	1.47
R12	0.07	0.04	0.13	0.06
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	2.83	1.7	3.52	1.82
CaO+MgO	39.65	39.84	26.9	29.3
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	40.95	54.55	52.22	59.13
%S	5.02	1.12	5.12	2.732
TiO <sub>2</sub>	0.74	0.81	0.81	0.81

Küllerin, oksitleyici ortamda gerçekleştirilen ergime testlerinde saptanmış olan bu kritik sıcaklıklarla tablo 4.12’de hesapla elde edilen ampirik parametrelerin (bölüm 4.2.3.2’de ayrıntısı verilmiştir) ilişkisi araştırılmıştır.



Şekil 4.46 Başlangıç deformasyon sıcaklığı - silika değeri ilişkisi



Şekil 4.47. Başlangıç deformasyon sıcaklığı – R2 değeri ilişkisi

Şekil 4.46 ve 4.47'dende görüldüğü üzere küllerin asidik oksit oranları arttıkça başlangıç deformasyon sıcaklığının arttığı bazik oksit oranı arttıkça ise düştüğü gözlenmektedir.

Külün  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  içeriklerinin artması daha düşük sıcaklıklarda ergimesine sebep olmuştur. Yine kül örneklerinin  $\text{CaO}+\text{MgO}$  içeriklerinin, ergime özelliklerine açık bir etkisi vardır. Külün  $\text{CaO}+\text{MgO}$  içeriğinin artması ergime kritik sıcaklığın düşmesine yol açmaktadır.

R8 ( $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) değeri yüksek olan külün kritik sıcaklığı yüksektir.

R9 ( $\text{CaO}+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}$ ) değeri düşük olan külün kritik sıcaklığı yüksektir.

Kömürün içerdiği mineral madde sadece yakma yerine taşınıp, sonrada kül olarak atılacak bir kısım değildir.

Kömürün külü yakma sistemlerinde erime eğilimi gösterdiğinden ve sıvı bir curuf oluşturduğundan kömürün yakıt olarak değerini önemli ölçüde etkiler. Kolay eriyen kül çeşitli sorunlar yaratır.

Yapılan kimyasal analizler ışığında curuflaşma özelliğinin belirlenmesi açısından önemli olan bazı indeksler hesaplanarak numunelere ait silika modülü, Bazik oksit/ Asidik oksit (B/A) oranı ve curuflaşma indeksi (Fs) hesaplanarak aşağıda tablo . 4.13'e ve grafik halinde sunulmuştur.

Tablo 4.13 Kül numunelerine ait curuflaşma eğilim değerleri

	<b>Kemerköy</b>	<b>Soma</b>	<b>Yeniköy</b>	<b>Yatağan</b>
<b>% Silika</b>	33.74	41.43	44.92	48.73
<b>B/A</b>	1.24	0.96	0.82	0.75
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	6.23	1.08	4.20	2.04
<b>Bazik Oksitler</b>	46.62	47.54	37.59	38.89
<b>Asidik Oksitler</b>	37.55	49.36	45.86	52.17
<b>Fs (°C)</b>	1165.6	1212.2	1177	1216.8
<b>CaO</b>	35.82	33.77	22.24	20.5
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	4.14	6	7.17	7.77
<b>IT (°C)</b>	1150	1190	1120	1200
<b>ST (°C)</b>	1210	1255	1235	1250
<b>HT (°C)</b>	1228	1300	1255	1275
<b>FT (°C)</b>	1275	1325	1270	1325

$$F_s = (4IT + HT) / 5$$

Gray ve Moore yaptıkları araştırmalarda külleri bu indekse göre aşağıdaki gibi sınıflandırmışlardır.

**Curuf Oluşturma indeks sıcaklığı Fs (C°)**

1231,85-1341

1051-1231

<1051

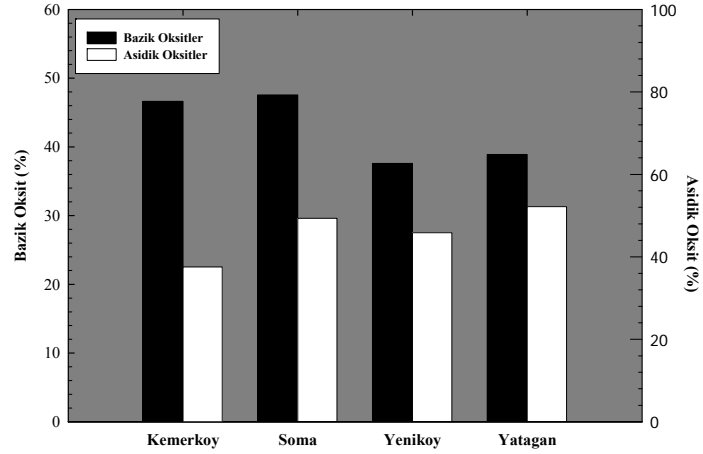
**Yakıcıda curuf oluşturma özelliği**

Orta

Yüksek

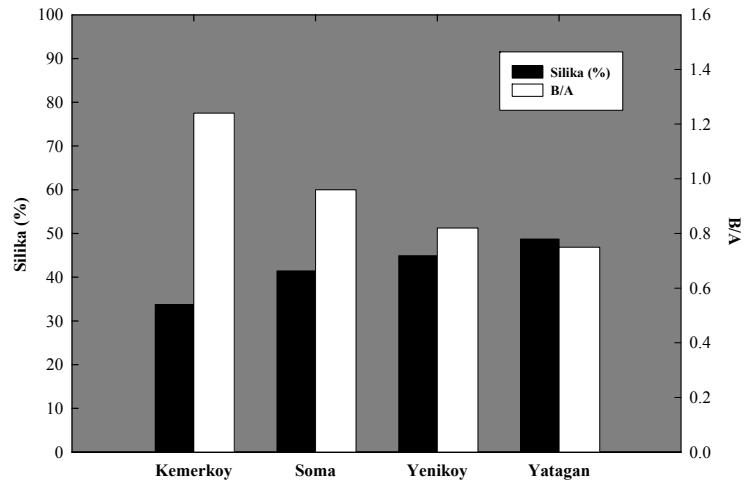
Şiddetli



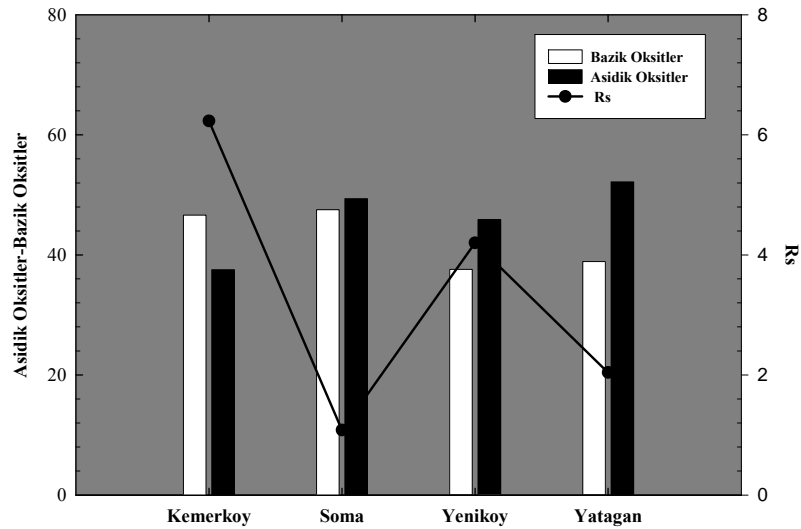


Şekil 4.48 Küllerinin asidik ve bazik oksit dağılımları

Bünye içerisindeki Silika oranı yükseldikçe B/A oranı düşer. Bu yüzden silika oranının yüksek olması curuflaşmayı azaltan bir faktördür



Şekil 4.49 Küllerinin silika (%) ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.50 Küllerinin Rs ve asidik-bazik oksit dağılımları

Elementer bileşime bağlı olarak hesaplanan indekslere ve küllerinin ergime derecelerine bakarak bir değerlendirme yapacak olursak tüm santrallerin curuflaşma eğilimlerinin fazla olduğu görülmektedir. Curuflaşmanın olmaması için kömür bünyesindeki asit oksit oranının bazik oksit oranından daha yüksek olması gerekmektedir.

Literatürde daha önce yapılan çalışmalara göre; (%) silika değerinin  $> \%86$ , B/A oranının  $< \%0,11$ ,  $R_s$  değerinin  $< \%0,6$ , (%) CaO'in  $\%5-40$  ve (%)  $Fe_2O_3$ 'ün  $< \%6$  olması istenmektedir. Tüm santral kül numunelerinin silika ve B/A oranlarının istenen değerler dışında kaldığı görülmektedir.

Kendi aralarında bir karşılaştırma yapacak olursak curuflaşmaya en çok yatkın olan santralin Kemerköy olduğu ergime derecesi testlerinden ve yapılan ampirik hesaplamalardan görülmektedir. Yine bu santrali Yeniköy, Soma ve Yatağan Termik santralleri takip etmektedir. Soma ve Yatağan Termik santrallerinin kimyasal içerikleri birbirinden farklı olmasına rağmen, ergime derecelerinin birbirine yakın oldukları görülmektedir. Yatağan Termik santral kül numunesinin  $\%SiO_2$  oranını Soma Termik

santral külünün %SiO<sub>2</sub> içeriğinden yüksek olmasına rağmen, bu santralin %S değeri de fazladır. Bu sebeple bünyede bulunan kükürt ergime derecesini düşürmektedir. Sadece asidik ve bazik oksitlerin oranlarına göre bir değerlendirme yapıldığında Soma santralinin ergime derecesinin Yatağan santralinden daha düşük olması beklenirken durumun farklı olduğu görülmüştür. Buda kükürt oranının ergime derecesi üzerinde ne kadar etkili olduğunu göstermektedir. Bu oran arttıkça curuflaşma eğilimi de artmaktadır. Bu yüzden değerlendirme yapılırken tüm oranlar göz önünde tutulmalı tek bir parametreye bağlı kalınmamalıdır. Yapılan ergime testleri sonucunda da bu değerlerin toplu olarak değerlendirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

#### 4.3.6.3 Kömür Külü Numuneleri Ergime Testi Sonuçları

Örneklerin hazırlanması:

Santrallerden alınan kömür numuneleri kül ergime testlerine tabi tutulmadan önce 800 °C’de kül fırınında yakılmıştır. Daha sonra elde edilen kömür küllerine kül ergime testleri yapılarak numunelerin kritik sıcaklıkları otomatik olarak kaydedilmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo 4.15 ve şekil 4.51’de verilmiştir.

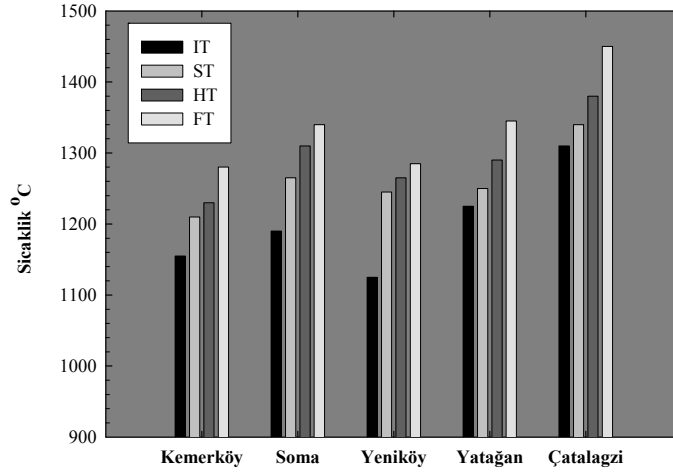
Tablo 4.15 Termik Santral Kömür Külü Numunelerinin Ergime Sıcaklıkları (°C)

<b>Ergime Dereceleri</b>	<b>Kemerköy (K) (°C)</b>	<b>Soma (S) (°C)</b>	<b>Yeniköy (Y) (°C)</b>	<b>Yatağan (Ya) (°C)</b>	<b>Çatalağzı (Ç) (°C)</b>
IT	1155	1190	1125	1225	1310
ST	1210	1265	1245	1250	1340
HT	1230	1310	1265	1290	1380
FT	1280	1340	1285	1345	1450

Kömür külü olarak dört linyit kömürü ve bir tane taşkömürü ile çalışılmıştır. Taşkömürü yüksek silis içermektedir. Çalışmanın diğer kısımlarında bu kömür külü diğer kömür külleri ile karıştırarak küllerin ergime sıcaklıkları değiştirilmeye çalışılmıştır.

Şekil 4.51’de kömür küllerinin ergime derecelerinin değişimleri sunulmuştur. Asidik oksit oranı yüksek olan Çatalağzı kömür külünün ergime sıcaklıkları diğer kömür

küllerinden daha yüksektir. Kemerköy ve Yeniköy kömür küllerinin ergime sıcaklıkları birbirlerine çok yakındır. Bunları Soma ve Yatağan termik santrali izlemektedir.

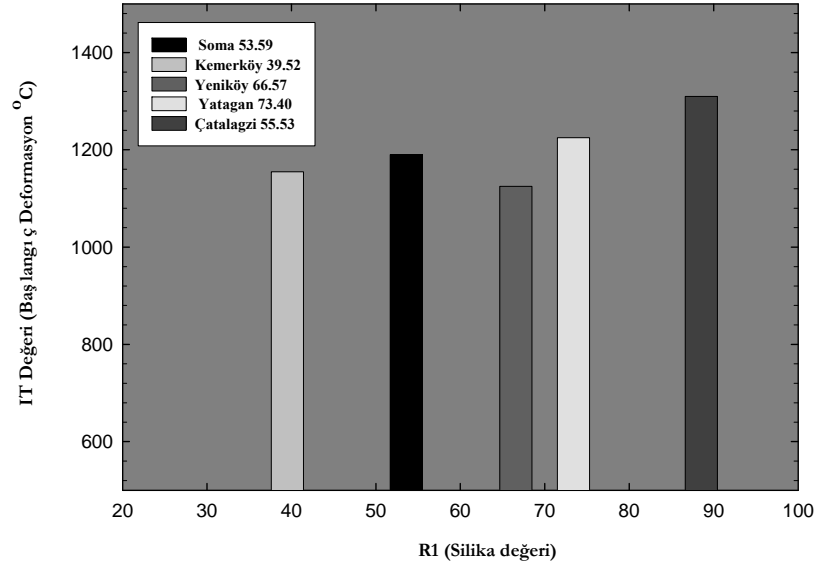


Şekil 4.51 Kömür külleri ergime sıcaklıkları (°C)

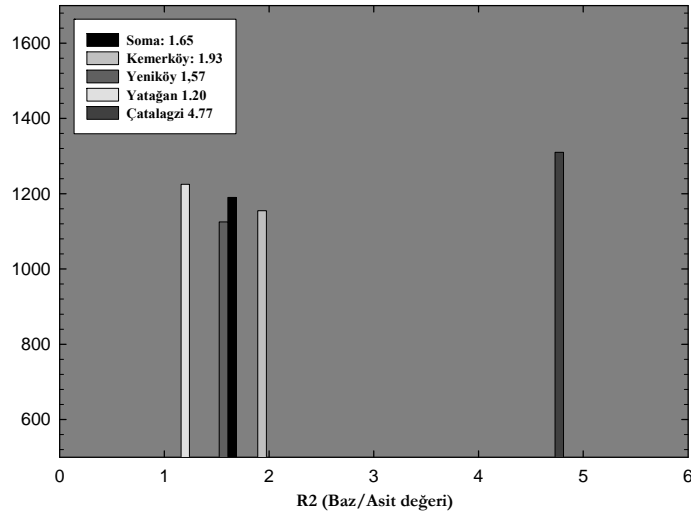
Ergime testlerinde saptanmış olan bu kritik sıcaklıklarla tablo 4.16'da hesapla elde edilen ampirik parametrelerin (bölüm 4.2.3.2'de ayrıntısı verilmiştir) ilişkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar şekil 4.52, 4.53 ve 4.54'te sunulmuştur.

Tablo 4.16 Termik santral kömür kül numunelerinin hesaplanan ampirik değerleri

Element	Kemerköy	Soma	Yeniköy	Yatağan	Çatalağzı
R1	39.52	53.59	66.57	73.40	88.53
R2	1.93	1.65	1.57	1.20	4.77
R3	0.81	0.58	0.38	0.31	0.12
R4	0.62	0.44	0.27	0.22	0.08
R5	1.04	0.63	0.41	0.26	0.43
R6	48.11	60.10	61.30	68.93	82.91
R7	39.10	34.77	23.41	21.63	10.33
R8	53.95	65.81	66.53	74.00	86.13
R9	33.26	29.06	18.18	16.56	7.11
R10	0.12	0.10	0.09	0.07	0.04
R11	0.78	1.27	1.88	2.82	2.06
R12	0.10	0.11	0.10	0.12	0.66
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	2.95	2.92	1.61	1.82	2.82
CaO+MgO	30.31	26.14	16.57	14.74	4.29
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	53.95	65.81	66.53	74	86.13
%S	4.208	1.588	3.928	2.652	0.672
TiO <sub>2</sub>	0.74	0.81	0.85	0.91	0.73



Şekil 4.52 Başlangıç deformasyon sıcaklığı - silika değeri ilişkisi



Şekil 4.53 Başlangıç deformasyon sıcaklığı – R2 değeri ilişkisi

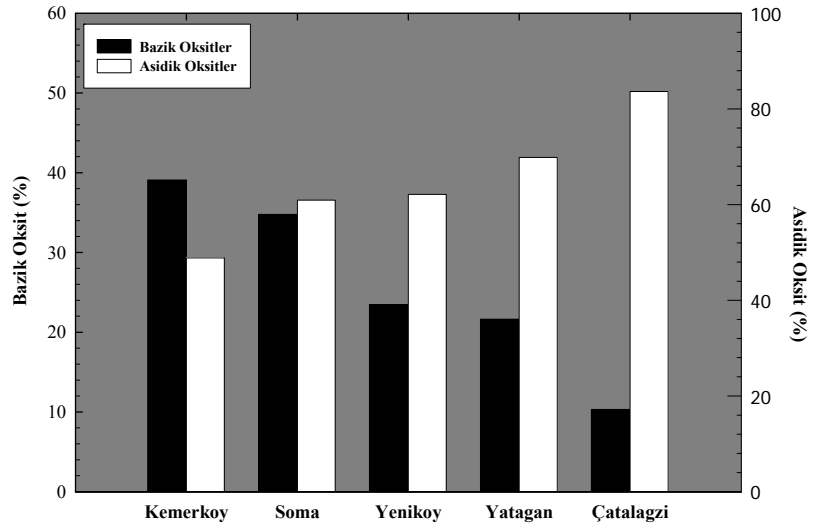
Genel olarak değerlendirdiğimizde Çatalağzi kömür külünün ve Yatağan kömür külünün diğer kömür küllerinden silika değerlerinin (R1) daha yüksek olduğu bunu Soma kömür külünün izlediği görülmektedir. Bu değer yüksek oluşu ergime sıcaklıklarını da yükseltmiştir. Bazı oksitlerin oranı arttıkça R2 değeri düşmektedir. Buda ergime derecelerinin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak yine değerlendirme yaparken küllerin içerdikleri %SO<sub>3</sub> ve %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranları dikkate alınmalıdır. Deneysel

verilerin sonucunda bu oranlardaki artışa bağlı olarak kömür küllerinin ergime derecelerinin düştüğü söylenebilir.

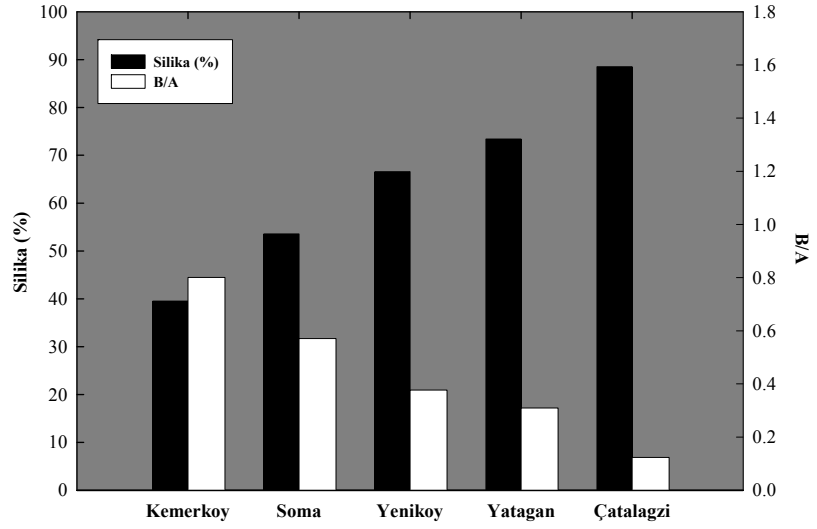
Yapılan kimyasal analizler ışığında curuflaşma özelliğinin belirlenmesi açısından önemli olan bazı indeksler uçucu küllerde olduğu gibi kömür külleri için de hesaplanmış, numunelere ait silika modülü, Bazik oksit/ Asidik oksit (B/A) oranı ve curuflaşma indeksi (Fs) aşağıda tablo ve grafik halinde sunulmuştur.

Tablo 4.17 Kömür külü numunelerine ait curuflaşma eğilim değerleri

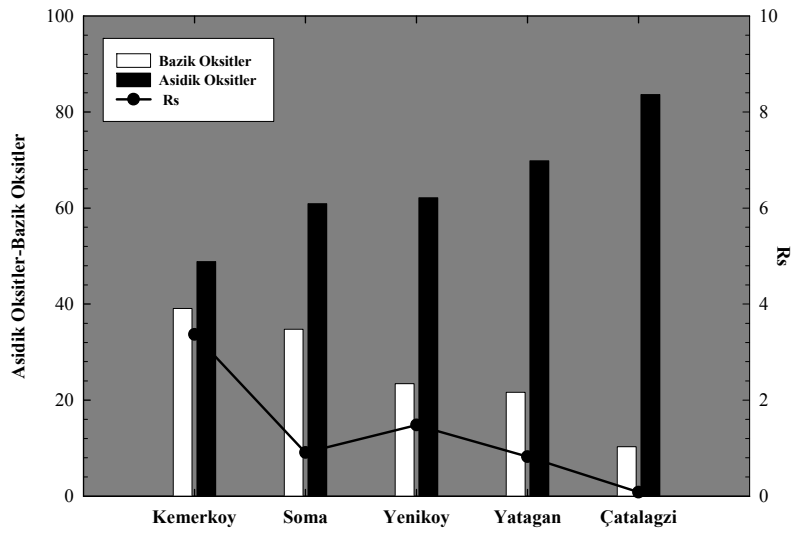
	<b>Kemerköy</b>	<b>Soma</b>	<b>Yeniköy</b>	<b>Yatağan</b>	<b>Çatalağzı</b>
<b>% Silika</b>	39.52	53.59	66.57	73.40	88.53
<b>B/A</b>	0.80	0.57	0.38	0.31	0.12
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	3.37	0.91	1.48	0.82	0.08
<b>Bazik Oksitler</b>	39.1	34.77	23.41	21.63	10.33
<b>Asidik Oksitler</b>	48.85	60.91	62.15	69.84	82.91
<b>Fs (°C)</b>	1170	1214	1153	1238	1324
<b>CaO</b>	29.46	25.48	15.56	13.98	3.12
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	5.84	5.71	5.23	5.07	3.22
<b>IT (°C)</b>	1155	1190	1125	1225	1310
<b>ST (°C)</b>	1210	1265	1245	1250	1340
<b>HT (°C)</b>	1230	1310	1265	1290	1380
<b>FT (°C)</b>	1280	1340	1285	1345	1450



Şekil 4.54 Kömür küllerinin asidik ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.55 Küllerinin silika (%) ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.56 Küllerinin Rs ve asidik-bazik oksit dağılımları

Elementer bileşime bağlı olarak hesaplanan indekslere ve kömür küllerinin ergime derecelerine bakarak bir değerlendirme yapacak olursak Çatalağzı kömürü hariç diğer santrallerde yakılan kömürlerin curuflaşma eğilimlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Curuflaşmanın olmaması için kömür bünyesindeki asit oksit oranının bazik oksit oranından daha yüksek olması gerekmektedir. Çatalağzı kömür külünün asidik oksit oranı bazik oksitlerinin oranından daha büyüktür. Bünye içerisindeki Silika oranı yükseldikçe B/A oranı düşer. Bu yüzden silika oranının yüksek olması curuflaşmayı azaltan bir faktördür. Genel olarak değerlendirdiğimizde Çatalağzı kömür külünün ve Yatağan kömür külünün diğer kömür küllerinden ergime derecelerinin daha yüksek olduğu, bunu Soma kömür külünün izlediği görülmektedir. Soma kömür külünün diğer indeksleri değerlerin üzerinde çıksa da %S oranının düşük olması ergimeyi etkileyen bir parametre olarak görülmektedir.

Genel olarak uçucu kül ve kömür küllerinin ergime noktaları arasında önemli derecelerde olmasa da bir fark olduğu gözlenmiştir. Oluşan bu farkın uçucu kül ve kömür külü numunelerinin kimyasal kompozisyon farklılığından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Uçucu küllerin ergime noktalarının kömür küllerinden daha yüksek olması hesaplanan ampirik değerler ve curuflaşma indekslerin ışığında da beklendiği gibidir.

#### *4.3.6.4 Kömür Külü Karışım Numuneleri Ergime Testi Sonuçları*

Yapılan çalışmalara göre; Ege Bölgesi termik santrallerinde yakılan kömürlere ait küllerin yanma sırasında kazan içerisinde curuflaşma eğilimlerinin fazla olduğu görülmektedir. Bu santrallerde kullanılan kömürler santrallerin bazen yılda iki defa durmasına ve kazan içi temizliklerin yapılmasına sebep olmaktadır. Bu da santraller için büyük bir problemdir.

Deneysel çalışmaların bu kısmında, curuflaşmayı azaltıcı yönde olabilecek kömür ve minerallerin ( $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) karışımları denenmiştir. Bu testler iki kısım halinde gerçekleştirilmiştir.



İlk kısımda kömür küllerinin  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  içerikleri artırılarak asidik oksit oranları yükseltilmiştir. Bu oranlardaki yükselişin yanma sırasındaki curuflaşma eğilimleri ergime sıcaklık noktalarını belirleyerek izlenmiştir.

İkinci kısımda ise yüksek  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  içerikli, düşük CaO ve  $\text{SO}_3$  içerikli Çatalağzı Termik Santral kömürü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmektedir.

#### Kömür küllerinin $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ içeriklerinin değiştirilmesi

Tez çalışmasının bu bölümünde küllerin ergime noktalarını yükseltmek amacıyla kömür külü numunelerine aşağıda kimyasal analizleri verilen kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) ve boksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) numunesi ilave edilmiştir.

Çalışmalarda 10'ar gram numune kullanılmış, her bir numuneye ilave edilecek kuvars yada boksit miktarı numunenin içermesi istenilen %  $\text{SiO}_2$  ve %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranına göre içerik hesabı yapılarak tespit edilmiştir. Hazırlanan karışım numunelerinin kül ergime noktaları belirlenmiş, elde edilen sonuçlar aşağıda tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

#### $\text{SiO}_2$ İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Kömür küllerinin asidik oksit oranlarını artırarak curuflaşma eğilimlerini düşürmek amacıyla her bir numuneye eklenen kuvars numunesinin kimyasal analizi tablo 4.18'de verilmiştir.

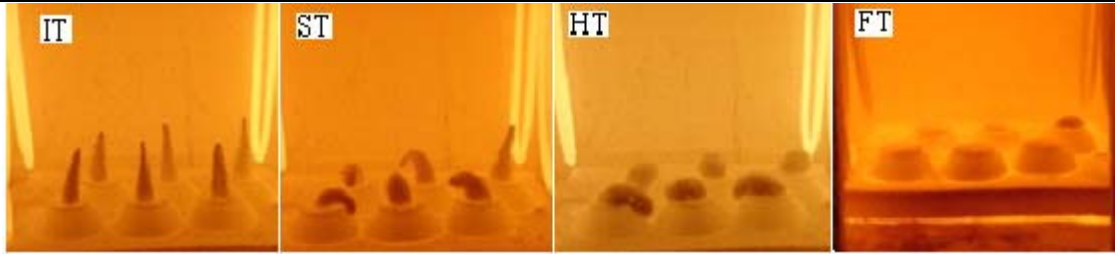
Tablo 4.18 İlave  $\text{SiO}_2$  numunesi kimyasal analiz sonuçları

Element (%)	
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.4
$\text{SiO}_2$	98.8
CaO	0.1
MgO	0.05
$\text{Na}_2\text{O}$	0.6
$\text{K}_2\text{O}$	0.05
KK	-

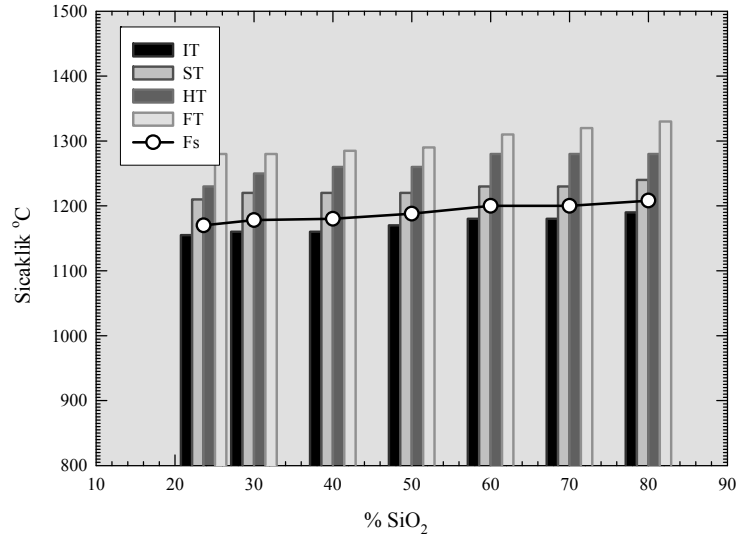
Testler sonucunda elde edilen ergime noktaları tablo 4.19, 4.20, 4.21, 4.22’de verilmektedir. Şekil 4.58, 4.60, 4.62, 4.64’de ise ergime testleri sırasında fırın içerisinde çekilen fotoğraflar, 4.57, 4.59, 4.63, 4.65’de ergime noktaları ve kimyasal içerikleri ile ilgili değerlendirmeleri daha rahat yorumlayabilmek amacıyla çizilen grafikler sunulmuştur.

