

# **KEAŞ VE YEAŞ TERMİK SANTRALLERİNDEKİ CURUF YAPILARININ İNCELENMESİ VE KÖMÜR ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİSİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Anabilim Dalı**

**Bengü KÖKNAL**

**Ekim, 2011**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

**BENGÜ KÖKNAL**, tarafından **PROF. DR. TURAN BATAR** yönetiminde hazırlanan “**KEAŞ ve YEAŞ TERMİK SANTRALLERİNDEKİ CURUF YAPILARININ İNCELENMESİ ve KÖMÜR ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİSİ**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Turan BATAR

Yönetici

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mustafa SABUNCU

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmamı yaptığım süre boyunca bana her zaman destek olan mesleki gelişimime katkı sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. Turan BATAR'a en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım. Konu ile ilgili bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve tüm çalışmam boyunca beni yönlendiren ve katkı sağlayan hocam Sayın Prof. Dr. Vedat ARSLAN'a en içten teşekkürlerimi ve şükranlarımı sunarım.

Yüksek lisans tezimin yazım aşamasında bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan manevi desteğiyle bana yardımcı olan hocam Sayın Araş. Gör. Dr. Özge GÖK'e teşekkür ederim. Konu ile ilgili bilgi ve tecrübesini benimle paylaşan hocam Sayın Araş. Gör. Dr. Gül AKAR'a teşekkür ederim.

Analizlerim sırasında bana her türlü yardım ve kolaylığı sağlayan değerlendirmem konusunda bana yol gösteren Sayın Uzman Hatice YILMAZ'a, Sayın Kim. Tek. Fatih TURAN'a ve Kimya Labratuvar çalışanlarına teşekkür ederim.

Çalışmalarımın başında itibaren; hazırlık, analizler, deneylerim ve tezimin yazım aşaması sırasında her türlü yardım ve manevi desteği sağlayan değerli hocalarım ve sevgili arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında her türlü bilgiye ulaşmama kolaylık sağlayan ve bana yardımcı olan KEAŞ Genel Müdürlüğü ve YEAS Genel Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışmam sırasında bana sabır gösteren, bana olan inaçları ile daima yanımda olan, maddi, manevi destekleri için Sevgili Annem Nurten KÖKNAL'a, Ağabeyim Ömer KÖKNAL'a ve tüm bu desteklerinin yanında Termik Santral bilgisini, tecrübesini ve birikimini sabırla aktaran Babam Ali Rıza KÖKNAL'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

**Bengü KÖKNAL**

# KEAŞ VE YEAŞ TERMİK SANTRALLERİNDEKİ CURUF YAPILARININ İNCELENMESİ VE KÖMÜR ÖZELLİKLERİ İLE İLİŞKİSİ

## ÖZ

İnsanların ihtiyaçlarının karşılanmasında ve gelişmenin sağlıklı olarak sürdürülmesinde gerekli olan enerji özellikle sanayi, konut ve ulaştırma gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür.

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 meydana gelmiştir.

Kömürün termik santrallerde kullanımında, kömür külünün elementer bileşimi, kazan içersindeki curuflaşma oranı ve curuf oluşum mekanizmasını etkileyen önemli bir etkidir. Termik santrallerde yakılacak olan kömürün özelliklerinin bilinmesi oluşacak problemlerin önlenmesi için çok önemlidir.

Ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş olan düşük kalorili linyit kömürü ile çalışan Yeniköy Termik Santrali ve Kemerköy Termik Santrallerinde curuflanma sorunu büyük bir problem yaratmaktadır. Bu tez kapsamında kullanılmak üzere bu Termik Santrallerden kül, kömür ve curuf örnekleri alınmıştır.