Tablo 4.19 Kemerköy Numunesi SiO<sub>2</sub> İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Kemerköy (%SiO <sub>2</sub> )	23,62	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %
<b>Baş Def. (IT)</b>	1155	1160	1160	1170	1180	1180	1190
<b>Yumuşama (ST)</b>	1210	1220	1220	1220	1230	1230	1240
<b>Yarım küre (HT)</b>	1230	1250	1260	1260	1280	1280	1280
<b>Akma (FT)</b>	1280	1280	1285	1290	1310	1320	1330
<b>Fs</b>	1170	1178	1180	1188	1200	1200	1208



Şekil 4.57 Kemerköy karışım kömür külünün ergime test görüntüsü

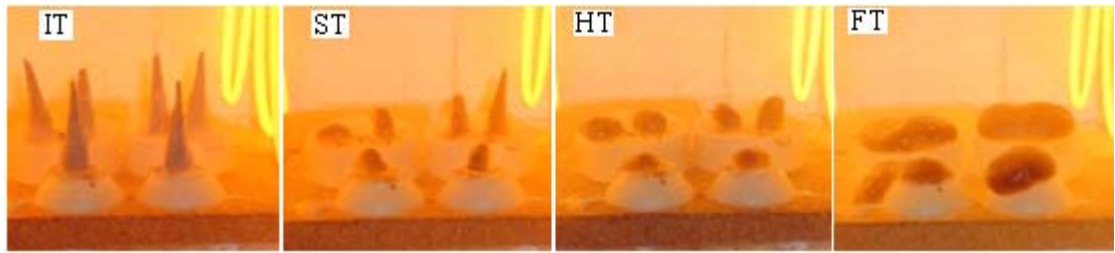


Şekil 4.58 Kemerköy karışım kömür külünün ergime testi sonuçları

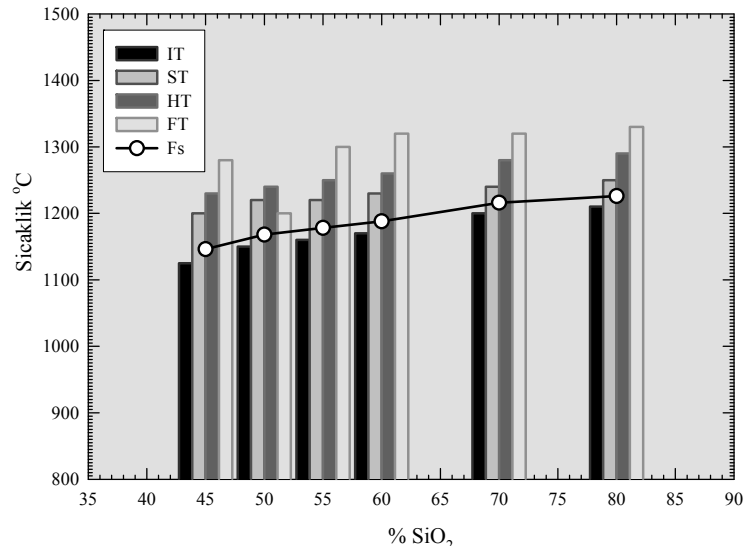
Yapılan deneylerin sonucunda tablo ve grafiklerden de görüldüğü gibi Kemerköy termik santrali kömür külüne belirtilen oranlarda eklenen kuvars numunesi ergime noktalarını bir miktar artırsa da curuflaşma indeksine göre ( $F_s$ ), curuflaşma eğilimlerinin yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Tablo 4.20. Yeniköy Numunesi  $\text{SiO}_2$  İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Yeniköy (% $\text{SiO}_2$ )	43,41	45%	50%	55%	60%	70%	80%
<b>Baş Def. (IT)</b>	1125	1125	1150	1160	1170	1200	1210
<b>Yumuşama (ST)</b>	1245	1200	1220	1220	1230	1240	1250
<b>Yarım küre (HT)</b>	1265	1230	1240	1250	1260	1280	1290
<b>Akma (FT)</b>	1285	1280	1200	1300	1320	1320	1330
<b><math>F_s</math></b>	1153	1146	1168	1178	1188	1216	1226



Şekil 4.59 Yeniköy karışım kömür küllerinin ergime test görüntüsü



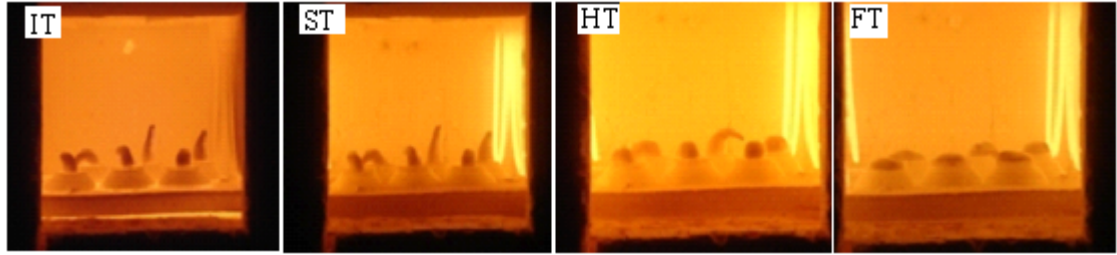
Şekil 4.60 Yeniköy karışım kömür küllerinin ergime testi sonuçları

Yeniköy termik santral kömür külünün de Kemerköy termik santral kömür külünde

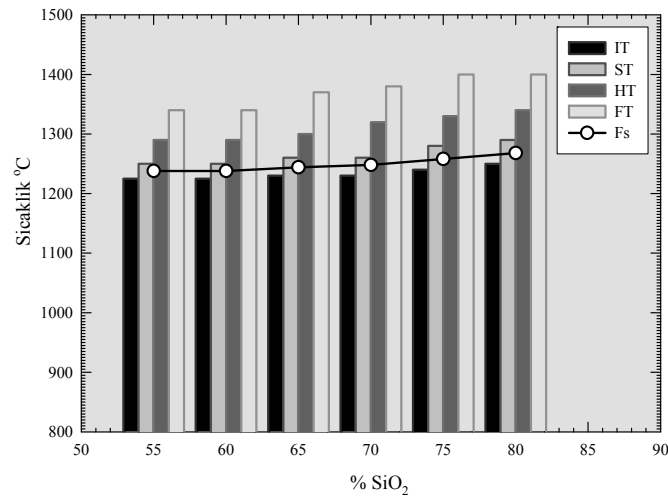
olduğu gibi ergime noktaları bir miktar artmış ancak bu artış kazan içerisinde meydana gelebilecek curuflaşma eğilimini düşürmeye yetecek derecede olmamaktadır. Bu sonuçtan dışarıdan ilave edilecek serbest kömür külleri ile aynı boyuta getirilen serbest  $\text{SiO}_2$ 'nin reaksiyon gelişimi ile ilgili olarak, ergime derecesine önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür. Kömür mineral maddesi içerisinde bulunan silisin bir kısmı farklı formlarda (silikat vb.) bulunduğundan ısı etkisi altında reaksiyona katılım şekilleri de değişken olmaktadır.

Tablo 4.21 Yatağan Numunesi  $\text{SiO}_2$  İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Yatağan (% $\text{SiO}_2$ )	54,65	55%	60%	65%	70%	75%	80%
Baş Def. (IT)	1225	1225	1225	1230	1230	1240	1250
Yumuşama (ST)	1250	1250	1250	1260	1260	1280	1290
Yarım küre (HT)	1290	1290	1290	1300	1320	1330	1340
Akma (FT)	1340	1340	1340	1370	1380	1400	1400
Fs	1238	1238	1238	1244	1248	1258	1268



Şekil 4.61 Yatağan karışım kömür küllerinin ergime test görüntüsü

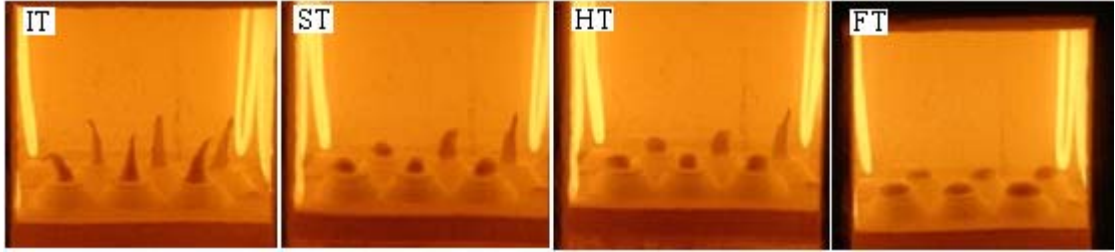


Şekil 4.62 Yatağan karışım kömür küllerinin ergime testi sonuçları

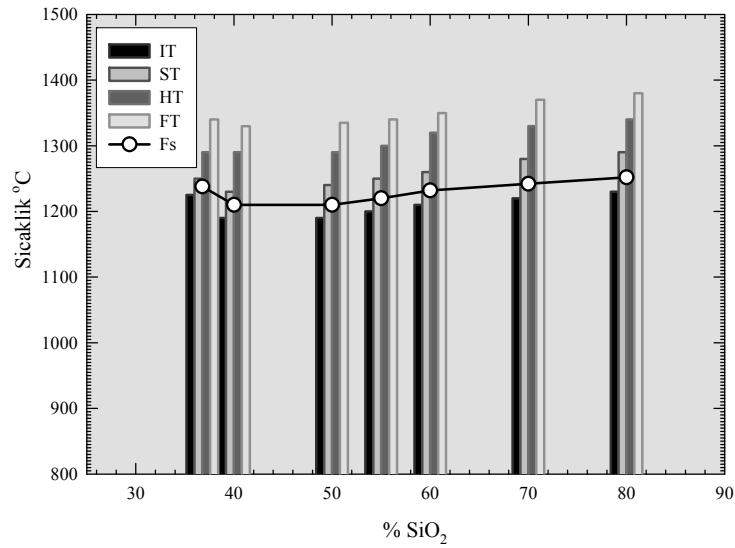
Yatağan kömür külünde ise ilave edilen  $\text{SiO}_2$  miktarı arttıkça ergime noktaları da bir miktar yükselmiş ve curuflaşma eğiliminin yüksekte orta dereceye doğru olumlu bir şekilde değiştiği gözlenmiştir.

Tablo 4.22 Soma Numunesi  $\text{SiO}_2$  İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Soma (% $\text{SiO}_2$ )	36,78	40%	50%	55%	60%	70%	80%
Baş Def. (IT)	1225	1225	1225	1230	1230	1240	1250
Yumuşama (ST)	1250	1250	1250	1260	1260	1280	1290
Yarım küre (HT)	1290	1290	1290	1300	1320	1330	1340
Akma (FT)	1340	1340	1340	1370	1380	1400	1400
Fs	1238	1238	1238	1244	1248	1258	1268



Şekil 4.63 Soma karışım kömür külünün ergime test görüntüsü



Şekil 4.64 Soma karışım kömür külünün ergime testi sonuçları

Soma kömür külünde de yatağan kömür külünde olduğu gibi ilave edilen  $\text{SiO}_2$  miktarının artırılması curuflaşma eğilimi üzerinde olumlu bir rol oynamıştır.

Curuflaşıma eğiliminin azaldığı gözlemlenmiştir.

*Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri*

Kömür küllerinin asidik oksit oranlarını artırarak curuflaşıma eğilimlerini düşürmek amacıyla her bir numuneye eklenen boksit numunesinin kimyasal analizi tablo 4.23’de verilmiştir.

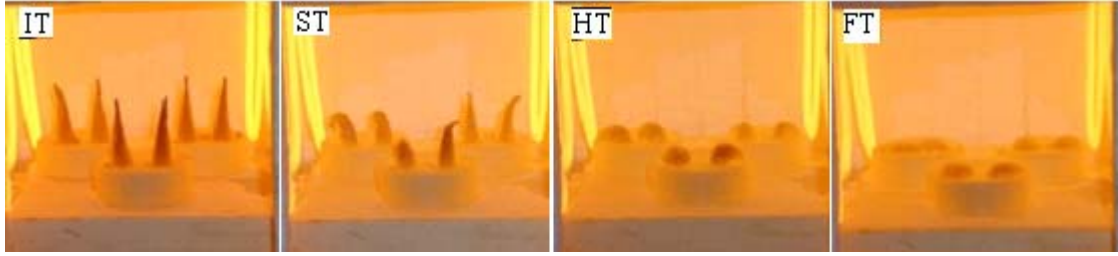
Tablo 4.23. İlave Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> numunesi kimyasal analiz sonuçları

Element (%)	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	92.23
SiO <sub>2</sub>	4.77
CaO	1.25
MgO	0
Na <sub>2</sub> O	0.2
K <sub>2</sub> O	1.5
KK	-

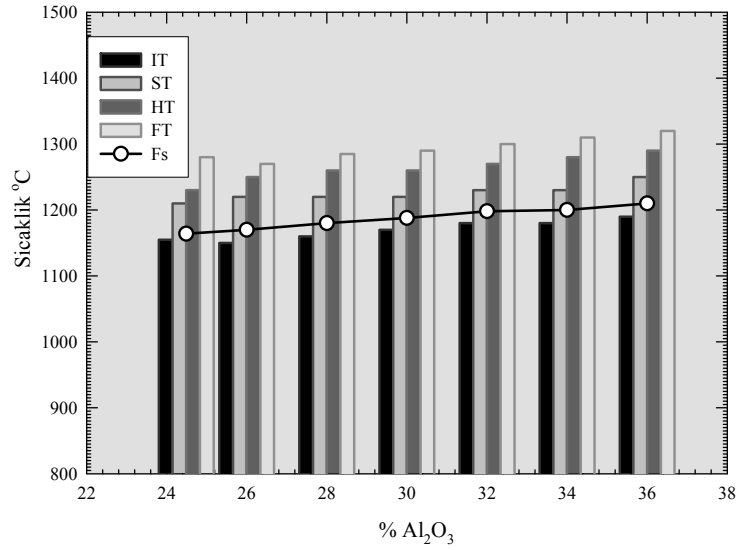
Testler sonucunda elde edilen ergime noktaları tablo 4.24, 4.25, 4.26 4.27’de verilmektedir. Şekil 4.66, 4.68, 4.70, 4.72’de ise ergime testleri sırasında fırın içerisinde çekilen fotoğraflar, 4.65, 5.67, 4.69, 7.71’de ergime noktaları ve kimyasal içerikleri ile ilgili değerlendirmeleri daha rahat yorumlayabilmek amacıyla çizilen grafikler sunulmuştur.

Tablo 4.24 Kemerköy Numunesi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Kemerköy (%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	24.49	26%	28%	30%	32%	34%	36%
<b>Baş Def. (IT)</b>	1155	1150	1160	1170	1180	1180	1190
<b>Yumuşama (ST)</b>	1210	1220	1220	1220	1230	1230	1250
<b>Yarım küre (HT)</b>	1230	1250	1260	1260	1270	1280	1290
<b>Akma (FT)</b>	1280	1270	1285	1290	1300	1310	1320
Fs	1170	1170	1180	1188	1198	1200	1210



Şekil 4.65 Kemerköy karışım kömür külünün ergime test görüntüsü

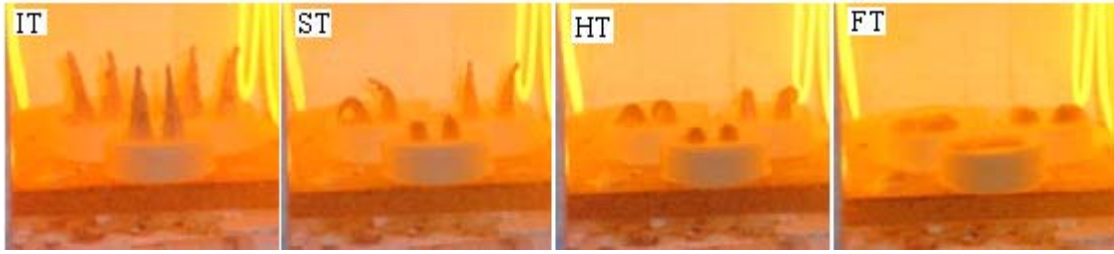


Şekil 4.66 Kemerköy karışım kömür külünün ergime testi sonuçları

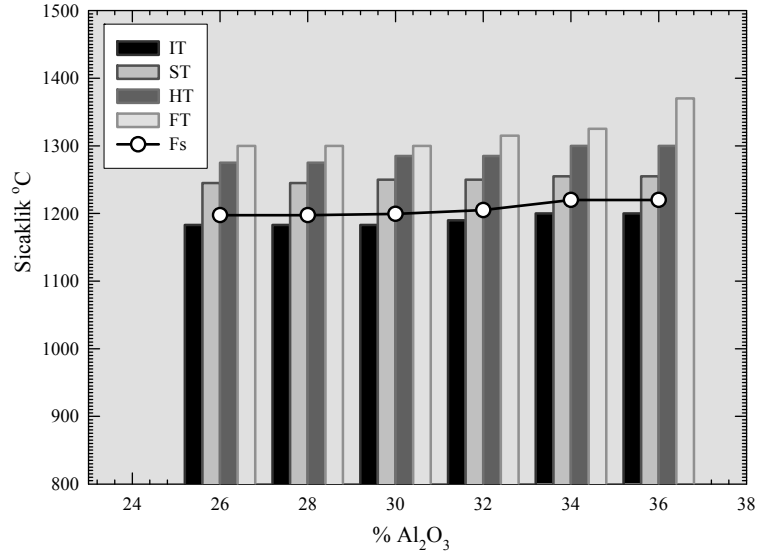
Yapılan deneylerin sonucunda tablo ve grafiklerden de görüldüğü gibi Kemerköy termik santrali kömür külüne belirtilen oranlarda eklenen boksit numunesi ergime noktalarını bir miktar artırsa da curuflaşma indeksine göre ( $F_s$ ), curuflaşma eğilimleri yüksek çıkmıştır.

Tablo 4.25 Yeniköy Numunesi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Yeniköy (%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	17,89	26%	28%	30%	32%	34%	36%
<b>Baş Def. (IT)</b>	1125	1183	1183	1183	1190	1200	1200
<b>Yumuşama (ST)</b>	1245	1245	1245	1250	1250	1255	1255
<b>Yarım küre (HT)</b>	1265	1275	1275	1285	1285	1300	1300
<b>Akma (FT)</b>	1285	1300	1300	1300	1315	1325	1370
<b>F<sub>s</sub></b>	1153	1197.4	1197.4	1199.4	1205	1220	1220



Şekil 4.67 Yeniköy karışım kömür küllerinin ergime test görüntüsü



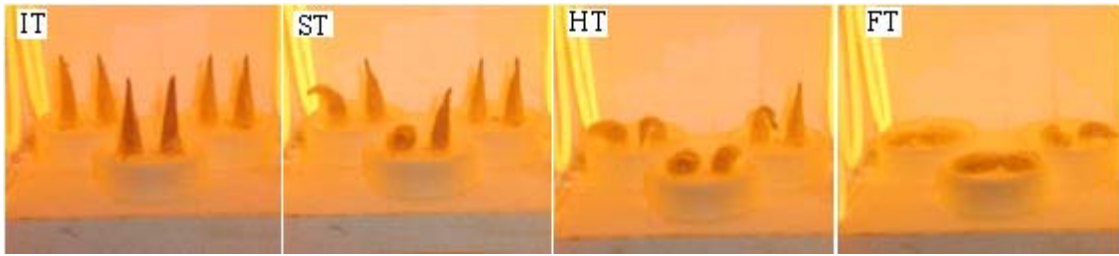
Şekil 4.68 Yeniköy karışım kömür küllerinin ergime testi sonuçları

Yapılan deneylerin sonucunda tablo ve şekil 4.67'ye baktığımızda Yeniköy termik santrali kömür külüne belirtilen oranlarda eklenen boksit numunesi sonucunda, Kemerköy termik santrali kömür külünde olduğu ergime noktalarını bir miktar artırmıştır. Ancak curuflaşma indeksine göre ( $F_s$ ), curuflaşma eğilimleri yüksek çıkmıştır.

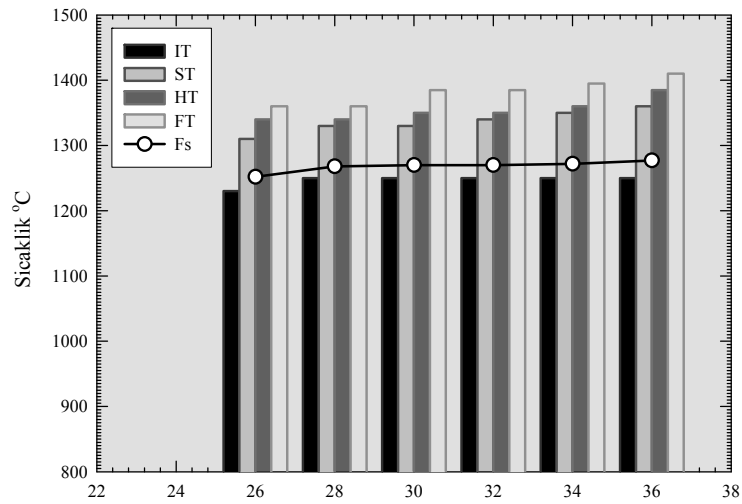
Tablo 4.26. Yatağan Numunesi Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Yatağan (%Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	14,28	26%	28%	30%	32%	34%	36%
Baş Def. (IT)	1225	1230	1250	1250	1250	1250	1250
Yumuşama (ST)	1250	1310	1330	1330	1340	1350	1360
Yarım küre (HT)	1290	1340	1340	1350	1350	1360	1385
Akma (FT)	1345	1360	1360	1385	1385	1395	1410
F <sub>s</sub>	1238	1252	1268	1270	1270	1272	1277





Şekil 4.69 Yatağan karışım kömür küllerinin ergime test görüntüsü

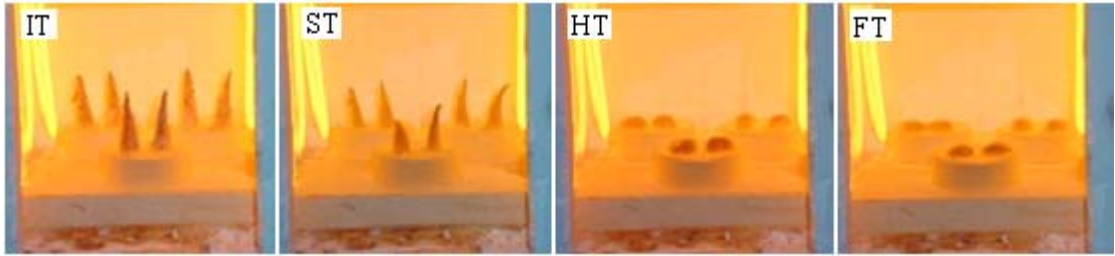


Şekil 4.70 Yatağan karışım kömür küllerinin ergime testi sonuçları

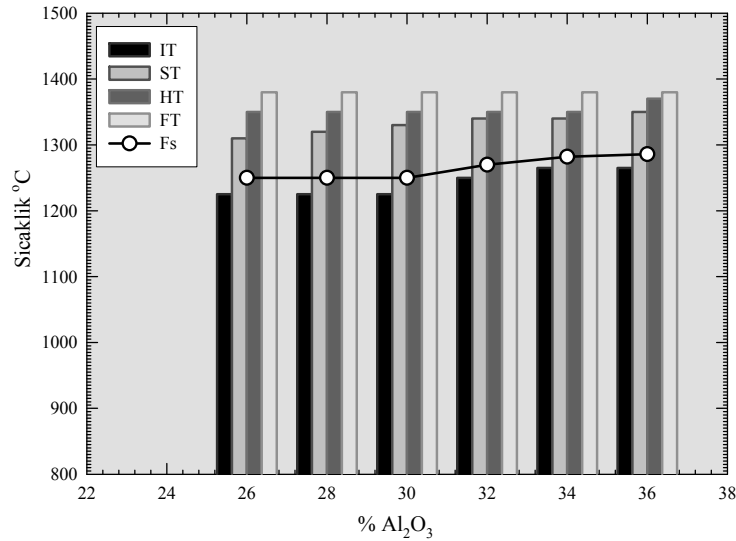
Yapılan deneylerin sonucunda tablo ve grafiklerden de görüldüğü gibi Yatağan termik santrali kömür külüne belirtilen oranlarda eklenen boksit numunesi ergime noktalarını artırmıştır. Kemerköy ve Yeniköy santral kömür küllerinin aksine curuflaşma indeksine göre ( $F_s$ ), curuflaşma eğilimlerini yüksekte ortaya düşürmüştür. Bu sebeple  $Al_2O_3$  ilavesi ile bu santral kömür küllünün iyileştirilebileceği söylenebilir.

Tablo 4.27 Soma Numunesi  $Al_2O_3$  İlavesi İle Yapılan Kömür Külü Ergime Testleri

Soma (% $Al_2O_3$ )	23,32	26%	28%	30%	32%	34%	36%
Baş Def. (IT)	90	1225	1225	1225	1250	1265	1265
Yumuşama (ST)	1265	1310	1320	1330	1340	1340	1350
Yarım küre (HT)	1310	1350	1350	1350	1350	1350	1370
Akma (FT)	1340	1380	1380	1380	1380	1380	1380
$F_s$	1214	1250	1250	1250	1270	1282	1286



Şekil 4.71 Soma karışım kömür küllerinin ergime test görüntüsü



Şekil 4.72 Soma karışım kömür küllerinin ergime testi sonuçları

Deneyin sonucunda tablo ve grafiklerden de görüldüğü gibi Soma termik santrali kömür külüne belirtilen oranlarda eklenen boksit numunesi ergime noktalarını Yatağan kömür külünde olduğu gibi artırmıştır. Curuflaşma indeksine baktığımızda ( $F_s$ ), curuflaşma eğiliminin yüksekten ortaya düştüğü görülmektedir.  $Al_2O_3$  ilavesi ile bu santral kömür küllünün iyileştirilebileceği söylenebilir.

#### Kömür küllerine Çatalağzı Termik Santral kömür külü ilavesi

Termik santral kömür küllerine dışarıdan  $Al_2O_3$  ve  $SiO_2$  ilave edilerek ergime noktaları yükseltilmeye çalışılmıştır. Ancak kömürün kendi bünyesinden gelmeyen bu katkıların ergime noktaları üzerinde yeterince etkili olmadığı görülmüş ve kömüre dışarıdan ilave yerine yüksek asidik oksitler içeren bir başka kömürün karıştırılarak değişimlerinin incelenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla Zonguldak'ta bulunan

Çatalağzı Termik Santraline beslenen kömür getirilmiş ve kömür karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin ergime testlerinden önce kimyasal analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar tablo 4.26’da sunulmuştur. Aşağıda kömür külleri karışımlarının kimyasal analiz sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.28 %50 K/S/Y/Ya-%50 Ç termik santral kömür küllerinin kimyasal bileşimleri

Element	50K/50Ç	50S/50Ç	50Y/50Ç	50Ya/50Ç
CaO (%)	16.45	14.71	9.77	8.3
SiO <sub>2</sub> (%)	39.95	46.09	50.54	57.04
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	24.59	23.22	20.15	18.75
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	4.61	4.37	4.27	3.99
MgO (%)	1.03	1.01	1.06	0.98
SO <sub>3</sub> (%)	6.25	2.9	6.02	4.31
Na <sub>2</sub> O (%)	0.55	0.71	0.41	0.38
K <sub>2</sub> O (%)	2.38	2.23	1.88	2
KK	0.15	0.17	0.63	0.15

Tablo 4.29 %50 K/S/Y/Ya-%50 Ç termik santral kömür külü numunelerinin hesaplanan ampirik değerleri

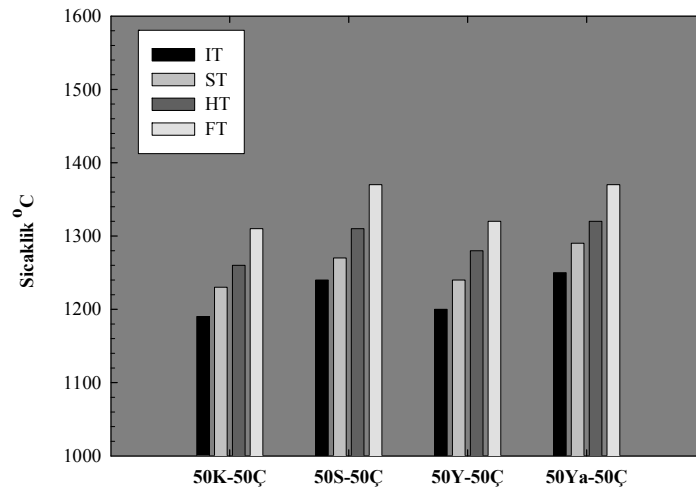
	50K/50Ç	50S/50Ç	50Y/50Ç	50Ya/50Ç
R1	64,39	69,64	77,00	81,13
R2	2,36	2,24	2,32	2,27
R3	0,39	0,33	0,25	0,21
R4	0,30	0,25	0,18	0,15
R5	0,62	0,50	0,40	0,33
R6	64,54	69,31	70,69	75,79
R7	25,02	23,03	17,39	15,65
R8	69,15	73,68	74,96	79,78
R9	20,41	18,66	13,12	11,66
R10	0,07	0,06	0,06	0,05
R11	1,37	1,67	2,07	2,51
R12	0,17	0,19	0,21	0,26
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	2,93	2,94	2,29	2,38
CaO+MgO	17,48	15,72	10,83	9,28
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	69,15	73,68	74,96	79,78
%S	2,5	1,16	2,408	1,724

Tablo 4.28’de termik santral kömür külü numunelerine %50 oranında Çatalağzı kömür külünün ilave edilmesi ile elde edilen karışım numunelerine ait ampirik değerler sunulmuştur. Bu numunelere ait kül ergime testleri yapılmış ve elde edilen değerle göre (tablo 4.30) ilave edilen Çatalağzı kömür külünün curuflaşmaya olan etkisi

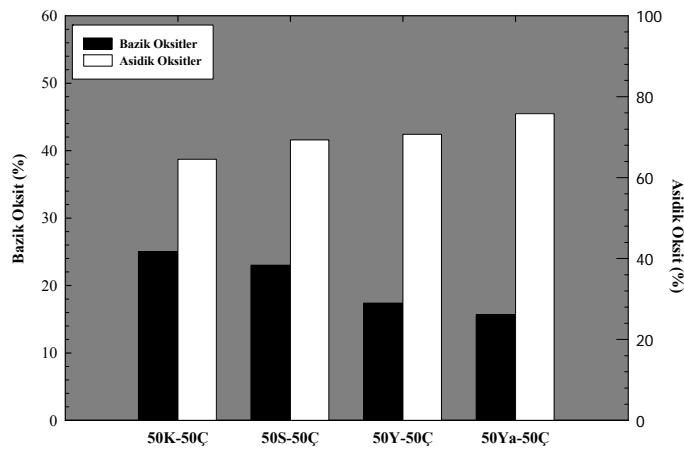
araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çizilen grafikler şekil 5.73, 5.74, 5.75, 5.76'da sunulmuştur.

Tablo 4.30 Termik santral karışım kül numunelerinin ergime sıcaklıkları (°C)

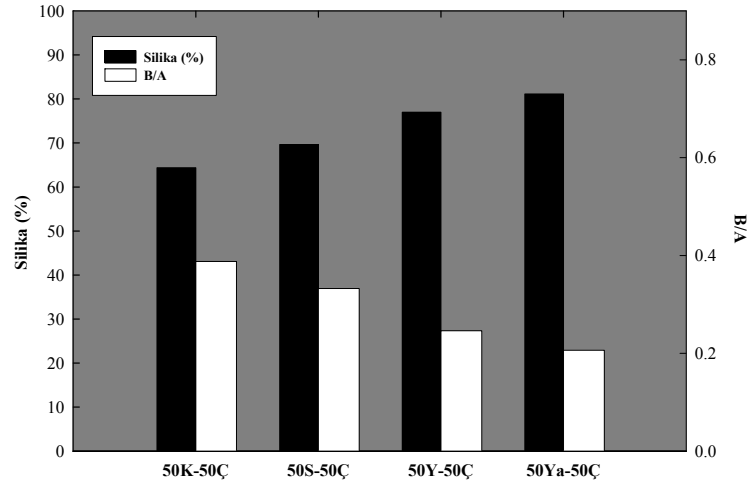
Ergime Dereceleri	50K/50Ç	50S/50Ç	50Y/50Ç	50Ya/50Ç
IT	1190	1240	1200	1250
ST	1230	1270	1240	1290
HT	1260	1310	1280	1320
FT	1310	1370	1320	1370
<b>F<sub>s</sub></b>	<b>1204</b>	<b>1254</b>	<b>1216</b>	<b>1264</b>



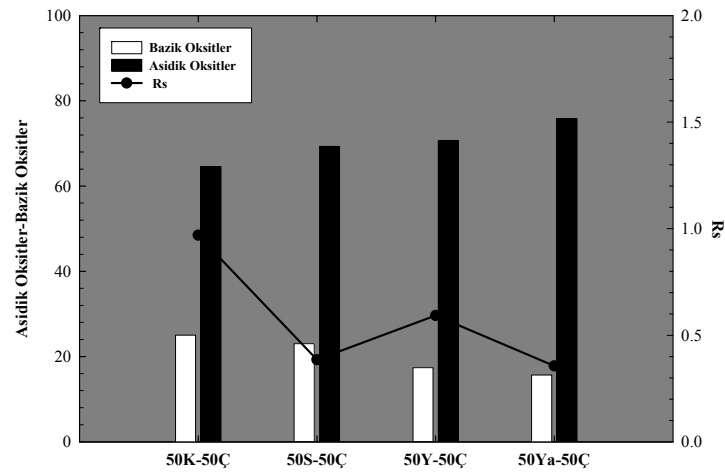
Şekil 4.73 %50 K/S/Y/Ya-%50 Ç Termik santral kömür küllerinin ergime sıcaklıkları (°C)



Şekil 4.74 %50 K/S/Y/Ya-%50 Ç Termik santral kömür küllerinin asidik ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.75 %50 K/S/Y/Ya-%50 Ç Termik santral kömür küllerinin silika (%) ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.76 %50 K/S/Y/Ya-%50 Ç Termik santral kömür küllerinin Rs ve asidik-bazik oksit dağılımları

%50 karışım oranında diğer kömür küllerine ilave edilen Çatalağzı kömür külünün, çizilen grafiklerden de görüldüğü üzere karışım külleri ile elde edilen kömür küllerinin ergime sıcaklıklarının arttığı gözlenmektedir. Bazik oksit içeriği düşük olan bu kömür külünün ilave edilmesi sonucunda Soma ve Yatağan termik santral kömür küllerinin

curuflaşıma eğilimleri azalmıştır. Ancak SiO<sub>2</sub> ilavesi ile yaptığımız testlere kıyasla ergime noktalarının üzerinde daha etkili olduğu dolayısıyla curuflaşıma eğilimlerini düşürdüğünü söyleyebiliriz.

Tablo 4.31’de %25 kömür külü numunelerine %75 Çatalağzı kömür külü ilavesi ile elde edilen karışım kömür küllerinin kimyasal analiz sonuçları verilmiştir. Tablo 31’de hesaplanan ampirik değerler verilmektedir.

Tablo 4.31 %25 K/S/Y/Ya-%75 Ç Termik santral kömür küllerinin kimyasal bileşimleri

Element	25K/75Ç	25S/75Ç	25Y/75Ç	25Ya/75Ç
CaO (%)	9.54	8.62	6.12	5.87
SiO <sub>2</sub> (%)	49.57	52.20	54.34	56.99
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	24.09	24.76	23.30	21.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3.77	3.93	3.68	3.72
MgO (%)	1.10	1.08	1.05	1.07
SO <sub>3</sub> (%)	4.02	2.34	3.78	2.89
Na <sub>2</sub> O (%)	0.55	0.65	0.44	0.39
K <sub>2</sub> O (%)	2.26	2.22	2.02	2.11
KK	0.19	0.18	0.43	0.13

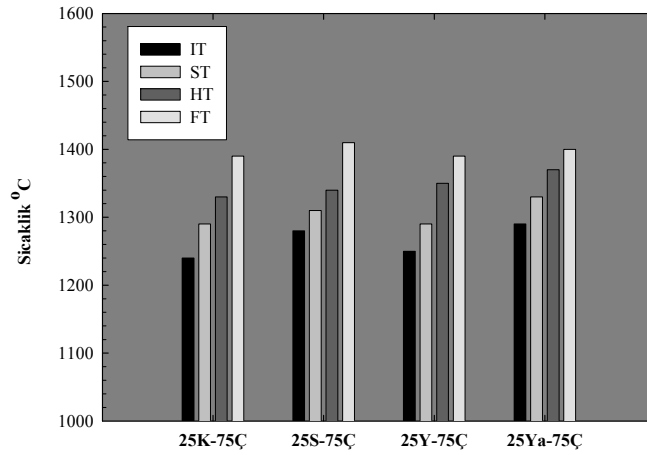
Tablo 4.32 %25 K/S/Y/Ya-%75 Ç termik santral kömür külü numunelerinin hesaplanan ampirik değerleri

	25K/75Ç	25S/75Ç	25Y/75Ç	25Ya/75Ç
R1	77,48	79,30	83,36	84,24
R2	3,02	3,18	3,52	3,15
R3	0,23	0,21	0,17	0,17
R4	0,17	0,16	0,12	0,11
R5	0,49	0,47	0,43	0,38
R6	73,66	76,96	77,64	78,47
R7	17,22	16,50	13,31	13,16
R8	77,43	80,89	81,32	82,19
R9	13,45	12,57	9,63	9,44
R10	0,05	0,05	0,05	0,05
R11	1,78	1,82	2,01	2,26
R12	0,26	0,30	0,34	0,36
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	2,81	2,87	2,46	2,5
CaO+MgO	10,64	9,7	7,17	6,94
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	77,43	80,89	81,32	82,19
%S	1,608	0,936	1,512	1,156

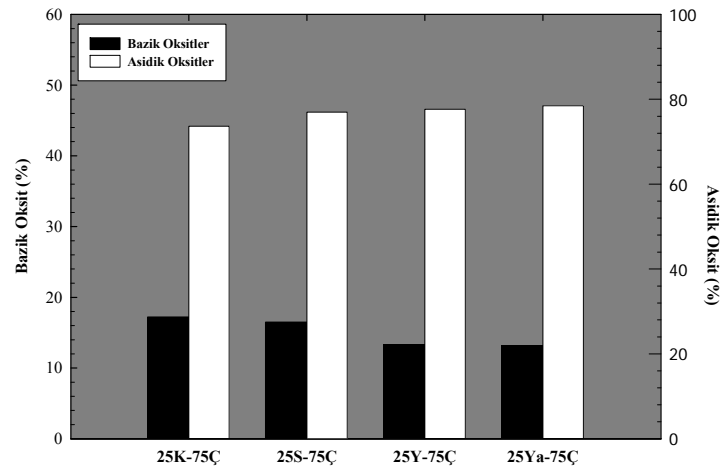
%75 oranlarında ilave edilen Çatalağzı kömür külü karışım oranlarının ergime dereceleri saptanmış aşağıda tablo 4.32’de sunulmuştur.

Tablo 4.33 Termik santral karışım kül numunelerinin ergime sıcaklıkları (°C)

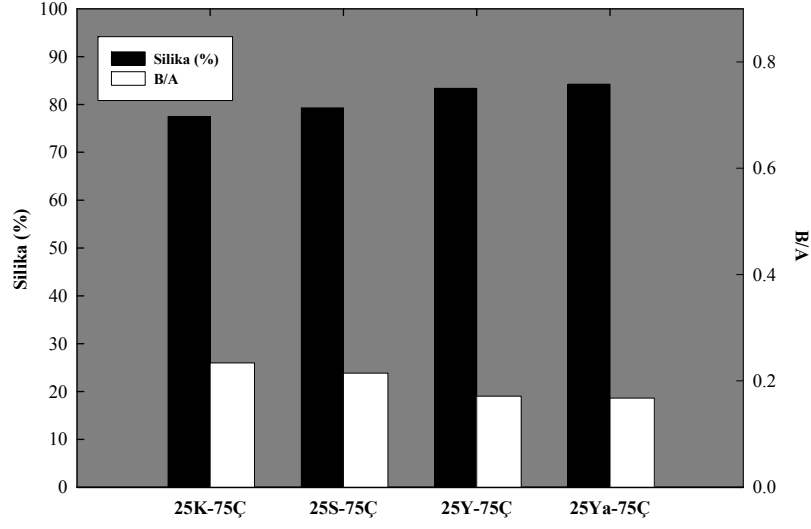
Ergime Dereceleri	25K/75Ç	25S/75Ç	25Y/75Ç	25Ya/75Ç
IT	1240	1280	1250	1290
ST	1290	1310	1290	1330
HT	1330	1340	1350	1370
FT	1390	1410	1390	1400
<b>F<sub>s</sub></b>	<b>1258</b>	<b>1292</b>	<b>1270</b>	<b>1306</b>



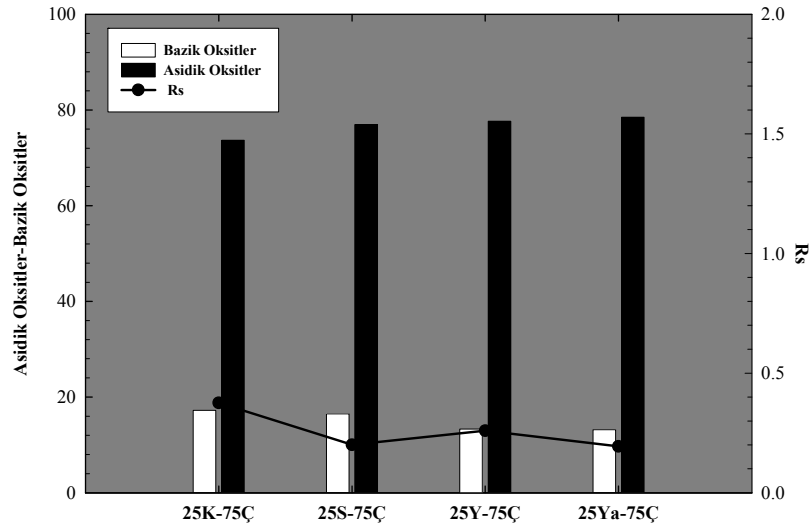
Şekil 4.77 %25 K/S/Y/Ya-%75 Ç Termik santral kömür küllerinin ergime sıcaklıkları (°C)



Şekil 4.78 %25 K/S/Y/Ya-%75 Ç Termik santral kömür küllerinin asidik ve bazik oksit dağılımları



Şekil 5.79 %25 K/S/Y/Ya-%75 Ç Termik santral kömür küllerinin silika (%) ve bazik oksit dağılımları



Şekil 5.80 %25 K/S/Y/Ya-%75 Ç Termik santral kömür küllerinin Rs ve asidik-bazik oksit dağılımları

Tablo 4.33 ve şekil 5.77'den de görüldüğü gibi Çatalağzı Termik Santral kömür külünün diğer küllere ağırlıkça %75 oranında eklenmesi sonucunda küllerin ergime derecelerinin de yükseldiği gözlenmiştir. Yine elde edilen karışımların curuflaşma indeksleri hesap edilerek elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.



Tablo 4.34’de curuflaşmanın olmaması için literatürde öngörülen değerler verilmiştir. Tablo 4.35’de ise karışım kömür küllerine ait değerler verilmiştir.

İstenen değerlerle çalışmalar sonucunda elde edilen verileri değerlendirecek olursak (Şekil 4.78, 4.79, 4.80) karışım küllerinin curuflaşma eğilimlerinin azaldığını söylemek mümkündür. Yine bu indeksleri tek başına değerlendirmek yerine bütün kimyasal içerikleri göz önünde bulundurmalıyız. Bu amaçla hesap yoluyla elde edilen ampirik değerleri incelediğimizde karışım kömür küllerinin başlangıç değerlerine göre daha az curuflaşmaya neden olabileceği öngörülmektedir. Soma ve Yeniköy karışım kömür küllerinin değerlerine baktığımızda, Yeniköy termik santral kömür külünün daha yüksek silika oranına sahip olması nedeniyle ergime noktasının daha yüksek olması beklenirken, kül ergime testleri sonucunda Soma Termik Santral kömür külünün ergime derecesinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu ergime derecesi üzerinde oldukça etkili olan %S değeri ile açıklanabilir. Soma kömür külünün %S değeri, Yeniköy kömür külünden daha azdır. Buda %S oranının curuflaşma eğilimi üzerinde etkili bir parametre olduğunu göstermektedir.

Tablo 5.34 Numunelerin olması gereken değerleri

	<b>İstenen Değer</b>
<b>Silika (%)</b>	> %86
<b>B/A</b>	< %0,11
<b>Rs</b>	< % 0,6
<b>CaO</b>	%5-40
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	< %6

Tablo 5.35 Termik santral karışım kül numunelerine ait curuflaşma eğilim değerleri

	<b>25K/75Ç</b>	<b>25S/75Ç</b>	<b>25Y/75Ç</b>	<b>25Ya/75Ç</b>	<b>50K/50Ç</b>	<b>50S/75Ç</b>	<b>50Y/50Ç</b>	<b>50Ya/50Ç</b>
<b>% Silika</b>	77,48	79,30	83,36	84,24	64,39	69,64	77,00	81,13
<b>B/A</b>	0,23	0,21	0,17	0,17	0,39	0,33	0,25	0,21
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	0,38	0,20	0,26	0,19	0,97	0,39	0,59	0,36
<b>Bazik Oksitler</b>	17,22	16,5	13,31	13,16	25,02	23,03	17,39	15,65
<b>Asidik Oksitler</b>	73,66	76,96	77,64	78,47	64,54	69,31	70,69	75,79
<b>Fs (°C)</b>	1258	1292	1270	1306	1204	1254	1216	1264
<b>CaO</b>	9,54	8,62	6,12	5,87	16,45	14,71	9,77	8,3
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	3,77	3,93	3,68	3,72	4,61	4,37	4,27	3,99

#### 4.3.7 Termik Santral Kazan İçi Profilleri

Termik santrallerde meydana gelen curuflaşmaların teorik olarak nasıl meydana geldiği, kimyasal ve mineralojik yapıyla ilişkileri daha önceki başlıklar altında, santrallerden alınan kömür ve kül örnekleri üzerinde yapılan analizler sonucunda saptanmaya çalışılmış ve elde edilen bulgular sunulmuştur.

Tez çalışmasının bu kısmında ise, laboratuvar çapta yapılan bu çalışmaların pratikte nasıl olduğunun ve santrallerde kazan içinde oluşan curufun, kimyasal ve mineralojik profilinin belirlenmesi amacıyla santrallerin temizlenmesi sırasında kazan içinden numuneler alınmıştır. Şekil 4.81’de kazan içerisinden nasıl numune alındığı gösterilmekte Şekil 4.82’de ise alınan numunelerin kotlara göre çekilen fotoğrafları verilmektedir.



Şekil 4.81 Kemerköy Termik Santralinden Numune Alma

Kazan içinden yöntemine uygun olarak kot kot alınan numuneler analizleri yapılmak üzere hazırlanmıştır.



Şekil 4.82 Kemerköy termik santrali kazan içi curuf numuneleri



Şekil 4.83 Yeniköy termik santrali kazan içi curuf numuneleri

Şekil 4.82 ve 4.83'den de görüldüğü üzere Kemerköy Termik Santral curuf numunelerinin kazan yüzeyine yapışmış iç kısımlarının kırmızımsı renk ve dış kısmının ise kahverengi ve grimsi olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca üst kotlara doğru curufların sertliğinin arttığı ve daha keskin sarkıklar meydana getirmiş bir görüntü oluşturduğu söylenebilir.

Yeniköy termik santral curuf numunelerine baktığımızda ise malzemenin iç kısımlarının daha kırmızı olduğu ancak bu tabakanın kalınlığının az olduğu genelinde ise grimsi yer yer siyah ve kahverengi olduğu söylenebilir. Üst kotlara doğru malzemenin daha gevrek bir yapıya sahip olduğu gözlenmiştir.

Soma ve Yatağan termik santrallerinden ise numuneler santrallerdeki temizlenme sırasında görevli mühendis tarafından alındığı için fotoğraflanamamıştır. Aşağıda Kemerköy ve Yeniköy termik santral kazan içi duvarlarının genel görüntüsü sunulmuştur.



Şekil 4.84 Kemerköy Termik Sanrali Kazan İçi Genel Görüntüsü (34. m)



Şekil 4.85 Yeniköy Termik Sanrali Kazan İçi Genel Görüntüsü (34. m)

Alınan tüm numunelerin kimyasal ve mineralojik analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında kazan içi profilinin kimyasal ve mineralojik kompozisyon dağılımları

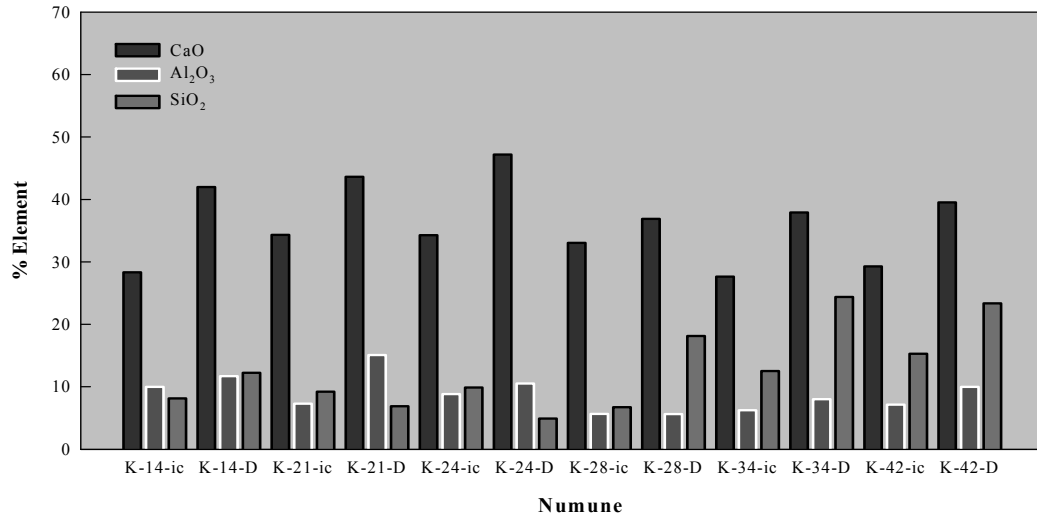
çıkarılmış ve curuflaşma değerlerinin grafikleri çizilerek değerlendirilmiştir.

#### 4.3.7.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

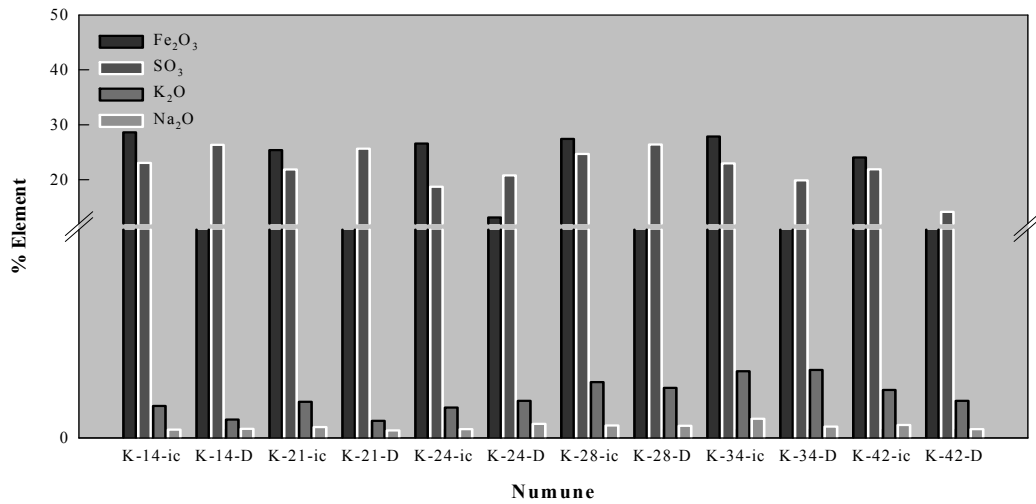
Numuneler 105°C’de etüvde kurutulduktan sonra iç ve dış yüzey olarak ayrılmış kimyasal analiz boyutuna getirilmek üzere agat değirmende öğütülmüştür. Daha sonra bölüm 4.2.1.’de anlatıldığı üzere kimyasal yapısı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar tablo 4.36’da verilmiş olup bu değerlere göre hesaplanan ampirik değerlerin grafikleri aşağıda sunulmuştur.

Tablo 4.36 Termik Santral Curuf Numunelerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	SO <sub>3</sub>
K-14-İç	28,34	0,65	0,20	0,77	8,15	28,63	9,98	0,19	23,03
K-14-Dış	42,00	1,51	0,22	0,44	12,25	5,43	11,71	0,05	26,35
K-21-İç	34,33	0,68	0,26	0,87	9,21	25,39	7,31	0,05	21,85
K-21-Dış	43,63	1,51	0,18	0,41	6,89	6,56	15,09	0,05	25,64
K-24-İç	34,26	0,66	0,21	0,73	9,88	26,59	8,85	0,06	18,72
K-24-Dış	47,19	2,12	0,34	0,89	4,90	13,11	10,55	0,09	20,77
K-28-İç	33,04	0,68	0,30	1,34	6,75	27,43	5,67	0,05	24,69
K-28-Dış	36,89	1,00	0,29	1,20	18,12	10,36	5,64	0,05	26,39
K-34-İç	27,65	0,58	0,46	1,60	12,53	27,86	6,26	0,03	22,98
K-34-Dış	37,93	1,22	0,27	1,63	24,40	6,57	8,04	0,04	19,86
K-42-İç	29,28	0,76	0,31	1,15	15,31	24,05	7,15	0,05	21,89
K-42-Dış	39,53	1,10	0,21	0,89	23,37	10,69	9,99	0,04	14,13
Y-14-İç	33,19	0,95	0,12	0,43	14,63	24,93	7,96	0,07	17,68
Y-14-Dış	40,15	0,94	0,13	0,51	10,84	16,86	8,31	0,05	22,15
Y-21-İç	32,38	1,17	0,17	0,74	21,08	11,39	9,41	0,05	23,56
Y-21-Dış	40,26	1,52	0,23	0,90	7,48	10,11	11,49	0,07	27,89
Y-24-İç	36,72	0,77	0,14	0,56	6,24	21,52	9,80	0,07	24,14
Y-24-Dış	41,55	0,97	0,14	0,49	1,46	15,37	10,96	0,07	28,94
Y-28-İç	38,92	1,77	0,29	0,72	11,72	15,89	6,89	0,07	23,69
Y-28-Dış	42,93	2,50	0,25	0,40	9,06	11,36	7,06	0,07	26,32
Y-34-İç	34,34	1,54	0,30	1,34	21,47	10,43	8,84	0,09	21,59
Y-34-Dış	47,15	2,33	0,38	0,98	7,17	6,39	17,03	0,06	18,45
Y-42-İç	36,59	1,79	0,21	0,49	21,97	5,25	14,26	0,06	19,32
Y-42-Dış	42,60	1,79	0,20	0,63	22,97	6,13	12,63	0,06	12,95
S-0	23,61	1,12	0,34	0,84	34,10	7,70	25,45	0,04	6,74
S-38	39,06	1,19	0,20	0,34	16,59	13,14	13,41	0,06	15,96
Eko-60-S	36,96	1,45	0,29	0,94	25,11	7,00	15,11	0,06	13,02
Ya-0	29,34	0,66	0,11	0,3	17,1	1,78	3,89	0,05	44,98
Ya-38	42,2	0,87	0,05	0,12	13,49	1,12	2,35	0,09	38,27



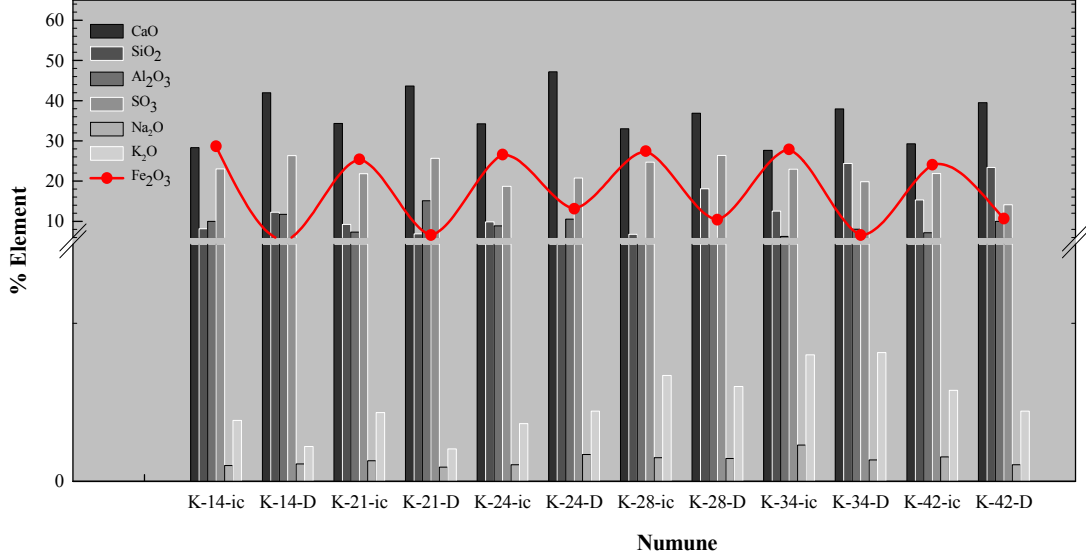
Şekil 4.86 Kemerköy Termik Santrali CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> içerikleri



Şekil 4.87 Kemerköy Termik Santrali Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub> içerikleri

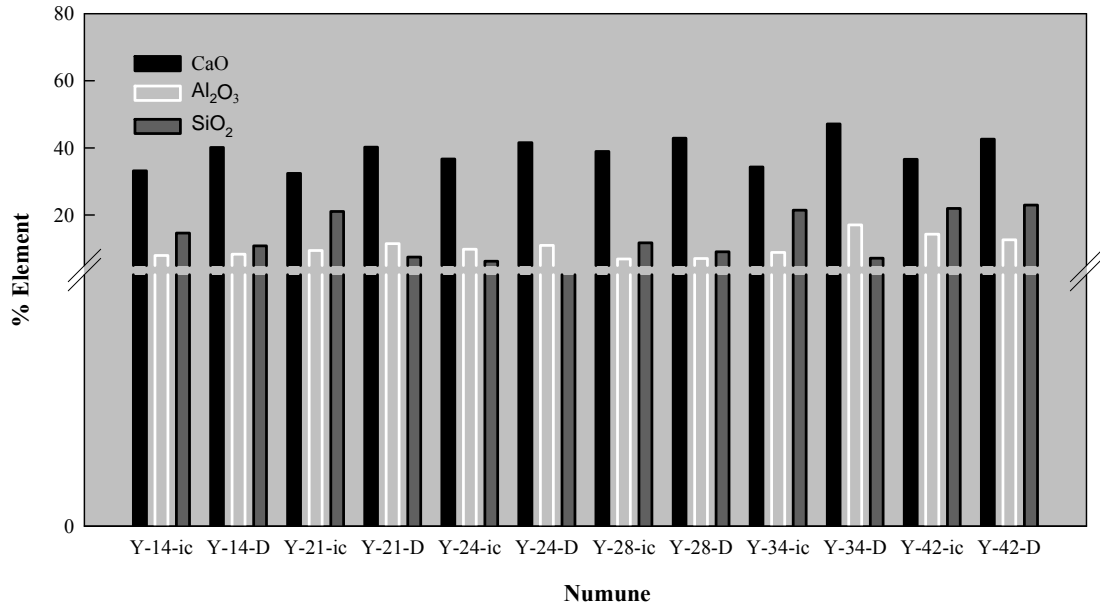
Şekil 4.86, 4.87, 4.88'yi toplu olarak değerlendirdiğimizde malzemenin ana bileşenin CaO olduğunu söyleyebiliriz. Çizilen grafik ve veriler ışığında CaO miktarının malzemenin dış taraflarında yoğunlaştığı yine aynı şekilde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> haricinde kalan bileşenlerinde aynı eğilimde olduğu söylenebilir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alınan numunelerin iç kısımlarında daha fazladır. Ayrıca CaO miktarının yüksek olduğu bölgelerde yani dış

kısımlarda  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  alkalilerinin düşük olduğu iç kısımlarda ise bu durumun tam tersi olduğu gözlenmektedir.

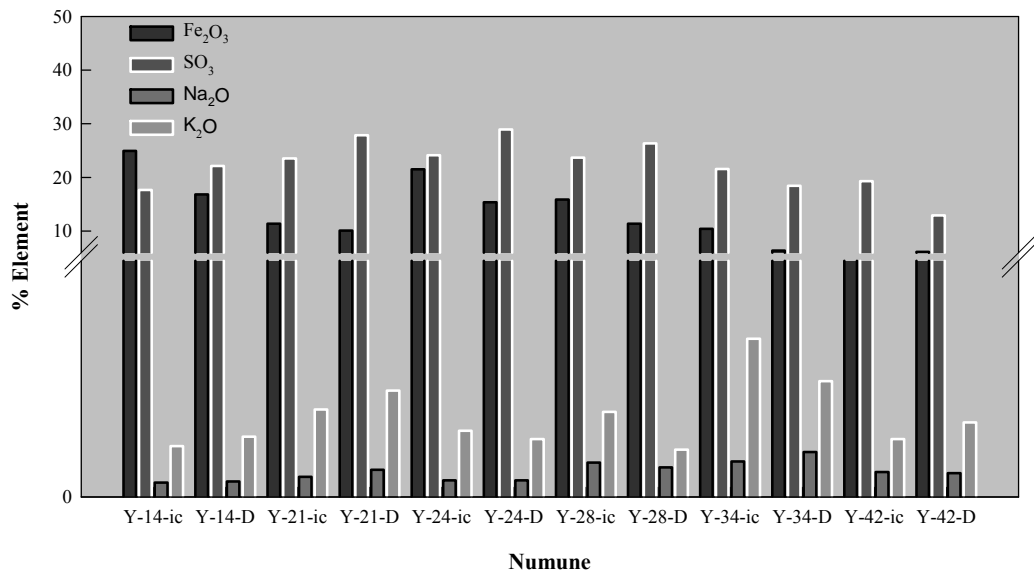


Şekil 4.88. Kemerköy Termik Santrali  $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O-K}_2\text{O-Fe}_2\text{O}_3\text{-SO}_3$  içerikleri

$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün iç yüzeylerde yüksek olduğu sistem içerisinde oluşan curuflaşmada primer rol oynadığını göstermektedir. Sistemde önce  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 'ün yoğunlaştığı ve bunun üzerine  $\text{CaO}$  tabakasının oluştuğu söylenebilir. İç bölgelerdeki  $\text{CaO}$  oranının dış kısımlara nazaran daha düşük olmasından  $\text{CaO}$ 'ün curuflaşmayı başlatan bileşen olmadığı, Fe, Ca, ve K elementlerinin ilk tabakayı oluşturan bileşiklerin temeli olduğunu söylemek mümkündür. Aynı şekilde sistem aşağıdan yukarı doğru incelendiğinde kotlarda meydana gelen curuflaşmayı  $\text{K}_2\text{O}$  oranındaki değişikliğinde etkilediğini görmekteyiz. Üst kotlara doğru ilerledikçe dışkısımlarda  $\text{CaO}$  oranında bir düşme olduğu bunun yerine  $\text{SiO}_2$  oranının ise arttığı gözlenmektedir. Artan bu  $\text{SiO}_2$ 'nin curuflaşma mekanizmasında bir katkısının olmadığı Kemerköy bu bölgedeki uçucu küllerin yapışmasından kaynaklı olabileceği söylenebilir. Santralden numune alınırken bu kotlardaki curufların alt kotlara göre daha sert ve camsı olduğu dikenimsi sarkıtlar halinde olduğu gözlemlenmiştir. Buda üst kotlarda artan Si ve K oranına bağlı olarak bunların bileşim yaptıklarını göstermektedir. Yüksek sıcaklıklarda ergiyen Silisin ergime noktasını düşürmekte ve curuflaşmasına sebep olmaktadır.