Termik santrallerden alınan kömür, kül ve curuf örneklerinde kimyasal ve minerolojik analiz çalışmaları yapılarak kullanılan kömür külü ile oluşan curuf arasındaki kimyasal ve minerolojik ilişki saptanmaya çalışılmış ve çözüm önerileri sunulmuştur. Bu çalışma ile Türkiye' nin iki büyük kapasiteli Termik Santralinde yaşanan sorunun çözümüne katkı sağlaması ve diğer Termik Santrallere de örnek teşkil etmesi beklenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** uçucu kül, ergime noktası, curuflanma, mineral madde

# **INVESTIGATION OF SLOG STRUCTURE OF KEAS AND YEAS POWER PLANT AND THE RELATION WITH COAL PROPERTIES**

## **ABSTRACT**

The required energy, which is essential in meeting the needs of mankind and in sustainable growth, is especially utilized in sectors such as industry, residence heating and transportation. Energy is the most important factor that increases the quality of life and the economic and social progress.

In the large-capacity coal burning thermic power plants which were set up to meet this energy demand, low-calori lignite coal with high ash content, which cannot be evaluated in other sectors of industry, is widely used. In the 70's, in order to increase the production of thermic power plants, the application of novel techniques increased the opportunity of assessment of low-quality coal. However, as a result of combustion, gas and dust emmissions due to low-quality lignite and large amounts of solid waste (fly ash, bottom ash, slag and flue gas) occurred.

In regards to the use of coal in thermic power plants, the elementary composition of the coal ash is the most crucial factor that affects the slag formation mechanism and the ratio of slagging within the furnace. The early detection of the properties of the coal that will be combusted at the thermic power plants is very important for the protection of problems.

The slagging problem encountered at Yeniköy Power Plant (2x210) and at Kemerköy Power Plant (3x210) operating with low-calori lignite coal causes a lot of problems. Coal, ash and slag samples were taken from these thermic power plants in order to be studied in this thesis.

The chemical and mineralogical analyses were conducted on the coal, ash and slag samples that were compiled from the mentioned power plants and the chemical and mineralogical relationship between the used coal and the formed slag was determined and several solutions were suggested. This thesis anticipates to contribute to the solution of the problems encountered at the two biggest coal-based thermic

power plants of Turkey and also to form a reference for the other similar thermic power plants.

**Keywords:** fly ash, melting point, slagging, mineral matter

## İÇİNDEKİLER

sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZ.....	iv
ABSTRACT.....	v
<b>BÖLÜM BİR – DÜNYADA VE TÜRKİYE’ DE ENERJİ ALANINDA EĞİLİMLER VE KÖMÜR.....</b>	<b>1</b>
1.1 Dünya Enerji Yapısına Genel Bakış.....	1
1.2 Dünya’ da ve Türkiye’ de Enerji Politikaları.....	2
1.2.1 Dünya Enerji Politikası.....	2
1.2.2 Türkiye Enerji Politikası.....	3
1.3 Kömür.....	5
1.3.1 Kömürleşme.....	6
1.3.2 Kömür Türleri.....	7
1.3.2.1 Turba.....	7
1.3.2.2 Taşkömürü.....	7
1.3.2.3 Linyit.....	8
1.4 Türkiye Enerji Sektöründe Kömür.....	9
1.5 Türkiye’ de Linyit Üretimi.....	9
<b>BÖLÜM İKİ – TÜRKİYE’ DE KÖMÜR YAKAN TERMİK SANTRALLERİN ÖZELLİKLERİ, KÖMÜRÜN YANMASI SONUCU AÇIĞA ÇIKAN ÜRÜNLER VE DAVRANIŞLARI.....</b>	<b>13</b>
2.1 Buhar Santralleri.....	13
2.2 Termik Santrallerin Yakma Sistemleri.....	14
2.2.1 Izgaralı Yakma Sistemleri.....	14
2.2.2 Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri.....	14
2.2.3 Pulvarize Yakma Sistemleri.....	15
2.3 Türkiye’ de Kömürle Çalışan Termik Santralleri.....	17
2.3.1 Yeniköy Termik Santrali.....	18
2.3.1.1 Tarihçesi, Kuruluş Amacı, Konum ve Yer Seçimi.....	18