Şekil 4.89 Yeniköy Termik Santrali CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> içerikleri

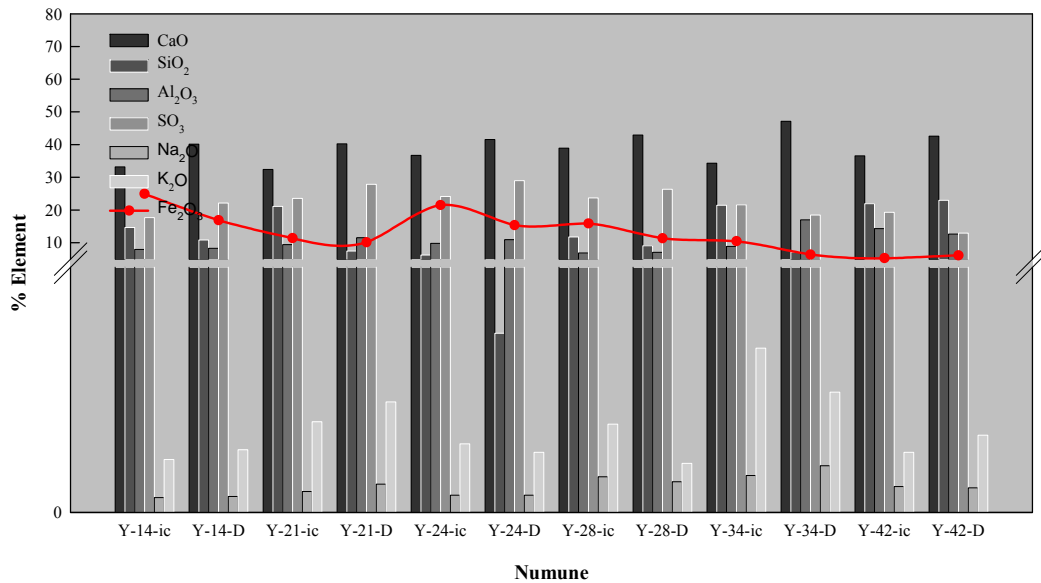


Şekil 4.90 Yeniköy Termik Santrali Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub> içerikleri

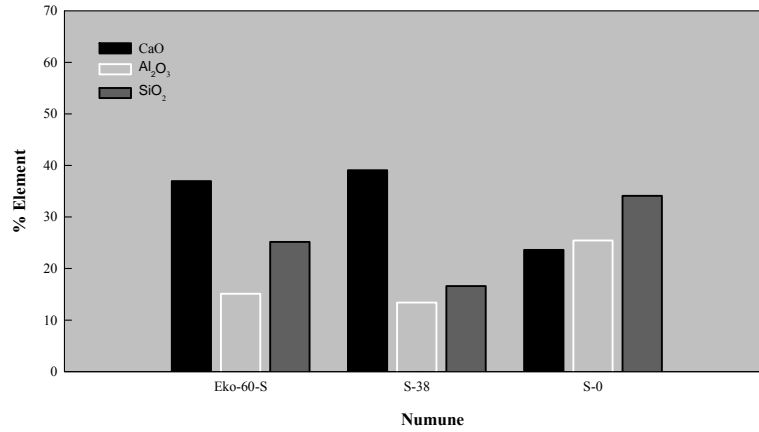
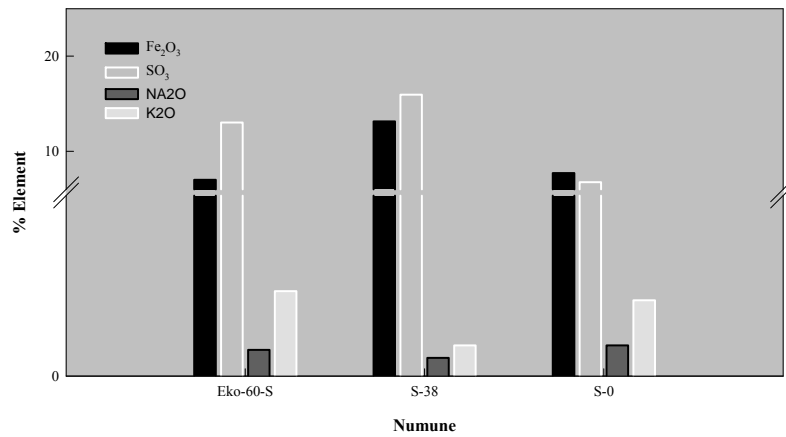
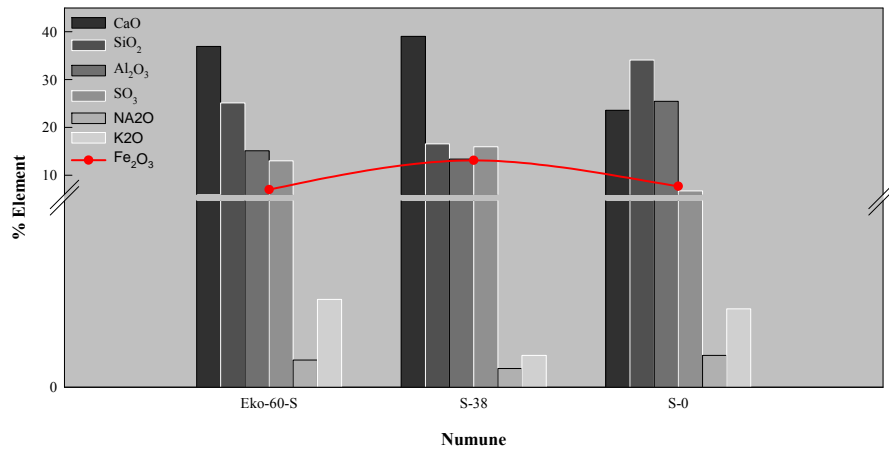
Yeniköy santralinden alınan curuf numunesinin analiz sonuçlarını incelediğimizde de ana bileşenin olarak CaO'ı söyleyebiliriz. Bu santralde'de CaO miktarlarının dış taraflarında daha fazla olduğu ancak Kemerköy Termik santralindeki iç ve dış kısımlardaki farkın büyük olmadığı gözükmektedir. Yine demir oksit miktarının CaO ile



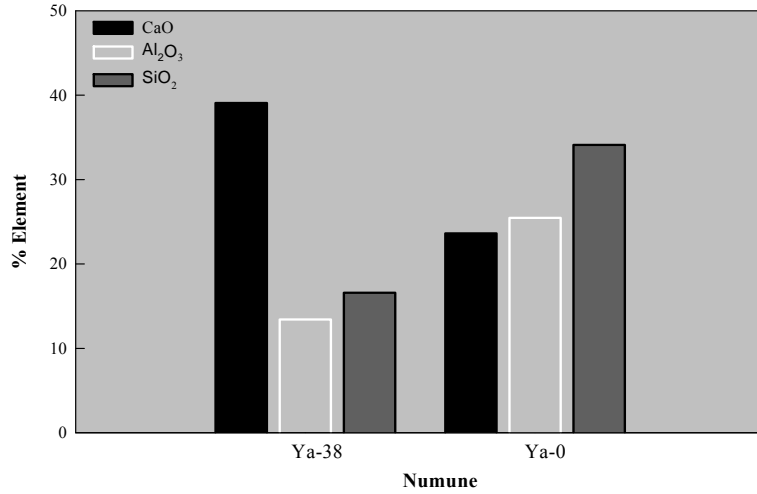
ters ilişkili olduğu grafik ve tablodanda görülmektedir.  $\text{SiO}_2$  ye baktığımızda  $\text{SiO}_2$  miktarlarının iç kısımlarda dış kısımlardan daha fazla olduğu ve aynı zamanda ara seviyelerde yoğunlaştığı görülmektedir. Yeniköy Termik Santralinde demir oksitlerin ve  $\text{K}_2\text{O}$ 'nun curuflaşma üzerinde fazla bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Buradaki curuflaşmada etken rol oynayan ana bileşenin  $\text{CaO}$  olduğu ve kömürdeki S ile bileşerek  $\text{CaSO}_4$  halinde yoğunlaştığı söylenebilir. Oluşan bu tabaka kazan içerisindeki ısı transferini etkilemekte önemli derecede düşürmektedir. Bunun sonucu olarakta ısı yoğunlaşması meydana gelmekte bu yoğunlaşma aşağıdan yukarı doğru artmaktadır. Üst bölgelerden alınan numunelerin daha gevrek yapıya sahip olmasında bu teoremi desteklemektedir.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  değişimi ise iç ve dış kısımlarda fazla değişim göstermemekle birlikte üst kotlarda artış göstermiştir. Yine bu bölgelerde özellikle 34. m den sonra hem  $\text{Al}_2\text{O}_3$  miktarında hemde  $\text{SiO}_2$  miktarında diğer kotlara nazaran bir artış olduğu, yine bunun uçucu küllerin curuf üzerine yapışmasından kaynaklandığı söylenebilir. Buna karşın bu kotlarda  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının ise azaldığı yapılan analizler sonucunda gözlemlenmiştir.



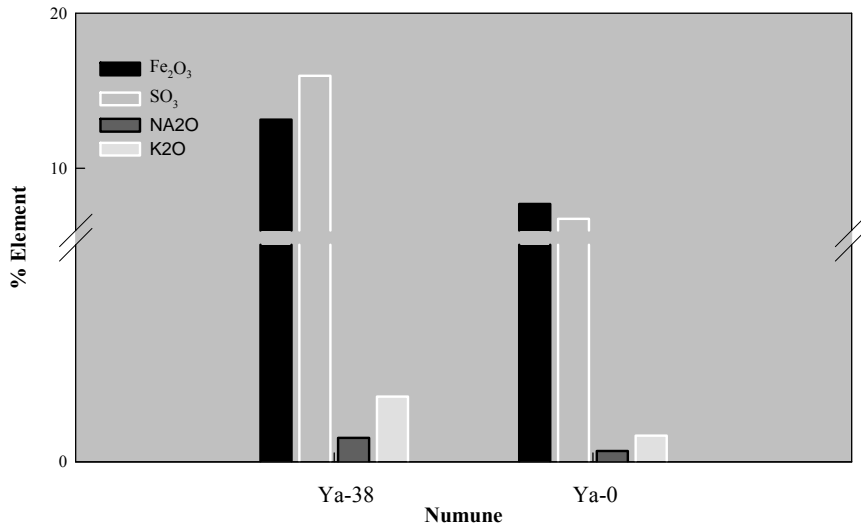
Şekil 4.91 Kemerköy Termik Santrali  $\text{CaO}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$ - $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{SO}_3$  içerikleri

Şekil 4.92 Soma Termik Santrali CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> içerikleriŞekil 4.93 Soma Termik Santrali Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub> içerikleriŞekil 4.94 Soma Termik Santrali CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub> içerikleri

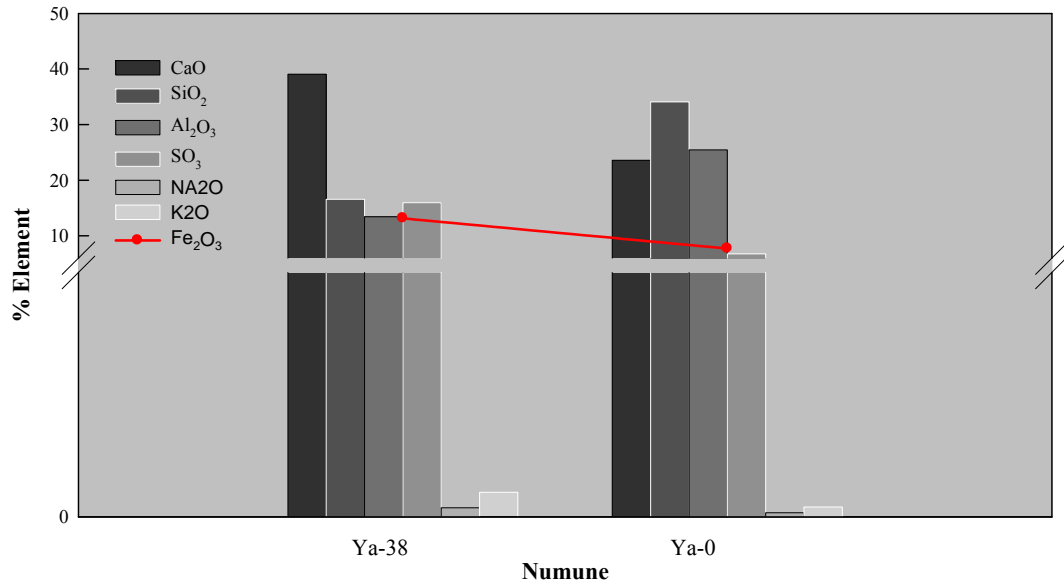
Soma termik santraline baktığımızda ise  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ün yüksek olduğu 38. m de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının düşük olduğu söylenebilir. Soma Termik Santralinde kül kökenli bir birikim olduğu alkalilerin curuflaşma üzerinde etkili olmadığı gözükmektedir. Alt kottaki CaO ve  $\text{SO}_3$  miktarının düşük  $\text{SiO}_2$  oranının yüksek olması standart kül birikmesinden kaynaklıdır.



Şekil 4.95 Yatağan Termik Santrali  $\text{CaO}$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  içerikleri



Şekil 4.96 Yatağan Termik Santrali  $\text{Na}_2\text{O}$ - $\text{K}_2\text{O}$ - $\text{Fe}_2\text{O}_3$ - $\text{SO}_3$  içerikleri



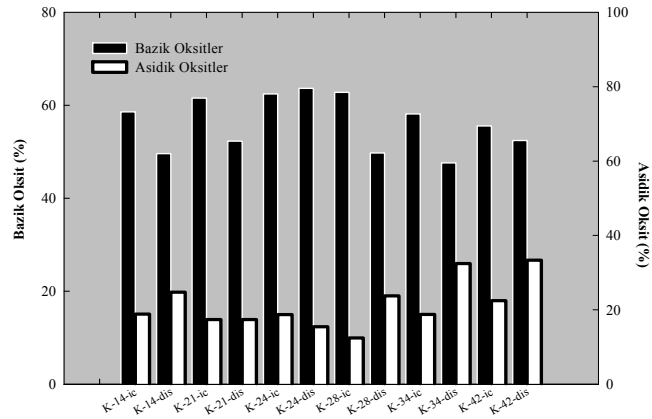
Şekil 4.97 Yatağan Termik Santrali CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-Na<sub>2</sub>O-K<sub>2</sub>O-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SO<sub>3</sub> içerikleri

Yatağan termik santraline baktığımızda şekil 5.94, 5.95, 5.96’ında görüldüğü gibi SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ün yüksek olduğu 38. m de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının düşük olduğu söylenebilir. Yatağan termik santralinde de Soma termik santralinde olduğu gibi kül kökenli bir birikim olduğu alkalilerin curuflaşma üzerinde etkili olmadığı gözükmemektedir. Alt kottaki CaO ve SO<sub>3</sub> miktarının düşük SiO<sub>2</sub> oranının yüksek olması ise kül birikmesinden kaynaklıdır.

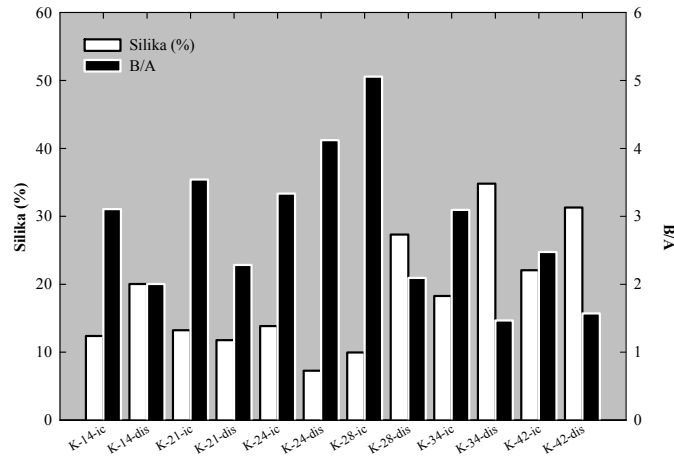
Santrallerden alınan curuf numunelerinin kimyasal analiz sonuçlarına göre hesaplanan ampirik değerlerine göre grafikleri çizilmiş sonuçları değerlendirilmiştir.

Tablo 4.37. Kemerköy curuf numunelerine ait curuflaşma eğilim değerleri

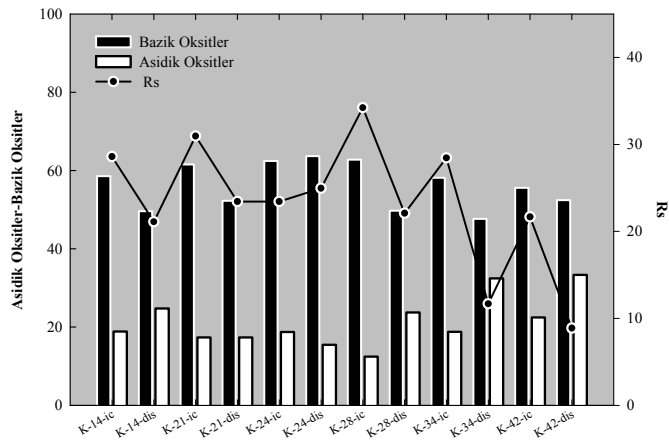
	K-14-İç	K-14-Dış	K-21-İç	K-21-Dış	K-24-İç	K-24-Dış	K-28-İç	K-28-Dış	K-34-İç	K-34-Dış	K-42-İç	K-42-Dış
<b>Silika</b>	12,39	20,02	13,23	11,76	13,84	7,28	9,94	27,30	18,26	34,80	22,06	31,29
<b>B/A</b>	3,10	2,00	3,54	2,28	3,33	4,12	5,06	2,09	3,09	1,47	2,47	1,57
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	28,60	21,11	30,96	23,43	24,97	34,23	49,93	22,10	28,45	11,66	21,66	8,88
<b>Bazik Oksitler</b>	58,59	49,6	61,53	52,29	62,45	63,65	62,79	49,74	58,15	47,62	55,55	52,42
<b>Asidik Oksitler</b>	18,87	24,77	17,37	22,89	18,73	15,45	12,42	23,76	18,79	32,44	22,46	33,36



Şekil 4.98. Kemerköy curuf numunesi asidik ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.99. Kemerköy curuf numunesi silika (%) ve bazik oksit dağılımları

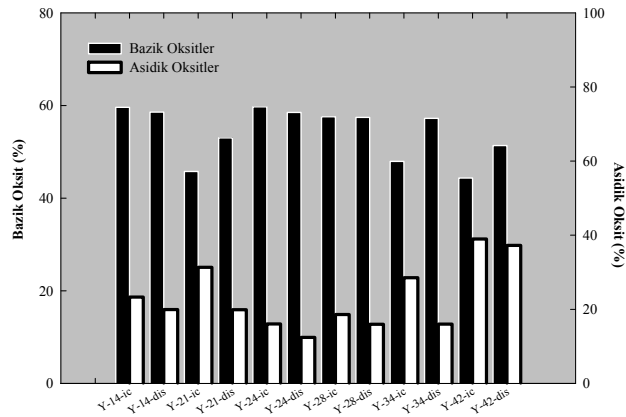


Şekil 4.100. Kemerköy curuf numunesi Rs ve asidik-bazik oksit dağılımları

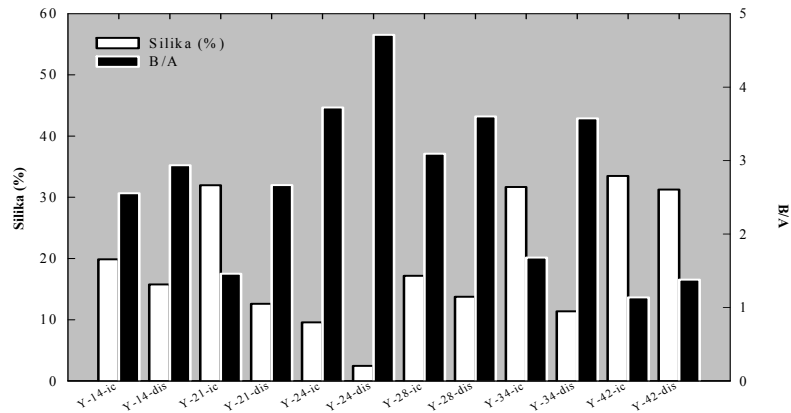
Şekil 4.98, 4.99 ve 4.100'e baktığımızda Kemerköy termik santral kazanıdan alınan curuf numunelerinin orta kotlarda bazik oksit oranlarının daha yüksek bir yapı gösterdiği görülmektedir. Bazik oksit oranları iç kısımlarda yüksek dış kısımlarda ise daha düşük ve asidik oksit oranları ise bu durumun tam tersi bir eğilim göstermiştir.

Tablo 4.38 Yeniköy curuf numunelerine ait curuflaşma eğilim değerleri

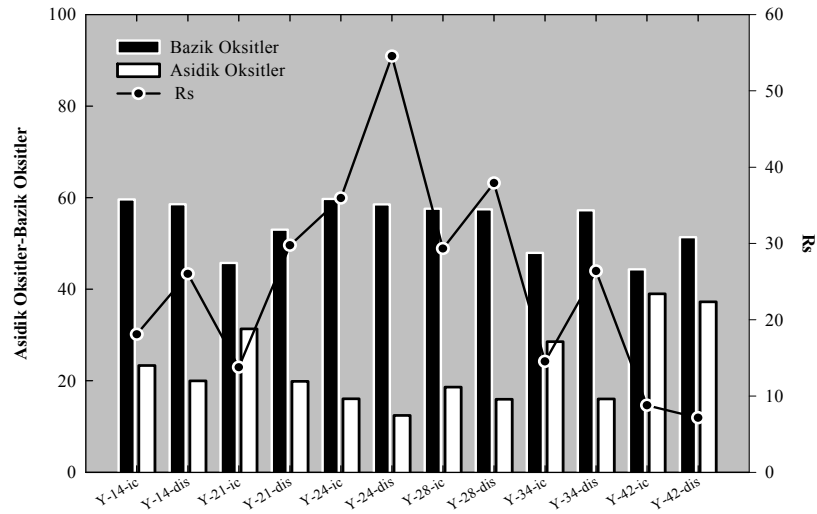
	Y-14-İç	Y-14-Dış	Y-21-İç	Y-21-Dış	Y-24-İç	Y-24-Dış	Y-28-İç	Y-28-Dış	Y-34-İç	Y-34-Dış	Y-42-İç	K-42-Dış
<b>Silika</b>	19,85	15,76	31,98	12,60	9,56	2,46	17,16	13,76	31,68	11,37	33,49	31,26
<b>B/A</b>	2,56	2,94	1,46	2,67	3,72	4,71	3,09	3,60	1,68	3,57	1,14	1,38
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	18,07	26,01	13,76	29,75	35,95	54,54	29,32	37,91	14,51	26,38	8,78	7,14
<b>Bazik Oksitler</b>	59,62	58,59	45,75	53,02	59,71	58,52	57,59	57,44	47,95	57,23	44,33	51,35
<b>Asidik Oksitler</b>	23,33	19,96	31,34	19,88	16,04	12,42	18,61	15,95	28,53	16,01	39	37,23



Şekil 4.101. Yeniköy curuf numunesi asidik ve bazik oksit dağılımları



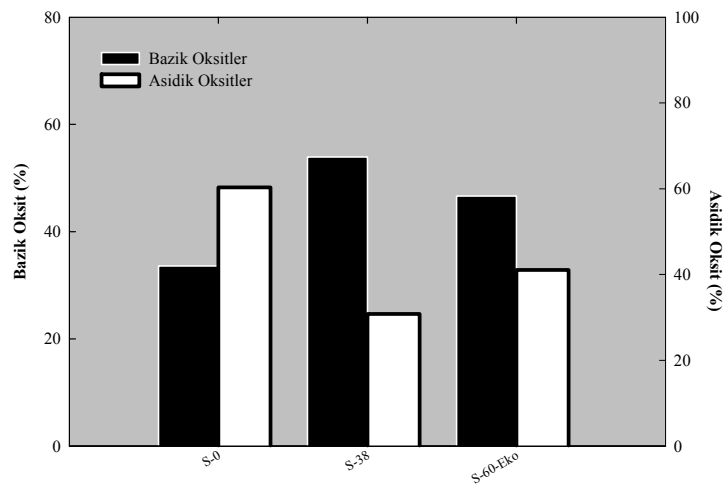
Şekil 4.102. Yeniköy curuf numunesi silika (%) ve bazik oksit dağılımları



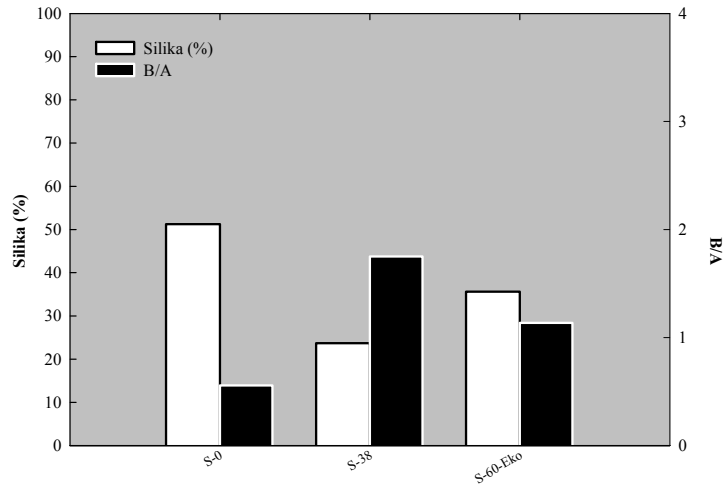
Şekil 4.103 Yeniköy curuf numunesi Rs ve asidik-bazık oksit dağılımları

Tablo 4.39 Soma curuf numunelerine ait curuflaşma eğilim değerleri

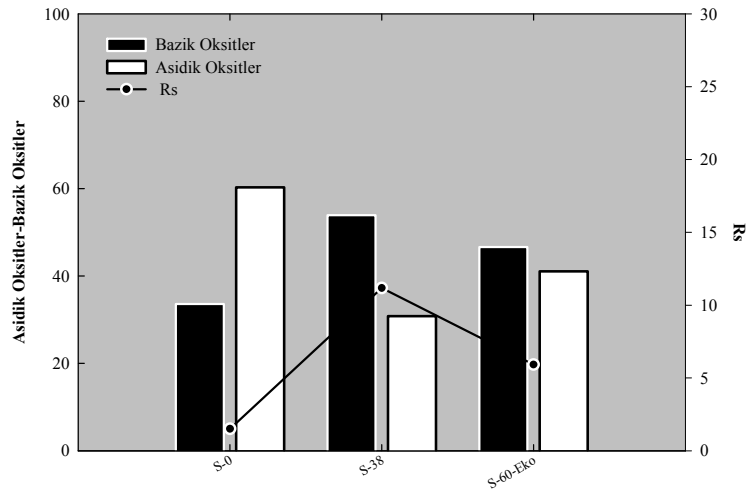
	S-0	S-38	Eko-60-S
<b>Silika</b>	51,26	23,71	35,61
<b>B/A</b>	0,56	1,75	1,14
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	1,50	11,17	5,91
<b>Bazık Oksitler</b>	33,61	53,93	46,64
<b>Asidik Oksitler</b>	60,29	30,81	41,07



Şekil 4.104. Soma curuf numunesi asidik ve bazık oksit dağılımları



Şekil 4.105. Soma curuf numunesi silika (%) ve bazik oksit dağılımla



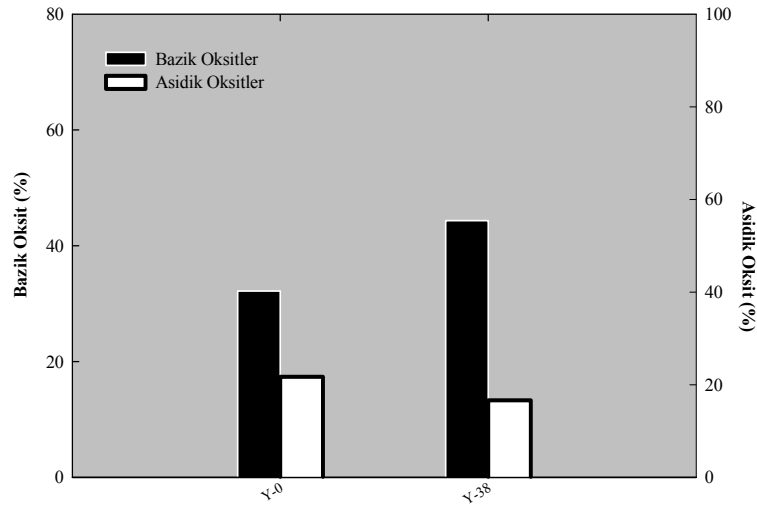
Şekil 4.106. Soma curuf numunesi Rs ve asidik-bazik oksit dağılımları

Soma termik santralinden alınan üç farklı bölgedeki curuf örneklerinin sonuçlarına baktığımızda ise  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ün yüksek olduğu 38. m de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının düşük olduğu söylenebilir. Soma Termik Santralinde kül kökenli bir birikim olduğu alkalilerin curuflaşma üzerinde etkili olmadığı gözükmemektedir. Alt kottaki  $\text{CaO}$  ve  $\text{SO}_3$  miktarının düşük,  $\text{SiO}_2$  oranının yüksek olması ise kül birikmesinden kaynaklıdır

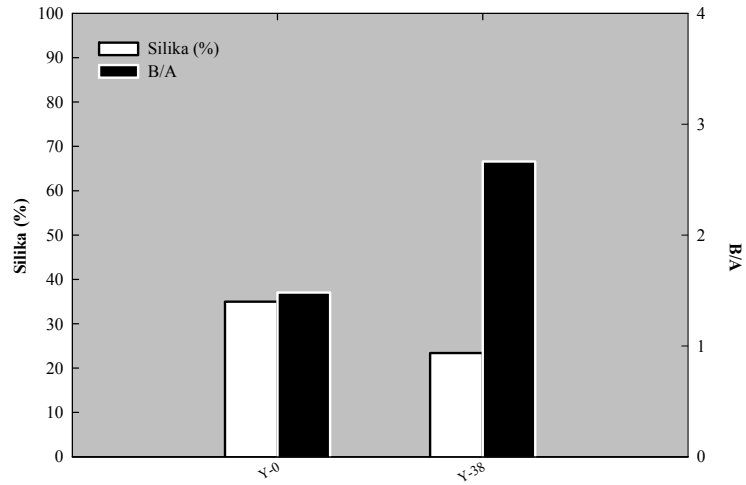


Tablo 4.40. Yatağan curuf numunelerine ait curuflaşma eğilim değerleri

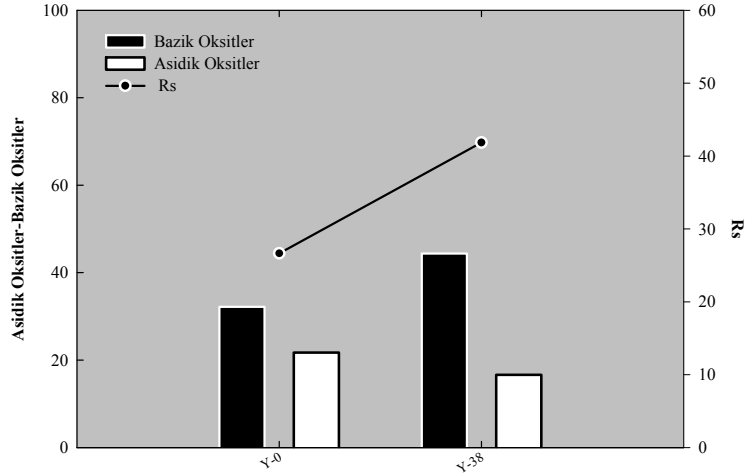
	Ya-0	Ya-38
<b>Silika</b>	34,98	23,39
<b>B/A</b>	1,48	2,66
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	26,65	41,85
<b>Bazik Oksitler</b>	32,19	44,36
<b>Asidik Oksitler</b>	21,73	16,65



Şekil 4.107 Yatağan curuf numunesi asidik ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.108 Yatağan curuf numunesi silika (%) ve bazik oksit dağılımları



Şekil 4.109 Yatağan curuf numunesi Rs ve asidik-bazik oksit dağılımları

Yatağan termik santral curuf numunesi de Soma termik santralinden alınan curuf örneklerinin sonuçlarında olduğu gibi üst kota çıkıldığında,  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ün yüksek olduğu,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının ise düşük olduğu görülmektedir. Alt kottaki CaO miktarının düşük,  $\text{SiO}_2$  oranının yüksek olması ise kül birikmesinden kaynaklıdır.

#### 4.3.7.2 Mineralojik Analiz Sonuçları (XRD)

Kimyasal analizleri yapılan her bir curuf numunesinin XRD analizleri ise DEU Müh. Fakültesi Malzeme-Metalurji Bölümü'ne Rigaku D/Max-2200/PC marka X-Ray cihazında tesbit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar tablo halinde tablo 5.38'de ve ekler bölümünde verilmiştir. XRD sonuçlarına göre curuf numunlerinin ana piki anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) olarak bulunmuştur. Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve  $\text{CaSO}_4$ 'ın değişik formları olan bassanit ve gehlenit özellikle orta kottlarda (21 m-24 m-28 m-34 m) oluşmuştur. Yeniköy ve Kemerköy numunelerinin 14. metresinde bartonite ( $\text{K}_2\text{Fe}_{10}\text{S}_{14}$ ), 24. metresinde wollostanite ( $\text{CaSiO}_3$ ) rastlanmıştır.

Tablo 4.41 Termik santral curuf numuneleri XRD sonuçları

<b>K-14-İç</b>	hematit	kalsiyum sülfat	anhidrit	kalsiyum alüminyum oksit							
<b>K-14-Dış</b>	hematit		anhidrit		bassanit	gehlenit	kuvars				
<b>K-21-İç</b>	hematit	kalsiyum sülfat	anhidrit					bartonit	wollostonit		
<b>K-21-Dış</b>		kalsiyum sülfat	anhidrit	potasyum oksit	bassanit					ternesit	
<b>K-24-İç</b>	hematit	kalsiyum sülfat	anhidrit	kalsiyum alüminyum oksit				bartonit	wollostonit		
<b>K-24-Dış</b>	hematit	kalsiyum sülfat	anhidrit					bartonit	wollostonit		
<b>K-28-iç</b>	hematit		anhidrit								
<b>K-28-Dış</b>	hematit		anhidrit								
<b>K-34-İç</b>			anhidrit	Albit			kuvars				
<b>K-34-Dış</b>	hematit		anhidrit	Albit		gehlenit					
<b>K-42-İç</b>	hematit		anhidrit								
<b>K-42-Dış</b>		kalsiyum sülfat	anhidrit						wollostonit		
<b>Y-14-İç</b>		kalsiyum sülfat	anhidrit						wollostonit		
<b>Y-14-Dış</b>	hematit	kalsiyum sülfat	anhidrit					bartonit			
<b>Y-21-İç</b>	hematit		anhidrit		bassanit		kuvars				
<b>Y-21-Dış</b>	hematit		anhidrit		bassanit		kuvars				
<b>Y-24-İç</b>		kalsiyum sülfat	anhidrit	sodyum oksit	bassanit			bartonit	wollostonit		
<b>Y-24-Dış</b>	hematit	kalsiyum sülfat	anhidrit								
<b>Y-28-İç</b>	hematit		anhidrit			gehlenit			wollostonit		
<b>Y-28-Dış</b>			anhidrit			gehlenit				ternesit	
<b>Y-34-iç</b>	demiroksit		anhidrit			gehlenit					
<b>Y-34-Dış</b>	hematit		anhidrit	Albit							
<b>Y-42-İç</b>	hematit		anhidrit	Albit			kuvars				
<b>Y-42-Dış</b>	hematit		anhidrit								
<b>S-0</b>	hematit		anhidrit				kuvars				kalsit
<b>S-38</b>	demir sülfat	kalsiyum sülfat	anhidrit								
<b>S-40</b>		kalsiyum sülfat	anhidrit	potasyum kalsiyum silikat					wollostonit		
<b>Eko-60-S</b>			anhidrit	Albit		gehlenit	kuvars				
<b>Ya-0</b>	hematit		anhidrit								kalsit
<b>Ya-38</b>		kalsiyum sülfat	anhidrit				kuvars				

## BÖLÜM BEŞ

### DENEYSEL BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında; Ege Bölgesi sınırları içerisinde yer alan linyitle çalışan, pulverize kömür yakma sistemi ile elektrik üreten Soma, Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy termik santrallerinin kazan içi curuflaşma sebepleri ve kullanılan kömürün kimyasal kompozisyonundaki değişikliğin ergime noktası üzerine etkileri araştırılmıştır. Deneysel çalışmaların genel sonuçları sistematik olarak aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Santrallerden alınan uçucu kül, kömür ve curuf numunelerinin fiziksel ve kimyasal karakterizasyonları ile çalışmalara başlanmıştır. Fiziksel olarak öncelikle örneklerin boyut analizleri yapılmıştır. Kömür numunelerine ait nominal elek altı değerleri sırasıyla 300 mikron (Soma), 240 mikron (Yatağan), 145 mikron (Yeniköy), 170 mikron (Kemerköy) ve uçucu kül numunelerine ait nominal elek altı değerleri 150 mikron (Soma), 165 mikron (Yatağan), 140 mikron (Yeniköy), 155 mikron (Kemerköy) olarak tespit edilmiştir. Bu yakma sistemlerinde öngörülen tane iriliği 90 mikron civarında olmalıdır. Oysaki görüldüğü gibi tez kapsamında çalışılan tüm santrallerde daha iri tane boyutlarında kömür yakıldığı gözlemlenmiştir. Literatürle karşılaştırıldığında bu değerlerin yurtdışında pulverize yakma sistemi ile elektrik üreten santrallerden daha iri olduğu ve santral içerisinde yakma sırasında olumsuz etkilere sebep olabileceği düşünülmüştür. Örneğin, kömür tam yanmadan taban külü olarak kazan alt çıkışından alınabilir. Bu ise kazan içerisinde taban külü oluşumuna sebep olurken aynı zamanda yanma verimini de düşüren bir etken olarak ortaya çıkabilmektedir.
- Termik santral uçucu kül numunelerinin özgül yüzey alan ve spesifik yoğunlukları tespit edilmiş, özgül yüzey alanlarının  $0,175 \text{ m}^2/\text{gr}$  ile  $0,345 \text{ m}^2/\text{gr}$  arasında değiştiği, yoğunluklarının ise  $1,99 \text{ gr}/\text{cm}^3$  ile  $2,86 \text{ gr}/\text{cm}^3$  arasında olduğu tespit edilmiştir. Uçucu kül örneklerinin özgül yüzey alanları arttıkça, yoğunluklarının azaldığı, buna karşı tane boyutlarının da arttığı

gözlenmiştir.

- Uçucu küllerin binoküler mikroskop çalışmaları sonucunda farklı renklere sahip oldukları ve tane boyutlarında değişkenlik olduğu gözlenmiştir. Bu renk farklılığı muhtemelen kül numunelerinin içerdiği mineral yapılardan kaynaklanmakta olduğu düşünülmektedir.
- SEM analizleri sonucunda uçucu küllerin morfolojik yapılarındaki değişiklikler gözlenmiştir. İlgili kısımda ayrıntıları verilen analizler sonucu genel bir değerlendirme yapacak olursak Kemerköy ve Yeniköy uçucu küllerinin yapı itibarıyla Soma ve Yatağan küllerine nazaran curuflaşmaya daha yatkın olduğunu söyleyebiliriz. Daha çabuk aglomere olarak birbirine yapışan amorf yapıya sahip olmaları, yanma sırasında kazan çeperlerine yapışma ve askıda kalarak istenmeyen bir tabaka oluşturma eğilimlerinin daha fazla olabileceğini göstermektedir.
- XRD analizleri sonucunda uçucu küllerin mineral maddeleri içerisinde kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) dışında silikat bileşiği olan ortoklas ( $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ) rastlanmıştır. Bunun dışında demir oksit bileşiklerinden; hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve sülfür bileşiklerinden pirit ( $\text{FeS}_2$ ) uçucu küllerin mineral maddeleri arasında yer almıştır. Ayrıca anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) ve kalsiyum oksit ( $\text{CaO}$ ) bulunduğu saptanmıştır. Tüm bu mineraller uçucu kül içerisinde sıklıkla literatürde yeralan bileşiklerdir. Soma ve Yatağan uçucu küllerinde kuvars ve ortoklas, Kemerköy uçucu külünde klorit, illit, kuvars, anhidrit ve pirit, Yeniköy uçucu külünde ise kuvars, anhidrit ve kalsiyum oksite rastlanmıştır.

Kömür numunelerinde ise kuvars dışında yine kömürün bünyesinde major mineral madde olarak bilinen killi minerallerin en yaygını illit  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$  tespit edilmiş, demir oksit bileşiklerinden hematit ve kömür içerisinde genellikle pirit şeklinde bulunan sülfür bileşiğine

rastlanmıştır. Bunun dışında kalsit, anhidrit ve klorit yapılan XRD analizleri sonuçlarında bulunmuştur.

XRF spektrometresi sonucunda tüm numunelerde iz element olarak Sr, Ti, Mn, Ca, Ni, Zn, K, Na, Al, Si, Fe, Pb, Zr, Sr, Mg, Mo, Cr ve Sb'ye rastlanmıştır.

- Uçucu kül örneklerine yapılan EDS analizleri sonucunda örneklerin her birinde majör ve minör element kompozisyonu ve yanmamış karbon konsantrasyonlarına bakılmıştır. Örneklerde %5-20 arasında Si, %5-22 arasında Al, %7-9 ve %20-30 arasında Ca, %2-8 arasında Fe gözlenmiştir. Yanmamış karbon konsantrasyonu %3-5 arasında değişmiş, majör anyon olarak oksijen görülmüş bunun yanında S ve P'ye rastlanmıştır.
- Kömür külü ve uçucu küllerin kimyasal bileşimlerine baktığımızda ise içerdikleri kimyasal kompozisyonun farklı olduğu görülmektedir. Kömürün yanması sonucu oluşan uçucu küllerde %CaO ve %MgO oranlarının daha yüksek olduğu buna karşın %SiO<sub>2</sub> ve %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranlarının ise daha düşük olduğu görülmektedir. Genel olarak uçucu küllerde %20-35 arasında CaO, %20-36 arasında SiO<sub>2</sub>, %14-17 arasında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %4-7 arasında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> majör bileşikleri oluştururken, kömür küllerinde Çatalağzı kömür külü hariç %3-30 arasında CaO, %20-60 arasında SiO<sub>2</sub>, %14-25 arasında Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> olduğu görülmektedir.
- Uçucu kül DTA-TG eğrilerine baktığımızda tüm numunelerde başlangıçta bir kütle kaybı olduğu daha sonra ise bir miktar yükseldiği görülmektedir. Ayrıntıları ilgili kısımda verilen DTA eğrilerinden ise uçucu küllerin faz dönüşümlerine bağlı olarak endotermik ve ekzotermik pikler verdiği gözlenmiştir. DTA eğrilerinden saptanan termal bozuşma sıcaklıkları 460-680 °C arasında değişmektedir.
- DTA eğrilerinden saptanan termal bozuşma sıcaklıkları ile uçucu kül

numunelerinin CaO içerikleri arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur.

- Yine uçucu kül numunelerine ait DTA eğrilerinden elde edilen termal bozuşma sıcaklıkları ile CaO, MgO, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O içerikleri toplamı arasında ters orantılı bir ilişki olduğu ancak bu ilişkinin sadece CaO içeriklerinin DTA termal bozuşma sıcaklıkları ile olan ilişkisinden daha zayıf olduğu görülmüştür.
- Santral kömür numunelerinin mineral madde içerikleri %25-50 arasında değiştiği ve mineral madde içerikleri ile kül içerikleri arasında net olmasa da doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir.
- Genel olarak kül ergime testlerinde numunelere ait başlangıç deformasyon, yumuşama, yarım-küre ve akma sıcaklıkları tespit edilir.

Başlangıç deformasyon sıcaklığı gerçek bir kömür yakma fırınındaki kömür külü taneciğinin fırından geçişte birbirine hafifçe yapışma eğilimi gösterdiği bir sıcaklığı ve ısı değiştirici yüzeylerde tortu oluşturdıkları sıcaklığa karşılık gelir. Yumuşama ve yarım-küre sıcaklıkları kömürün külünün büyük bir hızla kütle oluşturma ve ısı değiştiricilerin yüzeylerine önemli miktarlarda yapışma eğilimi gösterme durumu ile ilgilidir.

Kömür külünün ergime sıcaklığı ile kimyasal bileşimleri arasında bir ilişki mevcut olup bu konuda pek çok çalışma sonucu çeşitli formüller türetilmiştir. Kömürün külünün bileşimi değiştikçe ergime özellikleri de değişmektedir. Bu oranlar kazan içi curuflaşmaların sebeplerine ışık tutmakta ve yine kimyasal içerikleri ve ergime derecelerine bağlı olarak hesaplanan curuflaşma indeskleride curuflaşma ile ilgili yorumlarda değerlendirme kriteri olarak kullanılmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında kül ergime testleri üç ana başlık altında yapılmıştır; uçucu kül ergime testleri, kömür külü numunelerinin kül ergime testleri ve karışım küllerinin kül ergime testleri.

İlk olarak uçucu küllerin ısı mikroskopta ve Eurotherm 818/XF5 sıcaklık kontrolü ayarlanabilen bir fırında ergime dereceleri saptanmıştır. İki sistem ile tespit edilen ergime dereceleri arasında çok büyük farkların olmadığı gözlenmiştir. Çalışmaların geri kalanı ısı mikroskop yerine Eurotherm 818/XF5 sıcaklık kontrolü ayarlanabilen fırınla yapılmıştır. Kömür küllerinin ise ergime derecelerini belirlemeden önce numuneler 800°C’de kül fırınında yakılmıştır. Elde edilen kömürün küllerinin ergime kritik sıcaklıkları tespit edilmiş ve aynen uçucu küllerde olduğu gibi kimyasal kompozisyonlara bağlı olarak hesaplanan ampirik değerler ve curuflaşma indeksleri ile bağlantıları kurularak değerlendirilmiştir. Uçucu kül ve kömür külleri için yapılan analiz sonuçlarındaki farklılıkların daha net bir şekilde değerlendirilmesi için aşağıdaki tablo hazırlanmıştır.

Tablo 5.1. Uçucu kül ve kömür külü örneklerinin curuflaşma eğilimleri

	Kemerköy Uçucu Külü	Soma Uçucu Külü	Yeniköy Uçucu Külü	Yatağan Uçucu Külü	Kemerköy Kömür Külü	Soma Kömür Külü	Yeniköy Kömür Külü	Yatağan Kömür Külü	Çatalağzı Kömür Külü
<b>% Silika</b>	33.74	41.43	44.92	48.73	39.52	53.59	66.57	73.40	88.53
<b>B/A</b>	1.24	0.96	0.82	0.75	0.80	0.57	0.38	0.31	0.12
<b>Curuf İndeksi, Rs</b>	6.23	1.08	4.20	2.04	3.37	0.91	1.48	0.82	0.08
<b>Bazık Oksitler</b>	46.62	47.54	37.59	38.89	39.1	34.77	23.41	21.63	10.33
<b>Asidik Oksitler</b>	37.55	49.36	45.86	52.17	48.85	60.91	62.15	69.84	82.91
<b>Fs (°C)</b>	1165.6	1212.2	1177	1216.8	1170	1214	1153	1238	1324
<b>IT (°C)</b>	<b>1150</b>	<b>1190</b>	<b>1120</b>	<b>1200</b>	<b>1155</b>	<b>1190</b>	<b>1125</b>	<b>1225</b>	<b>1310</b>
<b>ST (°C)</b>	<b>1210</b>	<b>1255</b>	<b>1235</b>	<b>1250</b>	<b>1210</b>	<b>1265</b>	<b>1245</b>	<b>1250</b>	<b>1340</b>
<b>HT (°C)</b>	<b>1228</b>	<b>1300</b>	<b>1255</b>	<b>1275</b>	<b>1230</b>	<b>1310</b>	<b>1265</b>	<b>1290</b>	<b>1380</b>
<b>FT (°C)</b>	<b>1275</b>	<b>1325</b>	<b>1270</b>	<b>1325</b>	<b>1280</b>	<b>1340</b>	<b>1285</b>	<b>1345</b>	<b>1450</b>
<b>CaO (%)</b>	35.82	33.77	28.24	20.5	29,46	25,48	15,56	13,98	3,12
<b>SiO<sub>2</sub> (%)</b>	22.3	32.42	20.79	36.43	23,62	36,78	43,41	54,65	57,95
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	14.51	16.13	17.26	16.13	24,49	23,32	17,89	14,28	24,96
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (%)</b>	4.14	6	7.17	7.77	5,84	5,71	5,23	5,07	3,22
<b>MgO (%)</b>	3.83	6.07	4.66	8.8	0,85	0,66	1,01	0,76	1,17
<b>SO<sub>3</sub> (%)</b>	12.55	2.8	12.8	6.83	10,52	3,97	9,82	6,63	1,68
<b>Na<sub>2</sub>O (%)</b>	1.3	1.04	2.19	1.05	0,72	0,99	0,33	0,19	0,44
<b>K<sub>2</sub>O (%)</b>	1.53	0.66	1.33	0.77	2,23	1,93	1,28	1,63	2,38

Kömürün içerdiği kül miktarı artığında elektro filtrelerin kapasiteleri yetmemekte, aşırı yüklenme sonucunda uçucu küllerin tutulamaması söz konusu olmaktadır. Bunun sonucunda uçucu küller kazanın içerisinde askıda kalarak kazan çeperlerinde kuru



yapışmalara sebep olmakta ve yanma devam ettikçe zamanla ergiyerek curuflaşmaya sebep olmaktadır. Çalışmada bu sebeple uçucu küllerinde ergime noktası üzerine etkisi araştırılmış ve kömür külü ile karşılaştırılmıştır. Gerçekte kazan içerisinde kömür parçaları 900-1400°C arasında ısınır, buharlaşabilen maddeler gaz haline gelir ve yanma gerçekleşir. Mineraller yüksek ısı altında bozunup erimeye, parçalanmaya başlar ve aglomere olurlar. Bir başka şekilde ifade edilecek olursa yanma sırasında kömürdeki anorganik yapıdaki değişiklikler, kömür kül yapısını ve ergime sıcaklığını etkiler. Bu sebeple çalışmada kömür külü de kullanılmış ve mevcut curuflanma problemlerinin sebepleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre;

- Uçucu küllerin ergime sıcaklıklarını değerlendirecek olursak, başlangıç deformasyon sıcaklıkları 1150 °C (kemerköy), 1190 °C (soma), 1120 °C (yeniköy) ve 1200 °C (yatağan) olarak bulunmuştur. Saptanan kritik sıcaklıklarla kimyasal içeriklerine bağlı olarak hesapla elde edilen ampirik parametreler arasındaki ilişki saptanmıştır. Buna göre; asidik oksit oranı yüksek olan uçucu kül numunesinin başlangıç deformasyon sıcaklığında arttığı, bazik oksit oranlarının artması ile bu değer düşüğü gözlenmiştir. Yine uçucu küllerin Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O içeriklerinin artması daha düşük sıcaklıklarda ergimesine sebep olmuştur. CaO+MgO içeriklerinin artması da ergime sıcaklıklarının düşmesine yol açmaktadır. R8 (SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) oranı yüksek olan külün ergime sıcaklığı da yüksektir. Örneğin; R8 değeri 59,13 olan Yatağan külünün başlangıç deformasyon sıcaklığı 1200 °C ile en yüksek değeri göstermiştir.

Yine elementer bileşime bağlı olarak hesaplanan indekslere ve küllerin ergime derecelerine bakarak bir değerlendirme yapacak olursak tüm santral küllerinin curuflaşmaya eğilimlerinin fazla olduğu görülmektedir. Kendi aralarında santralleri karşılaştıracak olursak curuflaşmaya en yatkın uçucu külün Kemerköy santraline ait olduğu söylenebilir. Bunu Yeniköy, Soma ve Yatağan Termik Santralleri takip etmektedir.

Uçucu küllerin curuflaşmasında etken olan bir başka parametre ise içerdikleri %S ve alkalilerin miktarıdır. Bu değerlerin düşük olması istenmektedir. Literatürde uçucu küller üzerine yapılmış çalışmalardaki faz diyagramlarına bakıldığında bu oranların düşük olmasının curuflaşmayı azaltıcı yönde etki ettiği belirtilmektedir.

- Kömür küllerinin ise başlangıç deformasyon sıcaklıkları 1155 °C (kemerköy), 1190 °C (soma), 1125 °C (yeniköy) ve 1255 °C (yatağan) olarak bulunmuştur. Uçucu küllerde olduğu gibi kömür küllerinde de asidik oksit oranı daha yüksek olan (yatağan, soma) kömür külünün ergime sıcaklığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Yatağan kömür külünün diğer kömür küllerinin silika değerinin ( $R1=73,40$ ) daha yüksek olduğu, bunu Yeniköy kömür külünün izlediği görülmektedir. Yapılan ampirik hesaplara göre sadece asidik oksit ve bazik oksit oranlarına göre yapılacak bir değerlendirme yanlış olacaktır. Zira sadece R1 değeri Soma kömür külünden daha yüksek ve R2 değeri daha düşük olan Yeniköy termik santral kömür külünün ergime sıcaklık noktaları Soma kömür külünden daha düşük çıkmıştır. Burada dikkat edilmesi gereken bir başka parametre ise %S oranıdır. Soma kömür külü %1,58 S içerirken, Yeniköy kömür külü %3,92 S içermektedir.

- Genel bir değerlendirme yapacak olursak kömür küllerinin ergime sıcaklıklarının uçucu küllere nazaran daha yüksek olduğu görülmekte bunun sebebinin ise kimyasal kompozisyonlarındaki farklılıktan kaynaklandığı öngörülmektedir. Uçucu küllerin asidik oksit oranları kömür küllerine oranla daha düşük, buna karşın bazik oksit oranları ise daha yüksektir. Buda ergime derecelerinin daha düşük olmasına ve curuflaşma eğilimlerinin daha yüksek olmasına neden olmaktadır.
- Kül ergime çalışmalarının üçüncü kısmında ise kömür küllerinin ergime

noktalarını yükseltmek amacıyla dışarıdan kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), boksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ve Çatalağzı kömür külü ilave edilmiştir.

%98.8  $\text{SiO}_2$  içeren kuvars numunesi, termik santral kömür küllerine silika oranlarını artırmak için ilgili başlık altında verilen tablolardaki oranlarda ilave edilmiştir. Elde edilen karışım küllerinin ergime dereceleri saptanmıştır. Örneğin; başlangıçta hiçbir karışım olmaksızın başlangıç deformasyon sıcaklığı  $1155\text{ }^\circ\text{C}$  olan Kemerköy kömür külünün içeriği %80  $\text{SiO}_2$ 'ye çıkarıldığında  $1190\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükselmiş,  $1250\text{ }^\circ\text{C}$  olan akma sıcaklığı ise  $1330\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye çıkmıştır. Ancak Gray ve Moore'un yaptıkları araştırmalara göre belirledikleri curuf oluşturma indeks sıcaklığı  $F_s(^\circ\text{C})$  değerine göre yüksek curuf oluşturma eğilimi gösteren ( $1051\text{--}1231^\circ\text{C}$ ) dereceler arasında kalmaktadır. Yeniköy kömür külünde de durum aynıdır.

Soma ve Yatağan kömür küllerinde ise bu sıcaklık, kömür külünün içeriği %80  $\text{SiO}_2$ 'ye çıkarıldığında yüksekten ortaya doğru olumlu bir şekilde etkilenmiştir.

Çalışma yapılırken amaçlanan kömür külünün %  $\text{SiO}_2$  oranının yükseltilerek curuflaşmaya etkilerini azaltmaktır. Ancak kömür külleri ile aynı boyutta kullanılan  $\text{SiO}_2$ 'nin reaksiyon gelişimi ile de ilgili olarak bu oranın bu şekilde artırılması, ergime derecesi üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını göstermiştir. Kömür mineral maddesinin içerisinde bulunan silisin bir kısmı farklı formlarda (silikat vb) bulunduğundan ısı etkisi altında reaksiyona katılım şekillerinin de değişken olduğu düşünülmektedir.

Yine kömür küllerinin asidik oksit oranlarını yükseltmek amacıyla ilave edilen boksit ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) numunesi sonucunda Kemerköy ve Yeniköy numunelerinin curuflaşma indeksine göre ( $F_s$ ) curuflaşma eğilimleri yüksek çıkmıştır. Örneğin; başlangıçta hiçbir karışım olmaksızın başlangıç deformasyon sıcaklığı  $1155\text{ }^\circ\text{C}$  olan Kemerköy kömür külünün içeriği %36  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 'e çıkarıldığında  $1190\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye yükselmiş,  $1280\text{ }^\circ\text{C}$  olan akma sıcaklığı ise

1320 °C'ye çıkmıştır. Yatağan ve Soma kömür küllerinde ise bu değerlerde olumlu yönde iyileşme görülmüş, curuflaşma eğilim kriterine göre yüksekten ortaya doğru gelişmiştir.

Dışarıdan ilave mineral maddeler ile kömür küllerinin asidik oksit içeriklerinin yükseltilmesi çalışmalarının etkilerinin beklenen düzeyde olmaması nedeniyle kömürün kendi bünyesi içerisinde bu oranların yüksek olduğu bir başka kömürün ilavesi ile ergime derecesinin değişip değişmeyeceği incelenmiştir. Bu amaçla yüksek asidik oksit içeriğine sahip olan Çatalağzı kömür külü diğer kömür külü numunelerine %50 ve %75 oranlarında karıştırılmıştır.

%50 diğer kömür külleri-%50 Çatalağzı kömür külü oranlarında karıştırılarak elde edilen karışım küllerinin ergime dereceleri ve ilk halleri aşağıda tablo 5.2'de verilmektedir.

Tablo 5.2. %50-%50 Karışım küllerinin ve ilk hallerinin ergime dereceleri

Ergime Dereceleri	Kemerköy (K) (°C)	Soma (S) (°C)	Yeniköy (Y) (°C)	Yatağan (Ya) (°C)	50K/50Ç	50S/50Ç	50Y/50Ç	50Ya/50Ç
IT	1155	1190	1125	1225	1190	1240	1200	1250
ST	1210	1265	1245	1250	1230	1270	1240	1290
HT	1230	1310	1265	1290	1260	1310	1280	1320
FT	1280	1340	1285	1345	1310	1370	1320	1370

Ergime derecelerini kimyasal kompozisyonlarına göre hesaplanan ampirik değerler ışığında irdelersek kömür küllerine ilave edilen %50 oranındaki Çatalağzı kömür külünün ergime sıcaklıklarını artırdıkları gözlenmektedir. Bazik oksit içeriği düşük, asidik oksit içeriği yüksek olan bu kömür külünün ilavesi sonucunda Yeniköy ve Kemerköy santral kömür küllerinin curuflaşma eğilimleri orta derecede (1231–1345 °C), Soma ve Yatağan kömür küllerinin ise düşük derecede (>1345 °C) olduğu gözlenmiştir.

%25 diğ er kömür külleri-%75 Çatalağ zı kömür külü oranlarında karıştırılarak elde edilen karışım küllerinin ergime dereceleri ve ilk halleri aşağıda tablo 5.3’de verilmektedir.

Tablo 5.3.%25-%75 Karışım küllerinin ve ilk hallerinin ergime dereceleri

Ergime Dereceleri	Kemerköy (K) (°C)	Soma (S) (°C)	Yeniköy (Y) (°C)	Yatağan (Ya) (°C)	25K/75Ç	25S/75Ç	25Y/75Ç	25Ya/75Ç
IT	1155	1190	1125	1225	1240	1280	1250	1290
ST	1210	1265	1245	1250	1290	1310	1290	1330
HT	1230	1310	1265	1290	1330	1340	1350	1370
FT	1280	1340	1285	1345	1390	1410	1390	1400

%75 oranında eklenen Çatalağ zı kömür külü tüm kömür küllerinin ergime derecelerini yükseltmiş, curuflaşma eğilimlerini ise düşürmüştür.

- Termik santrallerde meydana gelen curuflaşma sebepleri teorik olarak incelenmiş ve kimyasal kompozisyonları değiştirilerek iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapılmıştır. Laboratuvar çapta yapılan bu çalışmaların pratikteki durumunu tespit edebilmek amacıyla termik santrallerde oluşan kazan içinde cidarlara yapışarak curuf oluşturan tabakalardan farklı kotlardan curuf numuneleri alınmış ve bu curuf numunelerinin kimyasal ve mineralojik yapıları belirlenmeye çalışılmıştır.

Skrifvars vd. CaO bakımından zengin kömür külünün normal koşullarda, 1173 K (899 C°) olarak saptadıkları sinterleşme sıcaklığını 873 K’e (599 C°) düşüğ ünü saptamıştır (Lawrence vd., 2008). Kısmı ergime esnasında meydana gelebilecek curuflaşmanın derecesi, kömürün (kül) iç erdiğ i inorganik maddenin faz denge hesaplaması ile tahmin edilebilir (Rogers, 1928). Sodyum, potasyum, kükürt ve klorür yönünden zengin kömürlerin yakıldığı ortamda külün kolayca ergimesi sebebiyle aglomerasyon gerçekleşebilmektedir. Bu elementler alev içerisinde uçucu hale gelirler. Yapılan yanma çalışmalarında sodyum ve sülfürlerin külün ergiyip kazan yüzeylerinde birikmesine ve bu taneciklerin yapışkan bir özellik kazanmalarına neden oldukları gözlenmiştir. Alkali elementler (sodyum,

potasyum) bu tür birikimlerin oluşmasındaki başlıca etkenlerdir. Bu birikimler, özellikle, yumuşak ve oldukça viskoz taneciklerin sıcak metal yüzeylerinde bozunması ve yapışmasından kaynaklanır. Yapılan incelemeler, boruların yüzeyleri üzerinde düşük sıcaklıkta eriyen bir fazın oluşumunu içeren ilk aşamanın, birikim oluşumuna izin veren bir çeşit yapışkan madde temin ettiğini göstermektedir. Başlangıç tabakasının oluşumu ile ilgili olan düşük erime sıcaklığına sahip madde; alkali sülfatları, demir-veya alüminyum-sülfatları içerir (Yaman, 1992).

Kimyasal analizlere baktığımızda Kemerköy ve Yeniköy termik santral curuflarında ana bileşenin CaO olduğunu ve kazana yapışan (iç kısım olarak adlandırılmıştır) kısımda değil dış kısımda yoğunlaştığını, alt kotlarda miktarının daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O oranlarının diğer santrallere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Curuflaşma problemlerinin yoğun olduğu bilinen bu santrallerde bu oranların yüksek olması curuflaşmada önemli rol oynadıklarını göstermektedir. Düşük sıcaklıklarda kolayca gaz faza geçebilen bu elementlerin curuflaşmayı başlatan temel bileşenler olduğu düşünülmektedir. Ayrıca diğer bir bileşen olan SiO<sub>2</sub> ise iç kısımlarda ve aynı zamanda ana kotlarda daha fazla yoğunlaşmış olarak görülmektedir. Yine Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranları CaO ile ters ilişkili olarak görülmüştür.