2.3.1.2	Kömür ve Su Temini.....	19
2.3.1.3	Kül ve Curuf Atma Sistemi.....	19
2.3.2	Kemerköy Termik Santrali.....	20
2.3.2.1	Tarihçesi, Kuruluş Amacı, Konum ve Yer Seçimi.....	20
2.3.2.2	Kömür ve Su Temini.....	20
2.3.2.3	Kül ve Curuf Atma Sistemi.....	21
2.4	Yanma Sonucu Oluşan Ürünler ve Davranışları.....	22
2.4.1	Kömürün Özellikleri.....	25
2.4.1.1	Kömürün Nemi.....	26
2.4.1.2	Kömürün Kükürt İçeriği.....	26
2.4.1.3	Kömürün İçerdiği Mineral Madde.....	26
2.4.1.4	Kömür Mineral Maddesinin Sınıflandırılması.....	28
2.4.1.5	Yanma Esnasında Mineral Madde Dönüşüm Kinetiği ve Mineral Maddeden Kaynaklanan Birikimler.....	30
2.4.1.5.1	Curuf Oluşumu.....	34
2.4.1.5.2	Kurum Oluşumu.....	35
2.4.1.5.3	Kömür Külü (Uçucu Kül) Oluşumu ve Ergime Özellikleri....	36
2.4.2	Kömür Külünün Yakma Sistemlerinde Yarattığı Sorunlar.....	40
<b>BÖLÜM ÜÇ – DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR.....</b>		<b>48</b>
3.1	Malzeme.....	48
3.1.1	Numune Alma.....	48
3.1.2	Numune Hazırlama.....	48
3.2	Metod ve Analiz Yöntemleri.....	49
3.2.1	Kimyasal Analiz Yöntemi.....	49
3.2.2	Minerolojik Analiz Yöntemi.....	50
3.3	DeneySEL Bulgular ve Değerlendirilmesi.....	50
3.3.1	Kömür Karakteristik Özellikleri.....	50
3.3.2	Kömür Külü Kimyasal Bileşimi.....	51
3.3.3	Termik Santral Kazan İçi Profilleri.....	59
3.3.3.1	Kimyasal Analiz Sonuçları.....	61
3.3.3.2	XRD Analiz Sonuçları.....	70



<b>BÖLÜM DÖRT – SONUÇLAR.....</b>	<b>72</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>74</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>79</b>