Soma termik santralinden alınan üç farklı bölgedeki curuf örneklerinin sonuçlarına baktığımızda ise SiO<sub>2</sub> ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ün yüksek olduğu 38. m de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> miktarının düşük olduğu söylenebilir. Soma Termik Santralinde kül kökenli bir birikim olduğu alkalilerin curuflaşma üzerinde etkili olmadığı gözükmemektedir. Alt kottaki CaO ve SO<sub>3</sub> miktarının düşük, SiO<sub>2</sub> oranının yüksek olması ise kül birikmesinden kaynaklıdır.

Yatağan termik santral curuf numunesi de soma termik santralinden alınan curuf örneklerinin sonuçlarında olduğu gibi üst kota çıkıldığında, SiO<sub>2</sub> ve

$\text{Al}_2\text{O}_3$  ün yüksek olduğu,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarının ise düşük olduğu görölmektedir. Yine buradaki curuflaşmanın kül kökenli bir birikim olduğu alkalilerin curuflaşma üzerinde etkili olmadığı gözükmektedir. Alt kottaki CaO miktarının düşük,  $\text{SiO}_2$  oranının yüksek olması ise kül birikmesinden kaynaklıdır.

XRD sonuçlarına göre curuf numunelerinin ana piki anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) olarak bulunmuştur. Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve  $\text{CaSO}_4$ 'ın değişik formları olan bassanit ve gehlenit özellikle orta kotlarda (21 m-24 m-28 m-34 m) oluşmuştur. Yeniköy ve Kemerköy numunelerinin 14. metresinde bartonite ( $\text{K}_2\text{Fe}_{10}\text{S}_{14}$ ), 24. metresinde wollostanite ( $\text{CaSiO}_3$ ) rastlanmıştır.

## BÖLÜM ALTI

### SONUÇ

Bu tez çalışma kapsamında ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş olan, düşük kalorili linyit kömürleri ile çalışan pulverize kömür yakma sistemi ile elektrik üreten Soma, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santrallerinin kazan içi curuflaşma problemlerinin nedenleri araştırılmıştır.

Sonuç olarak;

Kömürün curuflaşma eğiliminin kömürün içerdiği kimyasal kompozisyona bağlı olarak değiştiği yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Çalışmada örnek alınan termik santrallerde yakma sistemleri aynıdır. Dolayısıyla ilk etapta küllerin kimyasal yapısındaki farklılığın yanma koşullarından değil kömürün kimyasal kompozisyonundaki farklılıktan kaynaklandığı söylenebilir. Yanma sırasında kömürün inorganik yapısı değişime uğramakta buda oluşan küldeki kimyasal yapıyı etkilemektedir.

Santraller her ne kadar aynı yakma sistemi ile çalışsalar da çalışma şartlarının farklılıklarından kaynaklanabilecek yapılardaki değişikliklerin tesbitindeki güçlükler sebebiyle, tez çalışması kapsamında termik santralden alınan uçucu kül örnekleri üzerinde, aynı zamanda kömür örnekleri üzerinde çalışılmıştır. Kömürler laboratuvar şartlarında aynı ortam şartlarında kül haline getirilmiş ve daha sonra ergime sıcaklıkları tesbit edilmiştir. Sonuçta alınan uçucu kül örnekleri ve kömür külü örneklerinin curuflaşma eğilimleri arasında farklılık gösterdiği tesbit edilmiştir.

Ege Bölgesinde Termik Santrallerde kullanılan linyit kömürleri bazik oksit oranları yüksek olan kömürlerdir. Bu sebeple yanma sırasında curuflaşmaya eğilimleri vardır.

Yapılan testler sonucunda bu eğilimleri azaltmak için asidik oksit oranı yüksek olan bir başka kömürün ilavesinin kömür küllerine sadece  $\text{SiO}_2$  veya  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranlarını



yükseltme kamacıyla ilave edilen kuvars ve boksitin karıştırılmasından daha etkili bir parametre olduğu gözlenmiştir.

Ancak; Yatağan ve Soma kömürlerinin  $\text{SiO}_2$  veya  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranlarının arttırılması ile de curuflaşma eğilimlerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu amaçla bu santrallere kömürle birlikte beslenecek kuvars yada  $\text{Al}_2\text{O}_3$  oranı yüksek bir bileşenin (boksit gibi) ilavesi uygun olabilir.

## KAYNAKLAR

- Aineto, M., Acosta, A., Rincón, J.M., Romero, M., (2006). Thermal expansion of slag and fly ash from coal gasification in IGCC power plant *Fuel*, (85) 2352-2358.
- Alpern B. ve Nayhuys J., (1984). Mineral matter in ash and nonwashable coals-its influence on chemical properties, *Geol Portugal*, 299-317.
- Anaç, S. (2003). *Enerji politikalarında kömürün yeri*. 30 Kasım 2005, <http://www.tki.gov.tr>.
- Bayat, O. (1998). Characterisation of Turkish fly ashes. *Fuel*, (77), 9-10, 1059-1066.
- Berkowitz, N. (1985). *The chemistry of coal*. Amsterdam: Elsevier Science Publishers.
- Brain-c-jcoal. (2008). Akışkan Yataklı Kazan Üniteli Santralin Genel Prensi Şeması, (15 Mayıs 2008), [http://www.brain-c-jcoal.info/cctinjapan-files/english/2\\_2A7.pdf](http://www.brain-c-jcoal.info/cctinjapan-files/english/2_2A7.pdf).
- British Petroleum (BP). (2007), *Statistical review of world energy*, London.
- Brown, H.R., Durie, R. A., Schafer, H.N.S. (1959). The inorganic constituents in Australian coals I- The direct determination of the total mineral matter content. *Fuel* (38) 295-308.
- Clark L.B. ve Sloss L.L. (1992). Trace elements – emission from coal combustion and gasification, *IEA Coal Research*, IEACR/49.
- Committee MN/1. (1995). *AS 1038.15 Australian Standard Coal and coke—Analysis and testing Part 15: Higher rank coal ash and coke ash—Ash fusibility*, the Council of Standards Australia.

- Couch G., (1994). Understanding slagging and fouling in PF combustion, *IEA Coal Research*, IEACR/72.
- Demirbilek, S. (1987). Kömür kullanımı ile ilgili çevre kirlenmesi. *Madencilik*, (26) sayı 3.
- Dolun, L., (Aralık 2002). Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi ve kullanılan kaynaklar. 15 Mayıs 2008, [http://www.tkb.com.tr/esa/SA/2002-SA/SA-02-06-18\\_Elektrik\\_Enerjisi\\_Sektoru.pdf](http://www.tkb.com.tr/esa/SA/2002-SA/SA-02-06-18_Elektrik_Enerjisi_Sektoru.pdf).
- DPT. (Mayıs 1996). *Madencilik özel ihtisas komisyonu enerji hammaddeleri alt komisyonu linyit ve taşkömürü çalışma grubu raporları, 9. Kalkınma Raporu*. 11 Mayıs 2006, <http://www.dpt.gov.tr/dptweb/ekutup96/o496/o496-oku.html>.
- DPT. (2001). *VIII. Beşyıllık kalkınma planı madencilik ÖİK kömür çalışma grubu raporu*. 25 Mayıs 2008, <http://ekutup.dpt.gov.tr/madencil/>.
- Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi. (1998). *Enerji raporu*, WEC (World Energy Council), Ankara.
- Energy Watch Group (EWG). (2007). *Coal: Resources and future production*. 15 Mayıs 2008, [http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG-Coalreport\\_10\\_07\\_2007.pdf](http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG-Coalreport_10_07_2007.pdf).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB). (2007). *Türkiye'nin maden potansiyeli*. 25 Ocak 2008, <http://www.enerji.gov.tr/madenpotansiyel.htm>.
- Energy Information Administration (EIA). (2007), *International energy outlook 2007*, Washington.
- Estep, T.G. Seltz, H. Bunker, H.L. (1934). Mining and met. advisory boards, *Coop. Bull*, (62) 47.

- Goña, Ch. Hele, S. Garcia X., Gordon, B. Para R. Kelm, U. Jimenez C. and Alfaro G. (2003). Coal blend combustion; fusibility ranking from mineral matter composition. *Fuel*, (82) 2087-2095.
- Gray, R. J. Moore, G. F. (1984). *Burning the sub-bituminous coals of Montana and Wyoming in large utility boilers*. ASME 74-WA/Fu-1.
- IEA/OECD. (1983). *Coal information report*.
- IEA-International Energy Agency. 2005. *Inquire 3 (IEA Energy Database)*, Paris, France.
- IEA-International Energy Agency. 2005. *World energy outlook - Middle East and North Africa insights*. ISBN 92-64-10949-8, Paris.
- IEA Coal Research. 1983. *Concise guide to world coalfields, IEA Coal Research*, London.
- International Energy Agency (IEA). 2005. *Energy policies of IEA countries – Turkey 2005 Review*, Paris.
- International Energy Agency (IEA). 2006. *Key world energy statistics*, Paris.
- International Energy Agency (IEA). 2006. *Coal information*, Paris.
- International Energy Agency (IEA). 2007. *Key world energy statistics*, Paris.
- İ.T.Ü. (2007). Türkiye’de enerji ve geleceği. İ.T.Ü. Görüşü.
- Jenkins, R.G., Walker, P.L. (1978). *Analytical methods for coal products*, Vol. 2, , New York: Academic Press.
- Juniper L., Huber, G., Jak, E., Creelman, B. ve Wall, T., (2000). *Making the Ash Fusion Test Useful*, ACARP Project C8050.

- Kemal, M. ve Arslan, V. (1999). Kömür, İzmir: D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Matbaası.
- Kemezys, M. Taylor, G.H. (1964). *Symposium on the inorganic constituents of fuel*. The Institute of Fuel.
- Kutchko, B.G. ve Kim, A.G., (2006). Fly ash characterization by SEM–EDS, *Fuel*, (85) 2537-2544.
- Lawrence, A. Kumar, R. Nandakumar, K. ve Narayanan K. (2008). A novel tool for assessing propensity of coals in PF boilers. *Fuel*, (87) 946-950.
- Lowry, H.H. (1963). *Chemistry of coal utilization*. Supplementary Volume, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA). (2007). *Türkiye maden rezervleri*. 08 Ocak 2008, [http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/tur\\_rez.html](http://www.mta.gov.tr/madenler/turmaden/tur_rez.html).
- Mackowsky, M.T. (1968). *Coal and coal bearing strata* (Murchison, D. ve Westoll T.S. ed.) New York: Elsevier.
- Mervit R. D. (1983). *Coal exploration, mine planning and development*. ISBN-13: 978-0-8155-1070-3.
- Meyers, R.A. (1982). *Coal structure*. New York: Academic Pres.
- Nedo. (2008). *Pulverize kazan üniteli santralin genel prensip şeması* . (15 Mayıs 2008), [http://www.nedo.go.jp/sekitan/cct/eng\\_pdf/2\\_2a1.pdf](http://www.nedo.go.jp/sekitan/cct/eng_pdf/2_2a1.pdf).
- Olsen, A. (March 1999). *Conversion of biomass, prediction and solution methods for agglomeration and related problems, final report*. 15 Mayıs 2008, <http://www.ecn.nl/docs/library/report/1999/c99090.pdf>.

- Poolack, S.S.(1979). Estimating mineral matter in coal from its major inorganic elements. *Fuel*, (58) 76-78.
- Raask, E. (1985). *Mineral impurities in coal combustion*. Washington: Hemisphere Publishing Corporation.
- Rogers, A.F. (1928). Natural history of silica minerals. *American Minerologist*, (13) 73-92.
- Russell N.V., Wigly F. ve Williamson J. (2002). The roles of iron oxide on the formation of ash and deposits in PF combustion. *Fuel*, (81) 673-681.
- Seggiani M., (1999). Empirical correlations of the ash fusion temperatures and temperature of critical viscosity for coal and biomass ashes, *Fuel*, (78) 1121-1125.
- Tamzok, N. Torun M. (2004). Türkiye enerji politikaları içerisinde kömürün önemi, *Madencilik*, 293-308.
- Taylor, H.F.W., (1997). *Cement Chemistry*, London: Thomas Telford Publishing.
- T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Başkanlığı. (2004), *Enerji*. 20 Mayıs 2008, [http://www.bbc.co.uk/turkish/fuelling\\_the\\_future/documents/enerji.pdf](http://www.bbc.co.uk/turkish/fuelling_the_future/documents/enerji.pdf).
- Thessen, G. (1945). *Composition and origin of mineral matter in coal*. Lowry, H.H. (ed.). *Chemistry of Coal Utilization*, (1) 485-571.
- TMMOB Enerji Raporu, 2006 ISBN: 9944-89-172X
- Townsend, W.N. & Hodgson, D.R. (1973). Edaphological problems associated with deposits of pulverized fuel ash. R.J. Hutnik ve G. Davis (Ed.), *Ecology and Reclamation of Devastated Land*, New York: Gordon and Breach.
- TKİ. (2008). *Kömür nedir*. 30 Nisan 2008, [http://www.tki.gov.tr/TKI\\_HAKKINDA/komur\\_nedir\\_1.htm](http://www.tki.gov.tr/TKI_HAKKINDA/komur_nedir_1.htm)

- Tsai, S.C. (1982). *Fundamentals of coal beneficiation and utilization*, New York: Elsevier.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2007), *Türkiye elektrik istatistikleri*. 28 Ekim 2007 <http://www.teias.gov.tr>.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ). (2007). *Türkiye elektrik istatistikleri*. 10 Nisan 2008, <http://www.teias.gov.tr>.
- Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ). (2007), *2006 yılı faaliyet raporu*. 25 Ekim 2007, [http://www.tki.gov.tr/faaliyet\\_raporlari.htm](http://www.tki.gov.tr/faaliyet_raporlari.htm).
- Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK). (2007), *Taşkömürü üretim miktarları*. 22 Ekim 2007, <http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?entityType=HTML&id=133>.
- Van der Grift, A. ve Olsen, A., (1999). Conversion of biomass, prediction and solution methods for agglomeration and related problems, *ECN Fuels Conversion&Management*, Final Report.
- Van Dyk, J.C., Baxter, L.L., Van Heerden, J.H.P. ve Coetzer, R.L.J., (2005). Chemical fractionation tests on South African coal sources to obtain species-specific information on ash fusion temperatures (AFT), *Fuel*, (84) 1768-1777.
- Vasileva S.V., Menedez R, Alvarez D, Diaz-Somoano M. ve Martinez- Tarazona M.R., (2003). Phase mineral and chemical composition of coal fly ashes as a basis for their multicomponent utilization. 1. Characterization of feed coals and fly ashes, *Fuel*, (82) 1793–811.
- Vassilev S.V. ve Vassileva C.G., (2005). Methods for characterization of composition of fly ashes from coal-fired power stations: A critical overview, *Energy Fuels*, (19) 1084–1098.
- Vasilev S.V., Vassileva C.G., Karayigit A.I., Bulut Y., Alsatuey A., Querol X., (2005), Phase-mineral and chemical composition of fractions separated from

composite fly ashes at the Soma power station, Turkey, *International Journal of Coal Geology*, (61) 65–85.

Vorres, K.S. (1984). *Mineral matter and ash in coal*. American Coal Society, Washington.

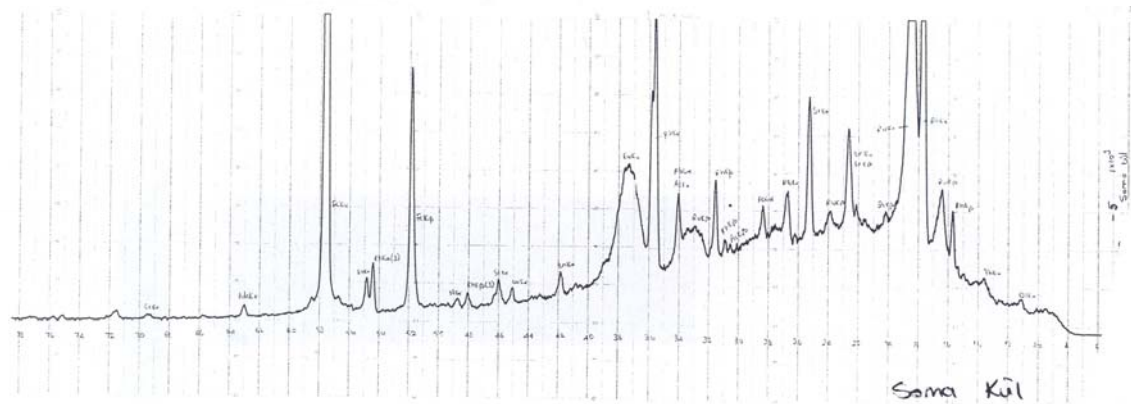
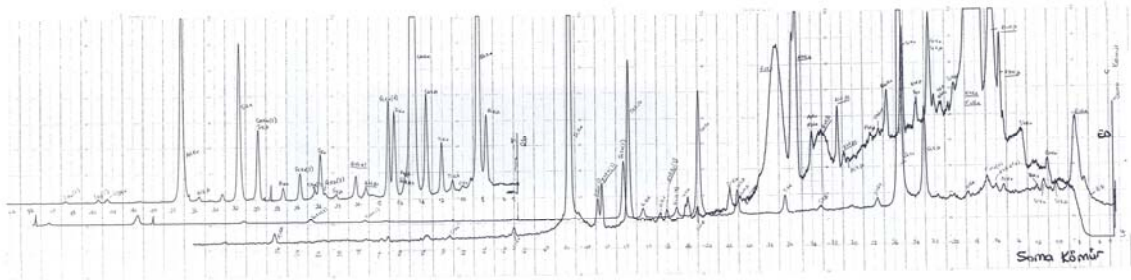
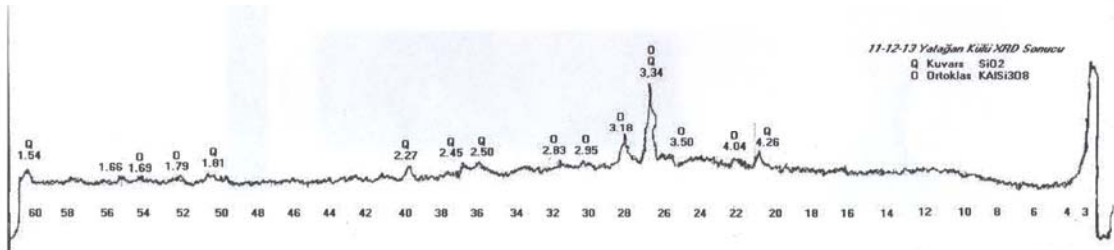
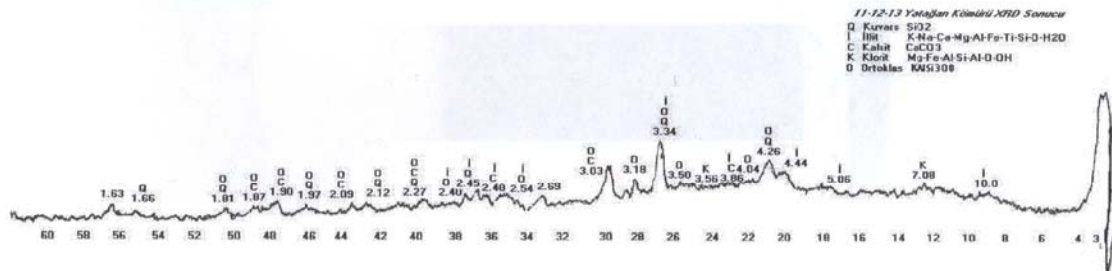
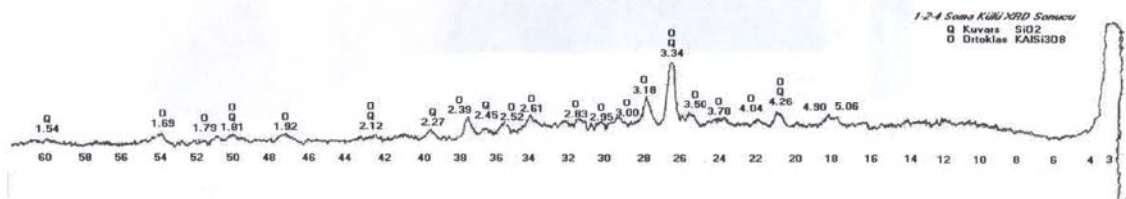
Yaman, S. (1992). *Bazı türk linyitlerinin mineral içerikleri*. Istanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Zussman, J., ed. (1967). *Physical methods in determinative mineralogy*. New York: Academic Press.



## EK BİR

### UÇUCU KÜL VE KÖMÜR NUMUNELERİNE AİT XRD VE XRF ANALİZ SONUÇLARI















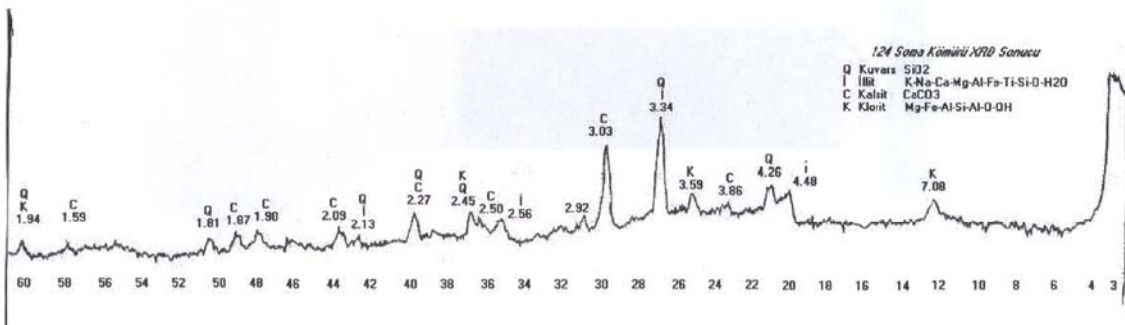
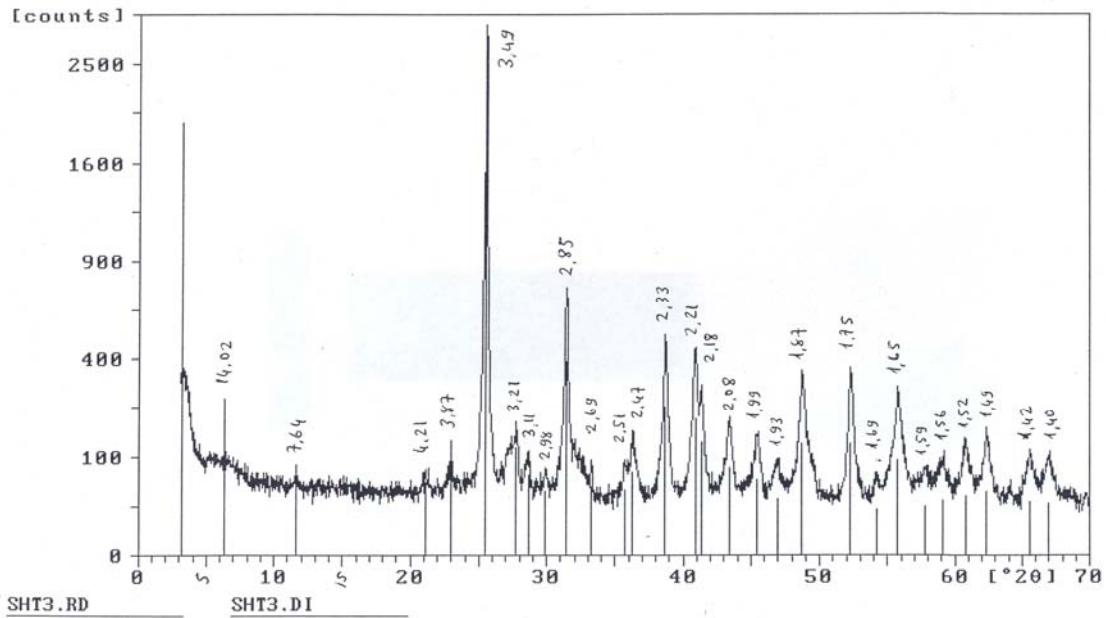
Yatağan Termik Santrali

super heater tubes

kazan içi kızdırma bölgesi  
numunesi

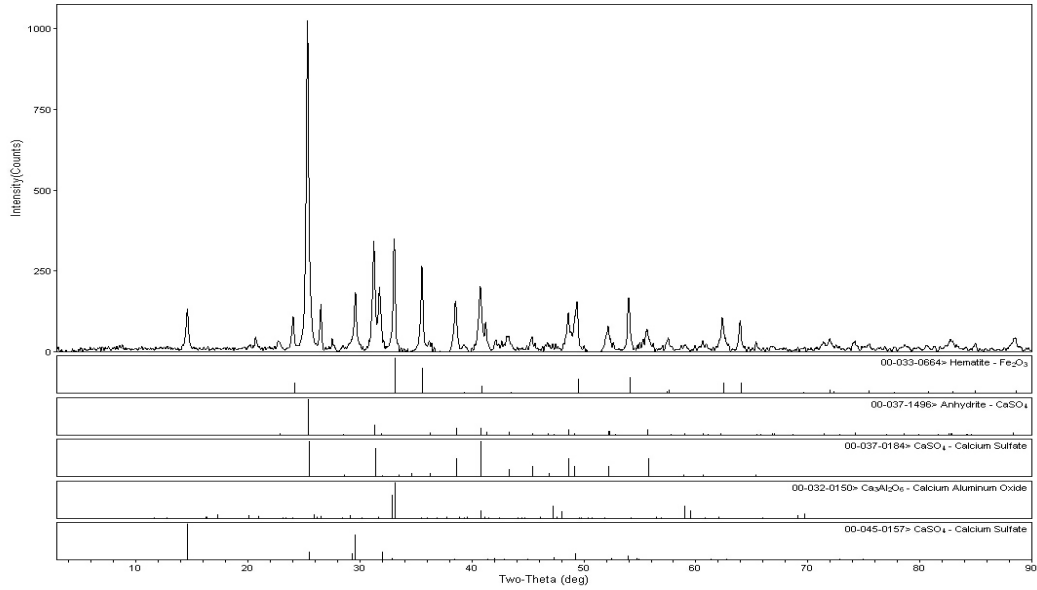
Sample identification SHT3 (3. GRUP KAZAN SHT 3. BÖLGE)

14-Feb-2005 17:05

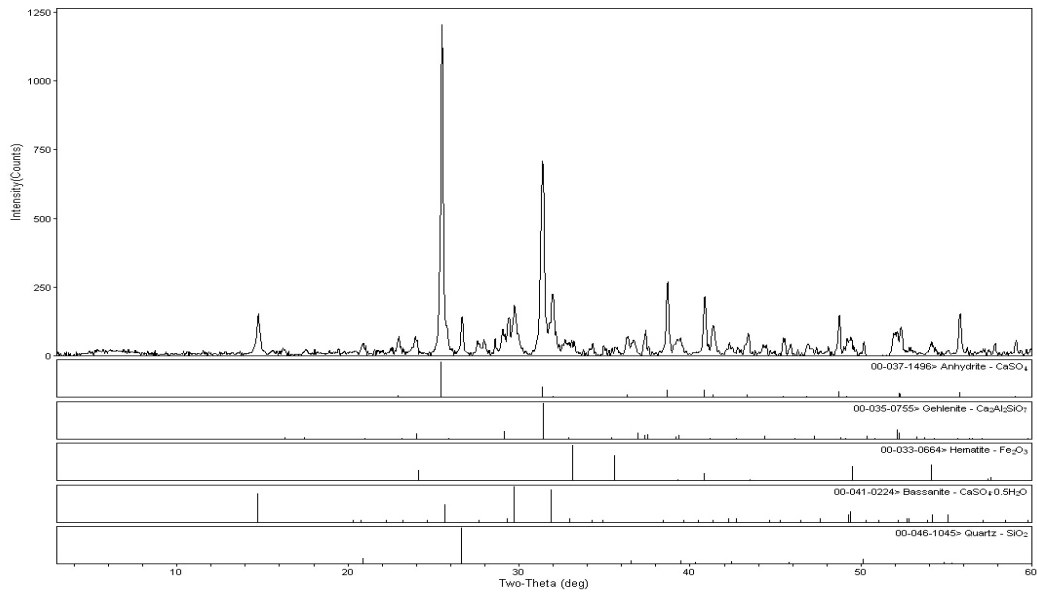


## EK İKİ

### CURUF NUMUNELERİNE AİT XRD ANALİZ SONUÇLARI

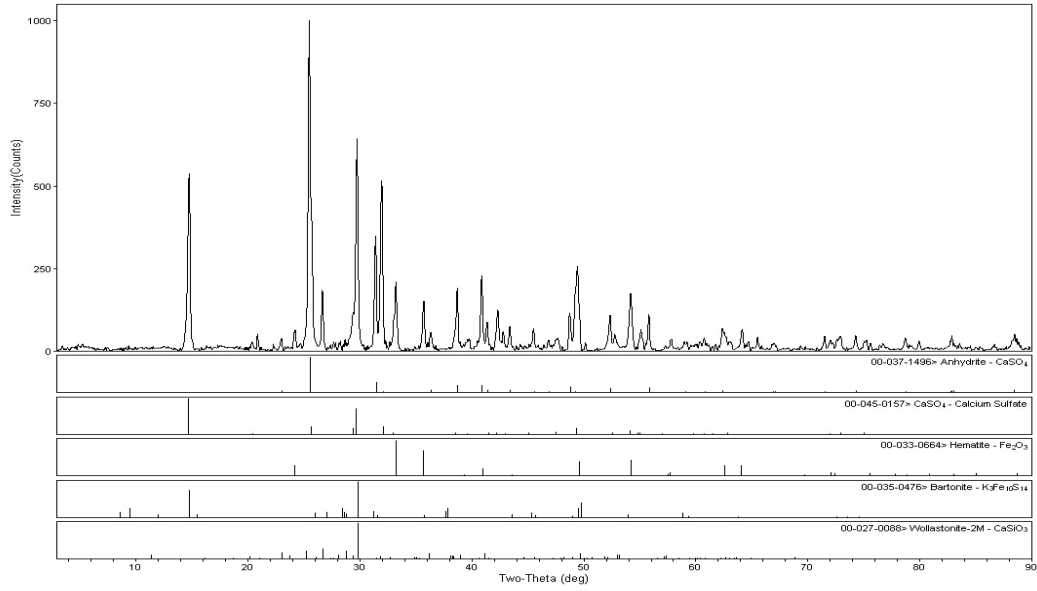


Kemerköy termik santral curufu 14. m iç



Kemerköy termik santral curufu 14. m dış

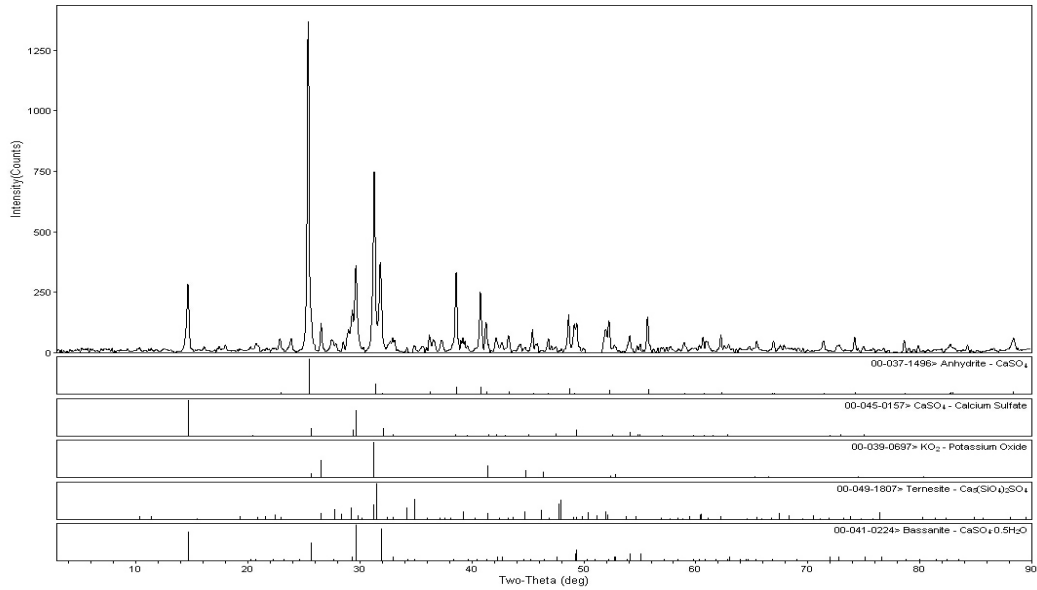




Materials Data, Inc.

[RINTPC1]igaku\C:\Windmax\Data\ Tuesday, January 22, 2008 10:32a (MJD\JADEF)

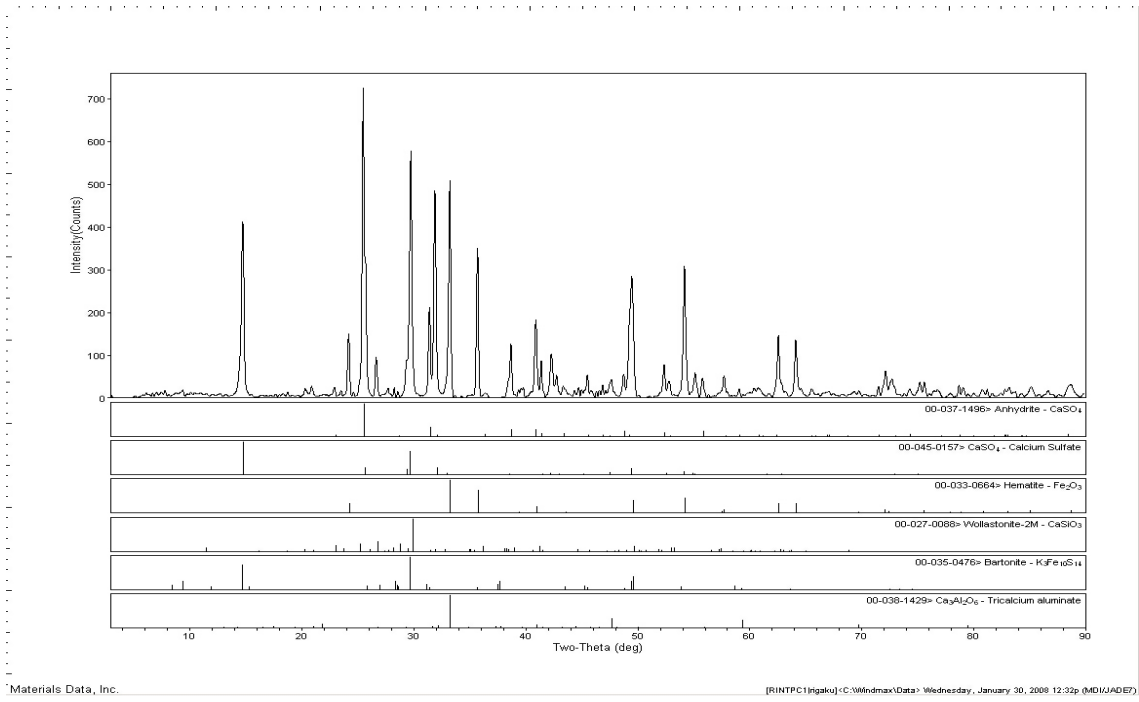
Kemerköy termik santral curufu 21. m iç



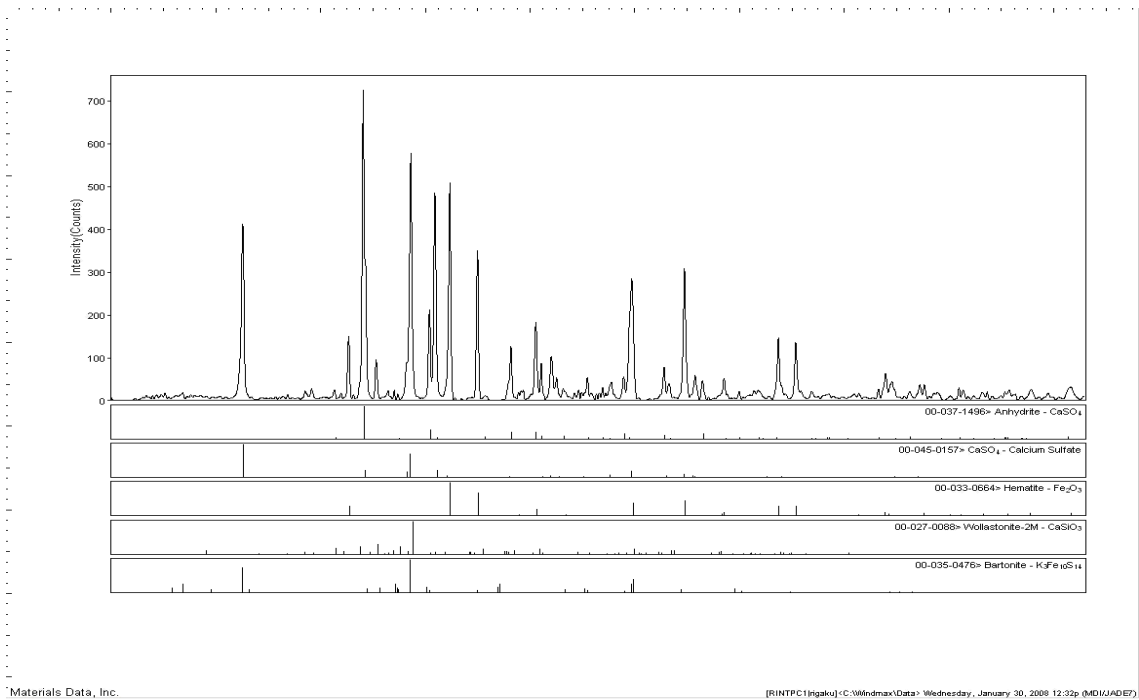
Materials Data, Inc.

[RINTPC1]igaku\C:\Windmax\Data\ Monday, January 20, 2008 02:25p (MJD\JADEF)

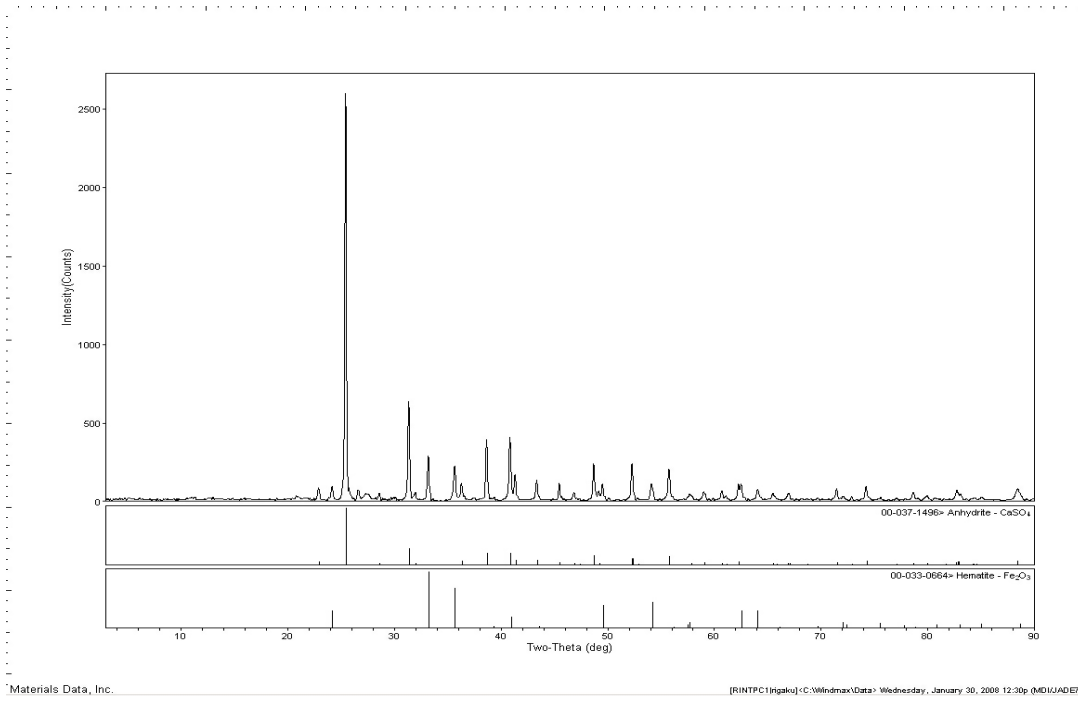
Kemerköy termik santral curufu 21. m dış



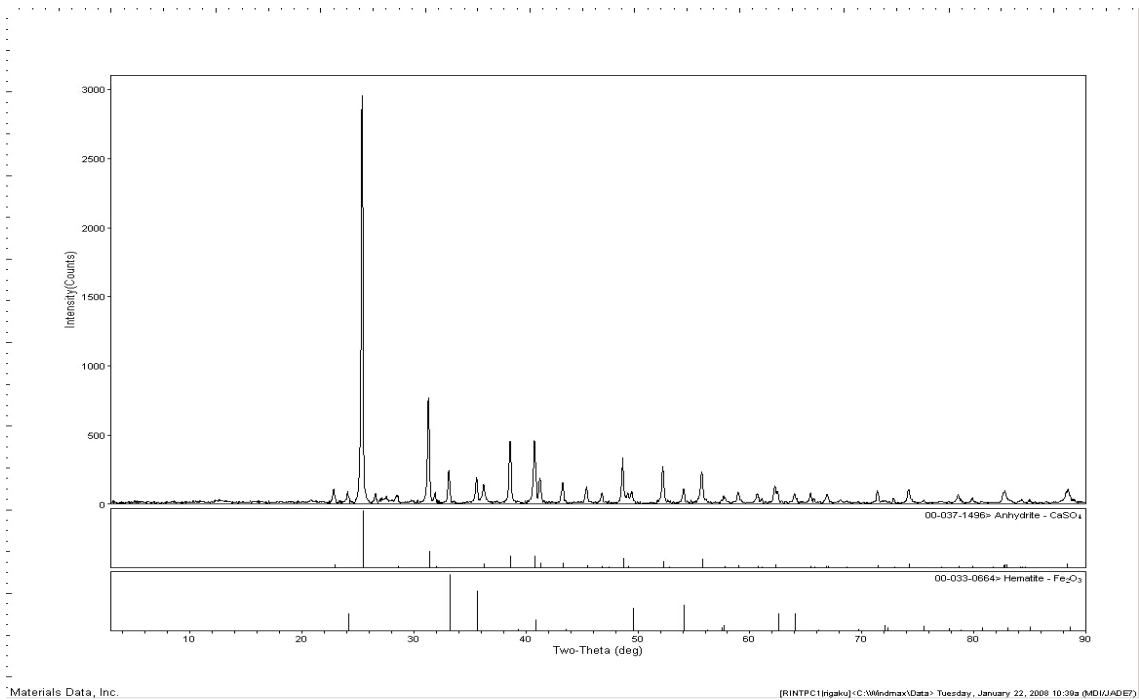
Kemerköy termik santral curufu 24. m iç



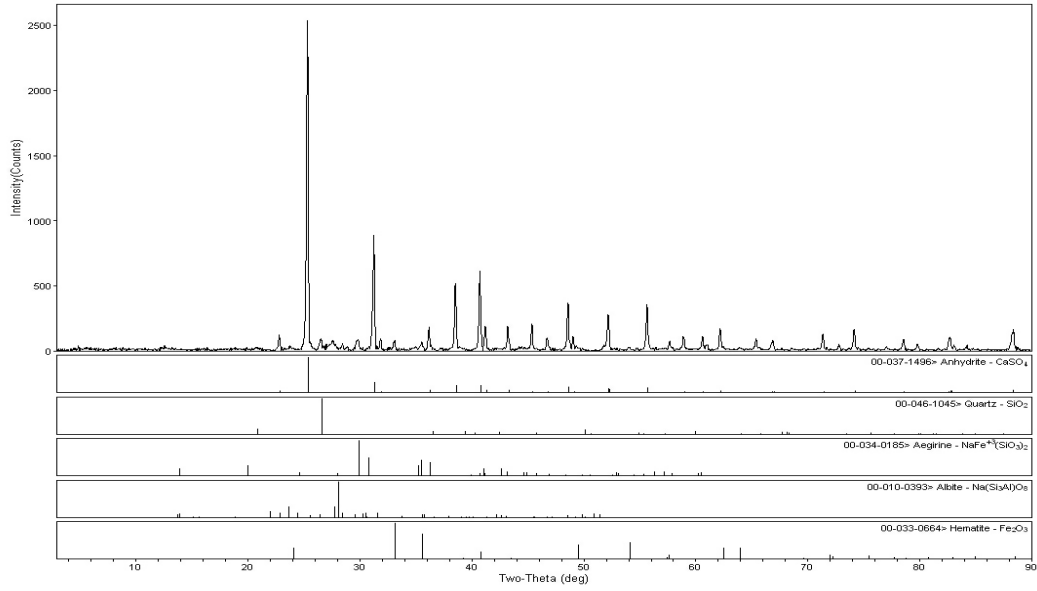
Kemerköy termik santral curufu 24. m dış



Kemerköy termik santral curufu 28. m iç



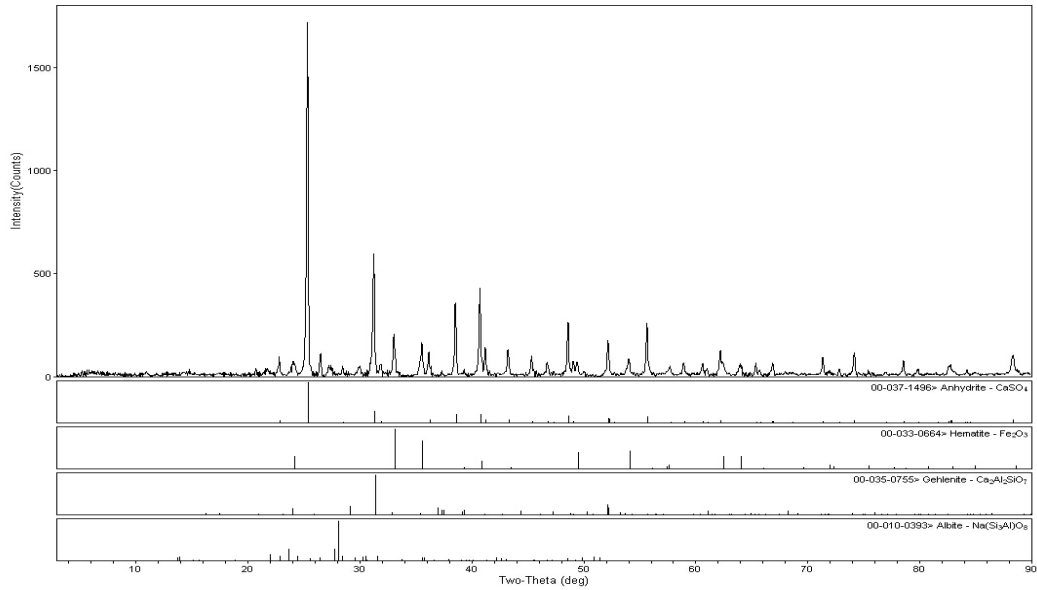
Kemerköy termik santral curufu 28. m dış



Materials Data, Inc.

[RINTPC1]ngaku\C:\Windmax\Data&gt; Friday, January 19, 2009 10:52a (M/D/J/A/E/T)

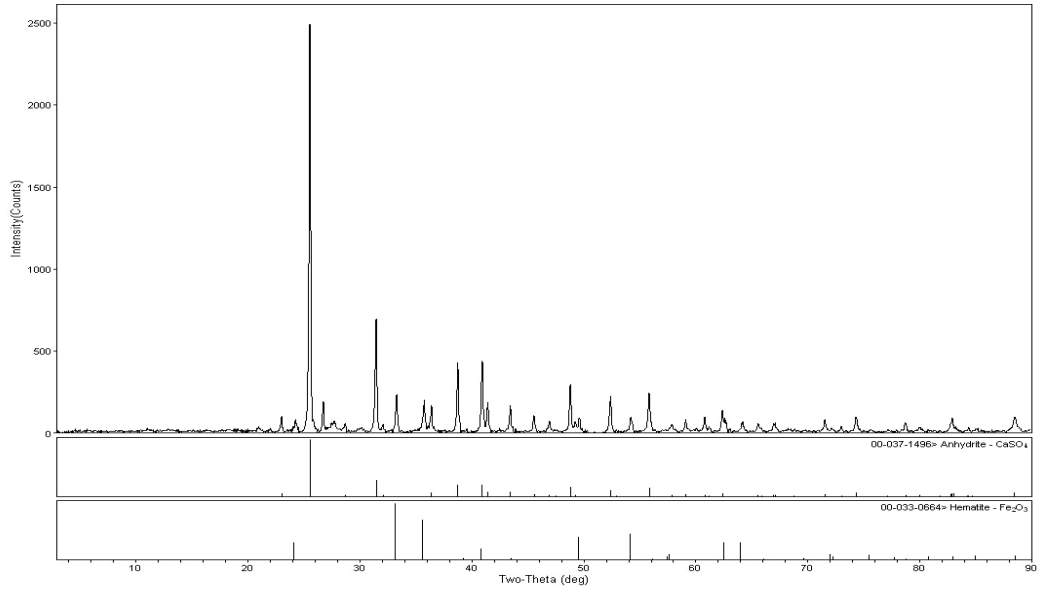
Kemerköy termik santral curufu 34. m iç



Materials Data, Inc.

[RINTPC1]ngaku\C:\Windmax\Data&gt; Friday, January 19, 2009 10:55a (M/D/J/A/E/T)

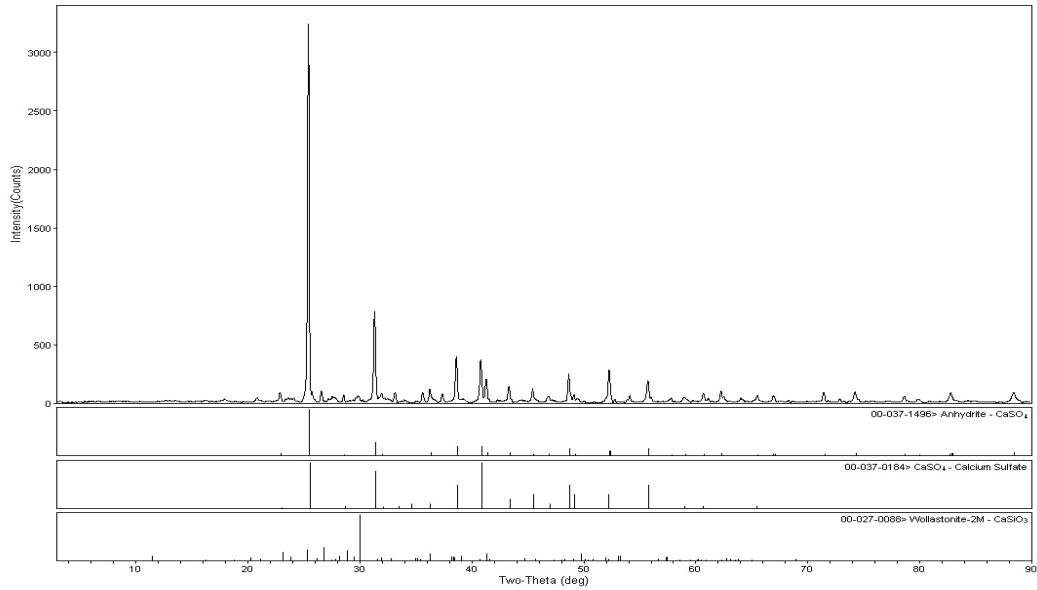
Kemerköy termik santral curufu 34. m dış



Materials Data, Inc.

[RINTPC1]igaku\C:\Windmax\Data\ Tuesday, January 22, 2008 10:38a (M01/JADE7)

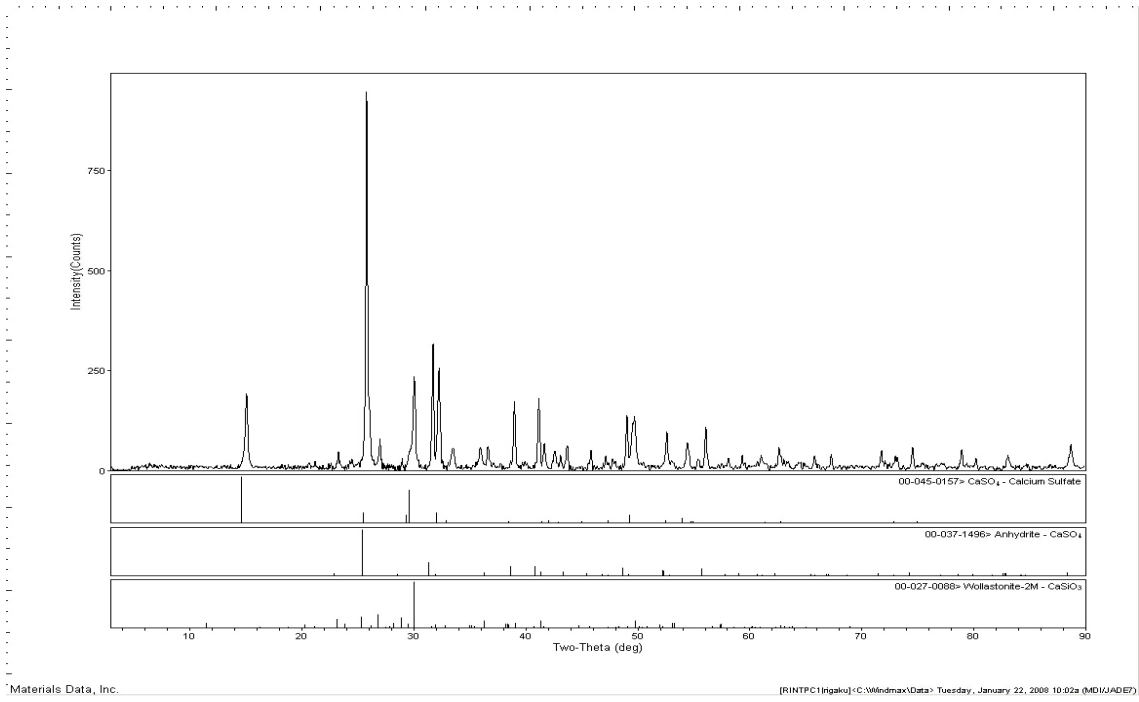
Kemerköy termik santral curufu 42. m iç



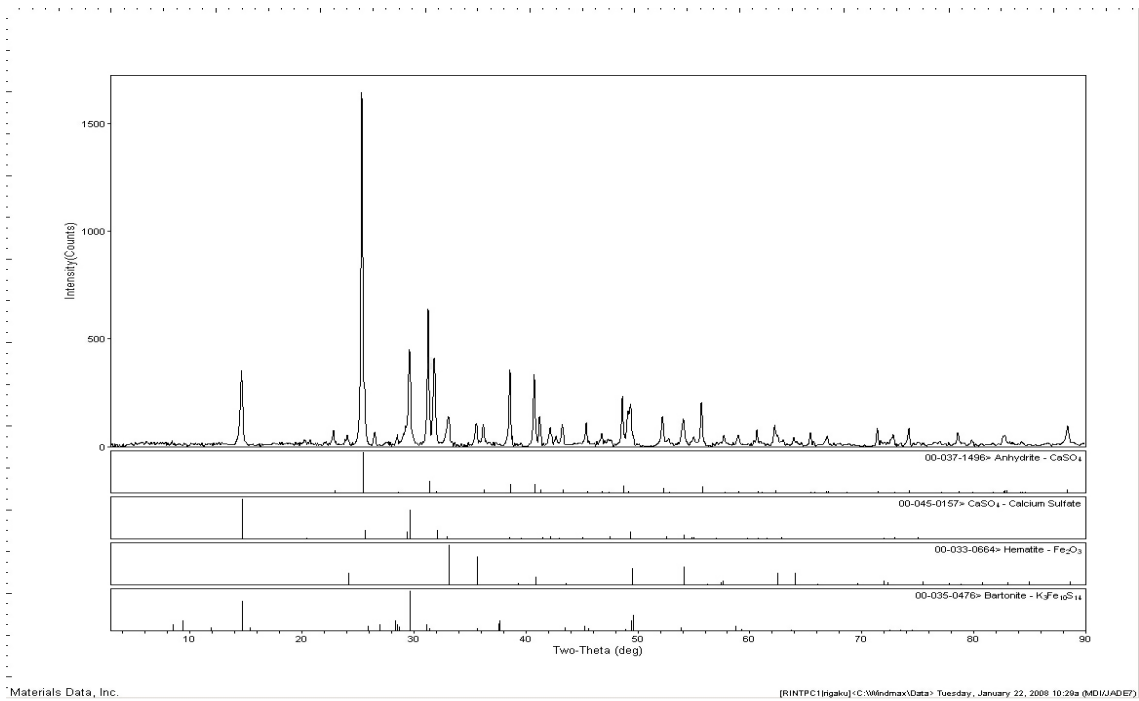
Materials Data, Inc.

[RINTPC1]igaku\C:\Windmax\Data\ Wednesday, January 30, 2008 12:20p (M01/JADE7)

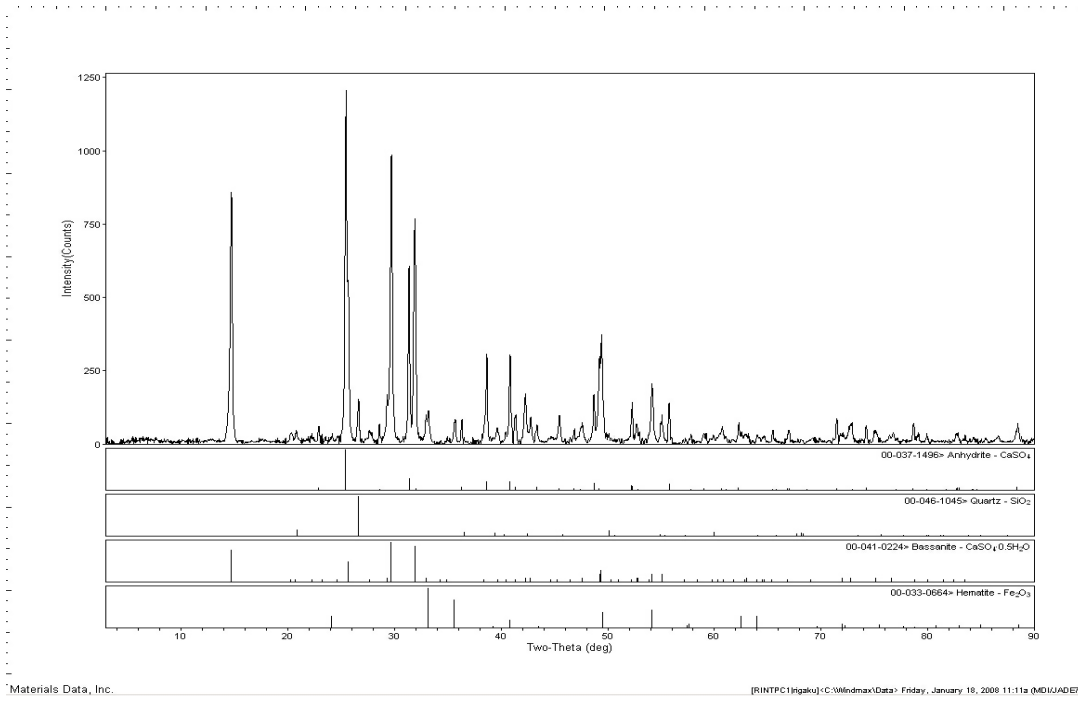
Kemerköy termik santral curufu 42. m dış



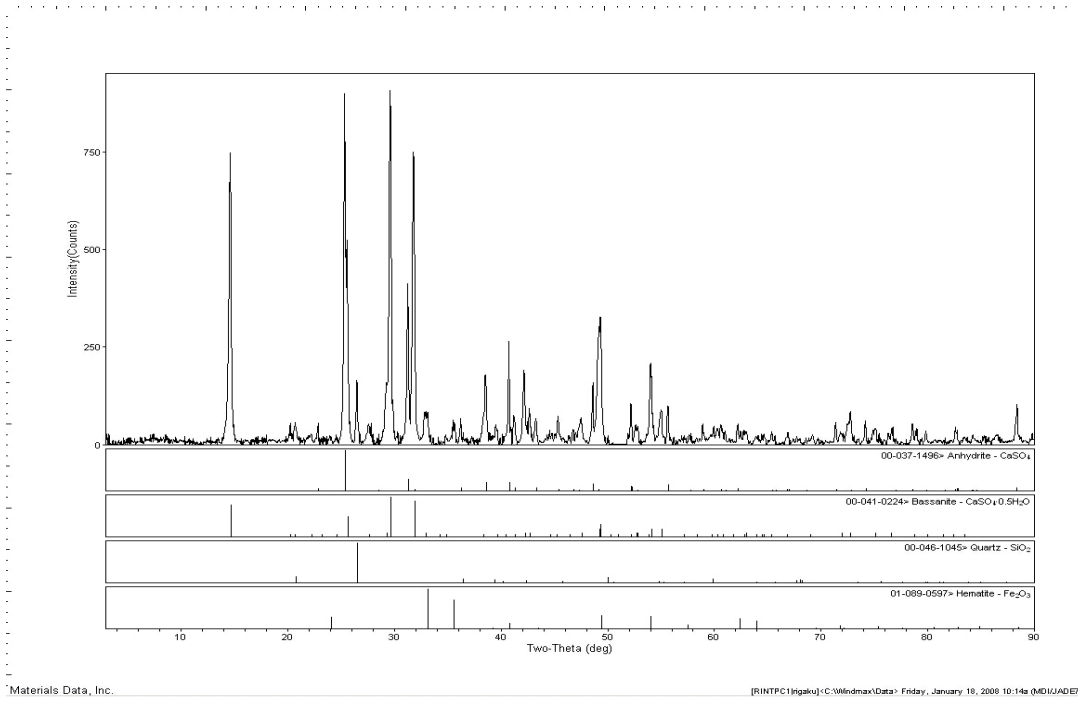
Yeniköy termik santral curufu 14. m iç



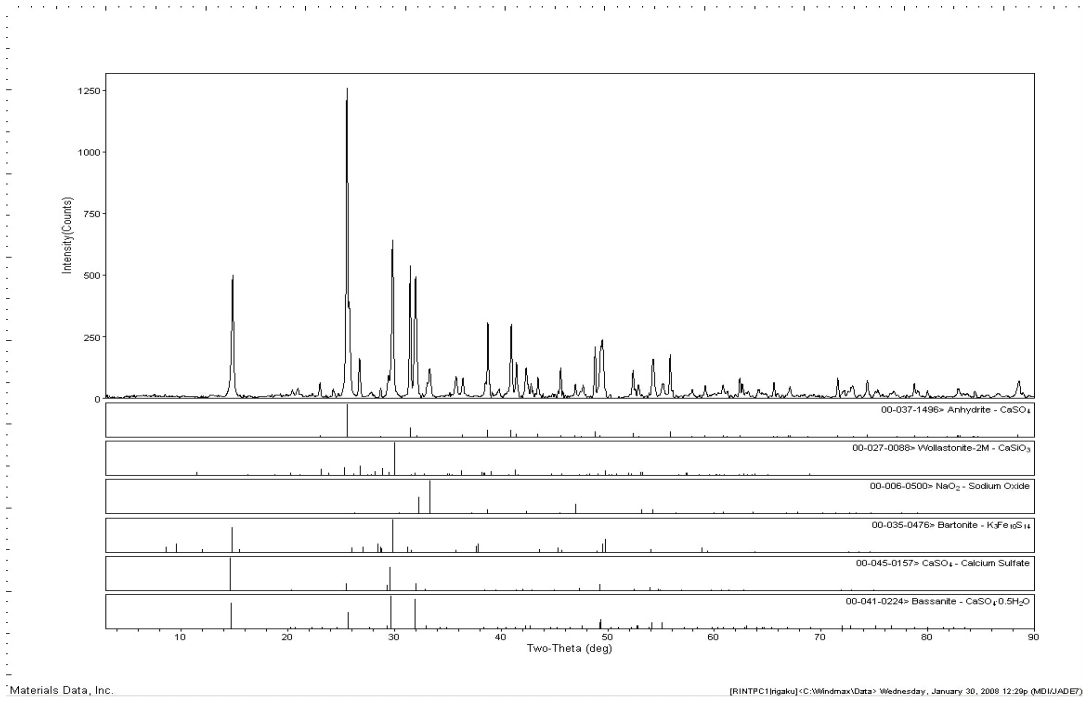
Yeniköy termik santral curufu 14. m dış



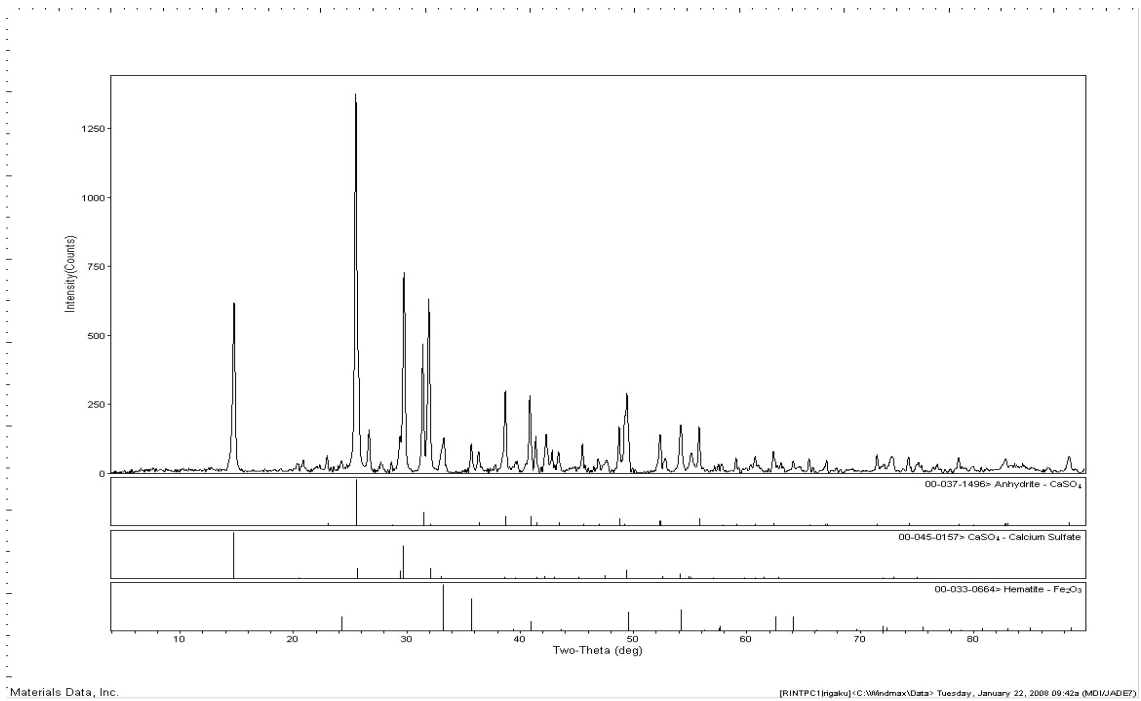
Yeniköy termik santral curufu 21. m iç



Yeniköy termik santral curufu 21. m dış

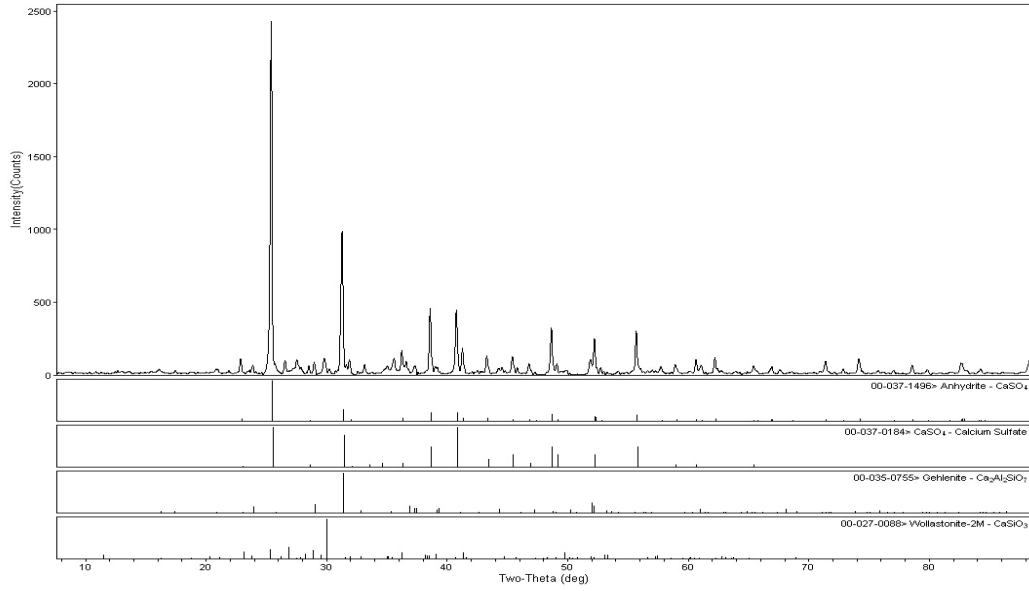


Yeniköy termik santral curufu 24. m iç



Yeniköy termik santral curufu 24. m dış

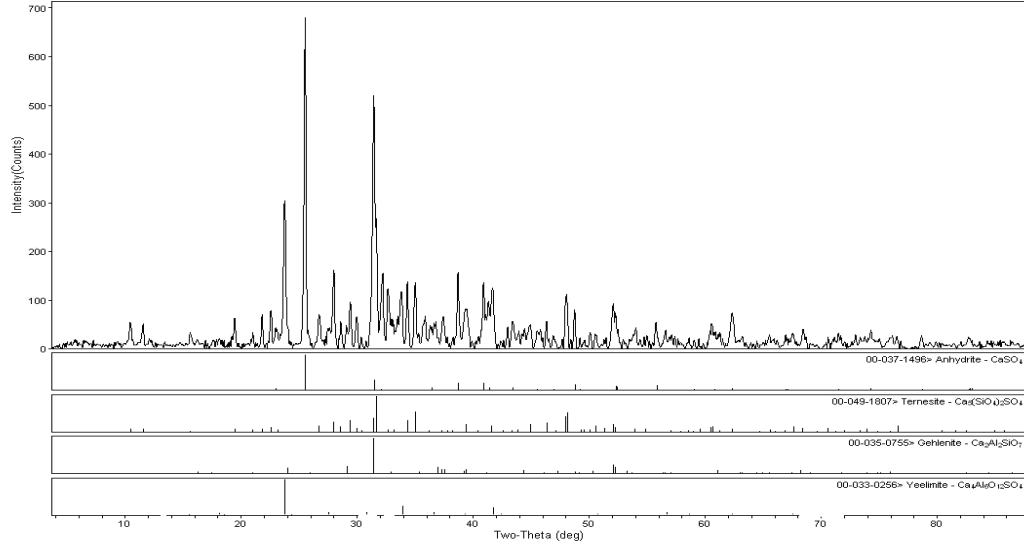




Materials Data, Inc.

[RINTPC1]jgaku\C:\Windmax\Data\ Wednesday, January 30, 2008 12:17p (M016JADE7)

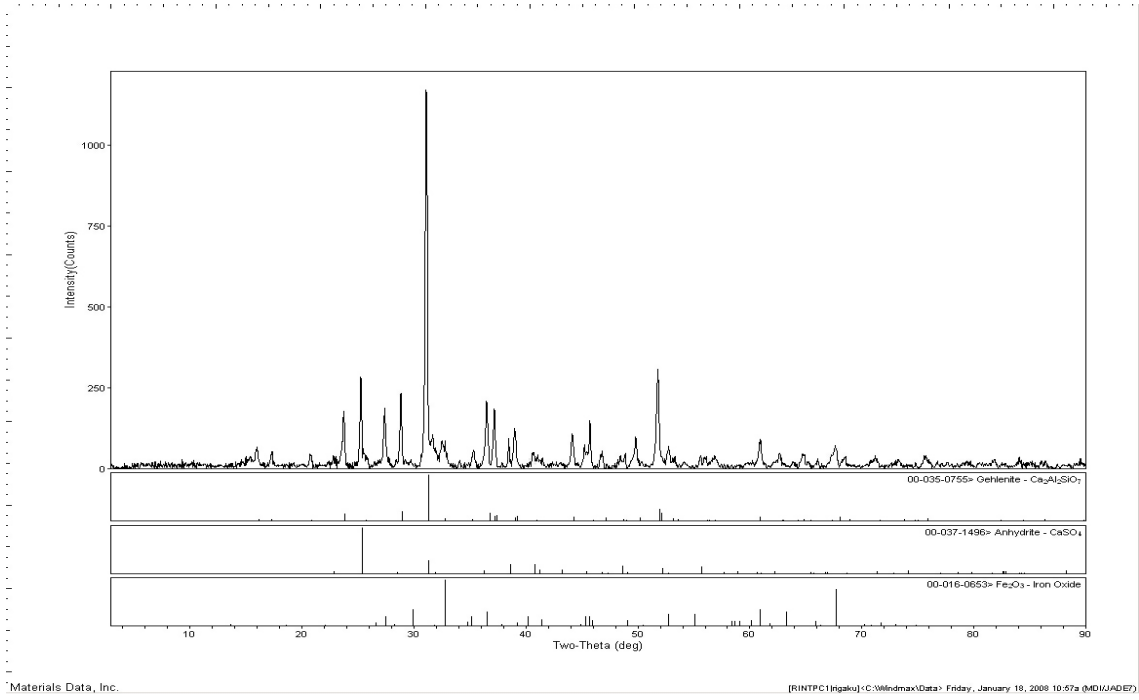
Yeniköy termik santral curufu 28. m iç



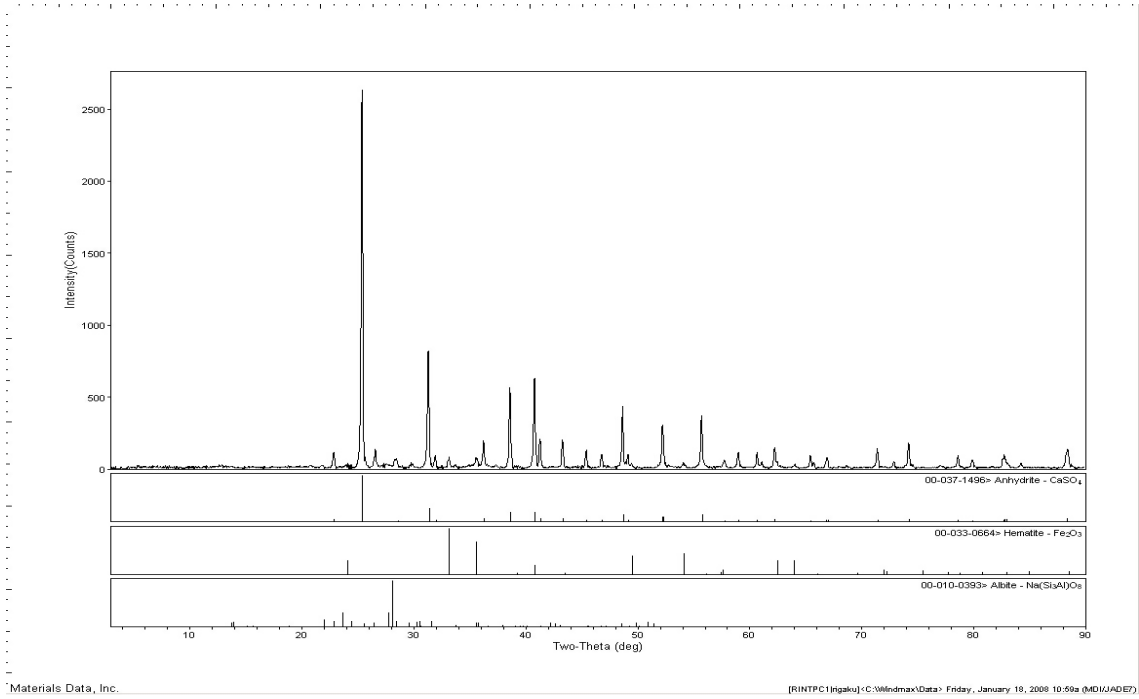
Materials Data, Inc.

[RINTPC1]jgaku\C:\Windmax\Data\ Friday, January 18, 2008 10:48a (M016JADE7)

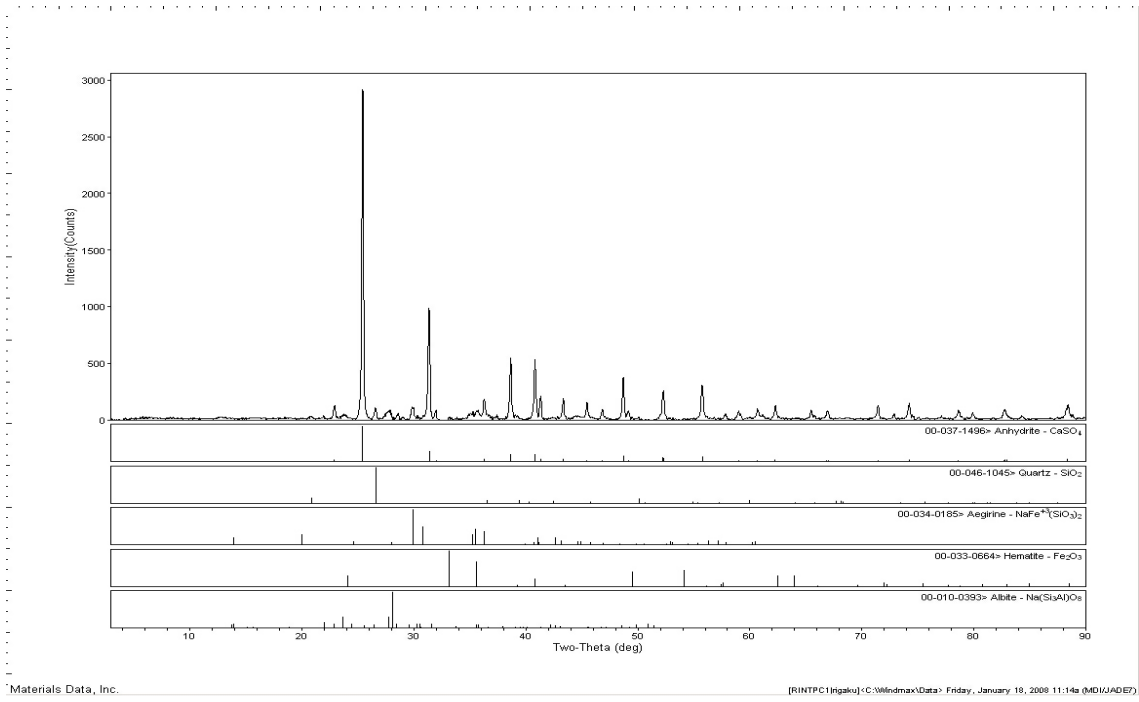
Yeniköy termik santral curufu 28. m dış



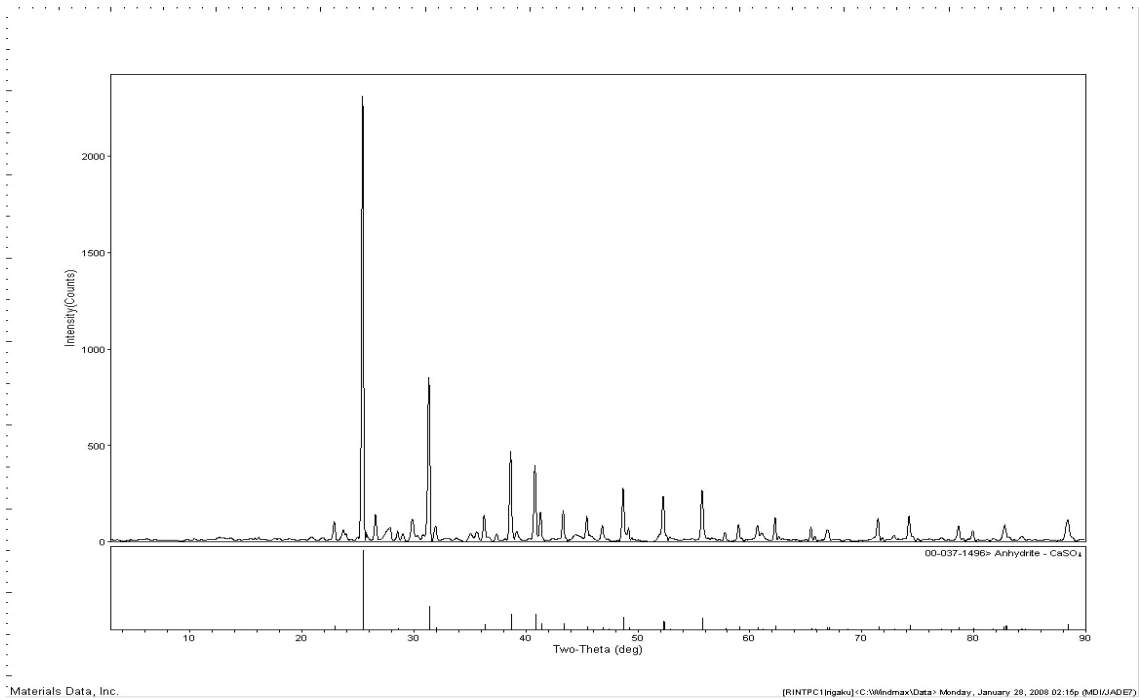
Yeniköy termik santral curufu 34. m iç



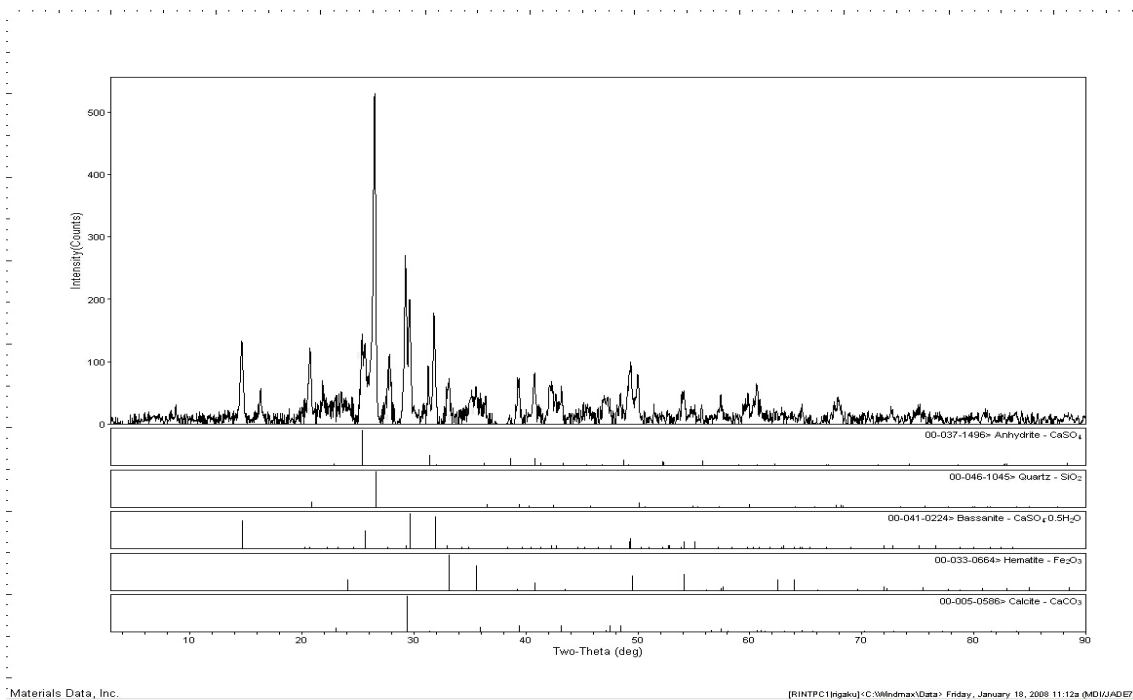
Yeniköy termik santral curufu 34. m dış



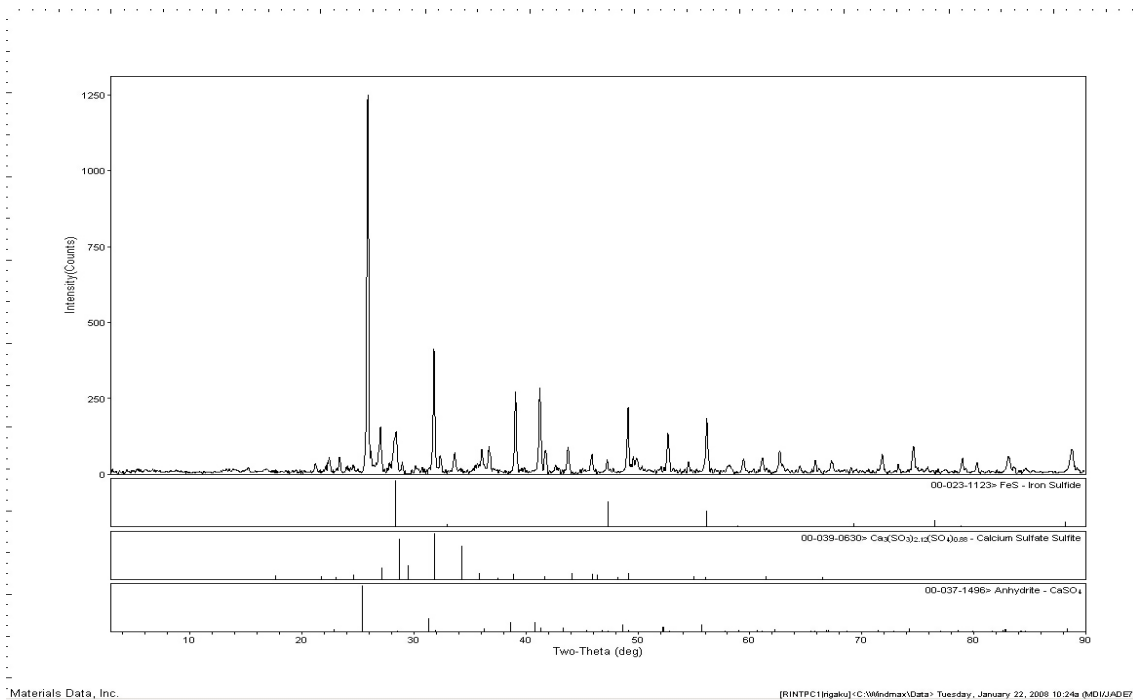
Yeniköy termik santral curufu 42. m iç



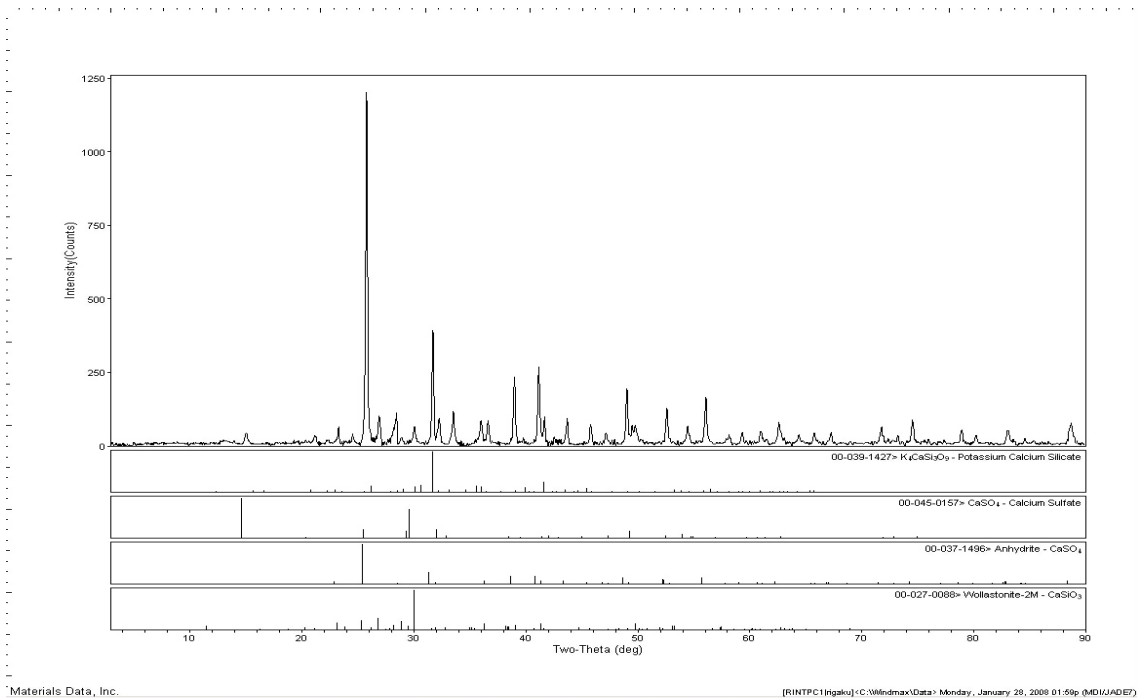
Yeniköy termik santral curufu 42. m dış



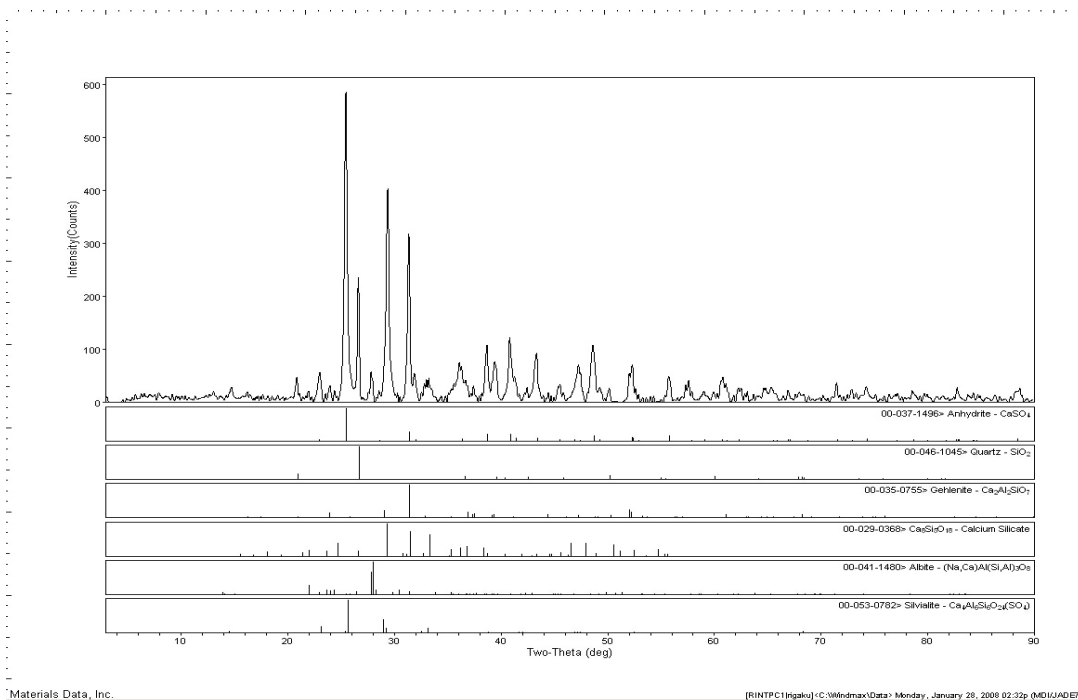
Soma termik santral curufu 0 m



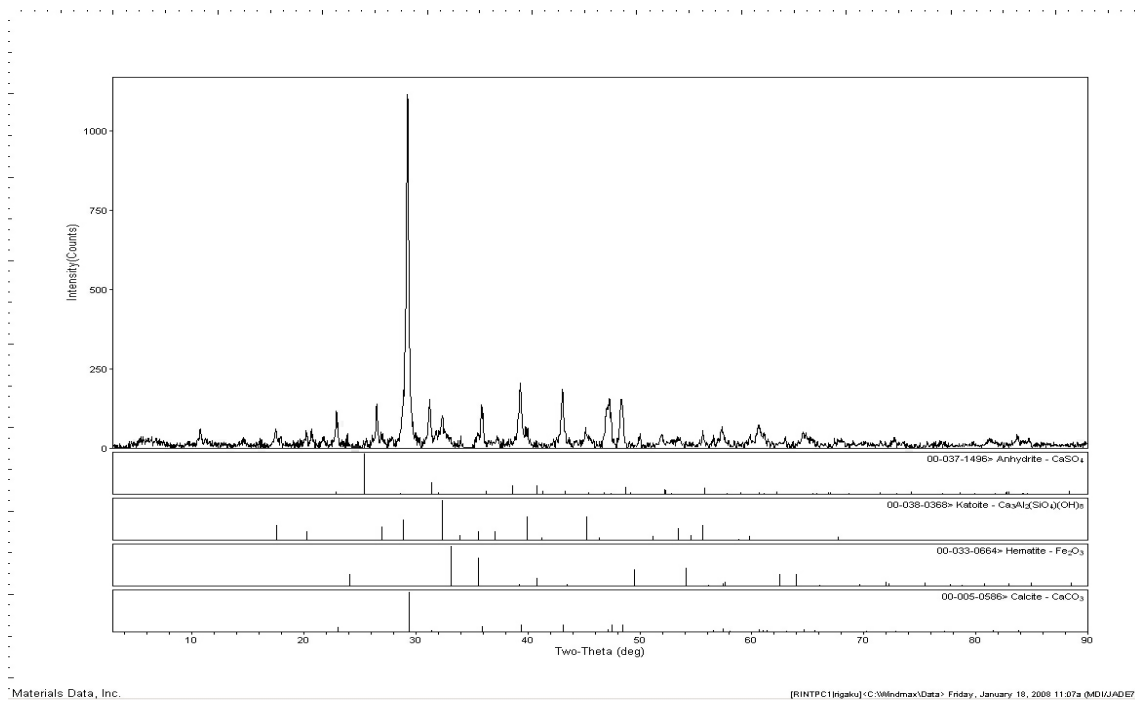
Soma termik santral curufu 38 m



Soma termik santral curufu 40 m



Soma termik santral curufu 60 m



Soma termik santral curufu 67 m