## **BÖLÜM BİR**

### **DÜNYADA VE TÜRKİYE’ DE ENERJİ ALANINDA EĞİLİMLER VE KÖMÜR**

#### **1.1 Dünya Enerji Yapısına Genel Bakış**

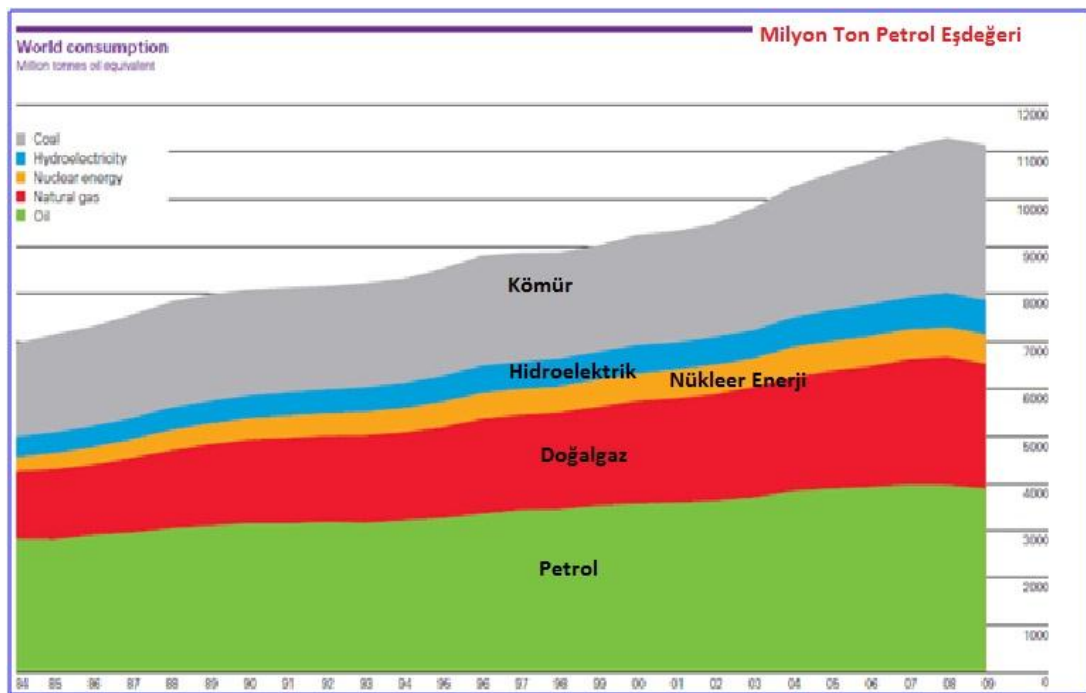
Dünya enerji sistemi, oldukça karmaşıklaşan ve öngörülerin sürekli alt üst olduğu bir dönemi yaşamaktadır. Uzun süre; arama ve rafinaj yatırımlarındaki gecikmeler, başta Irak’ın işgali olmak üzere jeopolitik gelişmeler, finans piyasalarında özellikle bir süre “hedge fonlarının” petrol üzerinde odaklanan spekülasyon amaçlı faaliyetleri ve doların diğer para birimleri karşısındaki düşük seyri gibi nedenlerle, maliyetin çok üzerinde seyreden petrol ve (ona bağlı yükselen) gaz fiyatları, enerji piyasalarını, olağandışı bir sürece süreklemiş durumdadır. Bu nedenle de, özellikle kömür ve nükleere dönük beklentiler, önceki yıllara kıyasla önemli artış göstermiştir. Gene bu süreçte, konvansiyonel olmayan petrol rezervleri, yüksek petrol fiyatlarına bağlı olarak, konvansiyonel kategoride görülmeye başlanmış ve geliştirilmeleri yönündeki projeler hız kazanmıştır. Buna karşın; petrol fiyatları Temmuz 2008’de varili 147 dolardan işlem görerek tavan yaparken, Aralık 2008’de 50 doların altına düşerek, önceki tahminleri alt üst etmiştir. ABD’den başlayarak, küresel ölçekte yaşanan ve etkisinin daha da artması beklenen ekonomik durgunluk/kriz ortamında, enerji talebinde de önemli daralma beklentisi artmaktadır. Enerji piyasalarını temelden etkileyen bir diğer önemli parametre, küresel ısınma olgusudur. Bu alanda farklı görüşler olmakla birlikte, özellikle fosil yakıtların üretimi ve tüketimleri sürecinde atmosfere yayılan karbon emisyonlarının yol açtığı öne sürülen küresel ısınma ve iklim değişikliğine karşı, geniş bir küresel tepkinin oluştuğu söylenebilir. Bu tepkiler, Kyoto Protokolü’nü imzalamamakta direnen ülkelerin yönetimleri üzerinde artan bir baskı oluştururken, bir yandan da fosil yakıtlar dışındaki kaynaklara yönelik arayışların bir diğer nedenini oluşturmaktadır. Bu nedenle karbon ticareti, enerji piyasalarının yeni ve önemli bir unsuru olarak öne çıkarken, temiz kömür yakma teknolojileri, kömürden sıvı yakıt eldesi gibi teknolojilere yatırımda önemli hareketlenmeler gözlemlenmiştir (Türkiye Enerji Raporu, 2007 – 2008).

## 1.2 Dünya' da ve Türkiye' de Enerji Politikaları

### 1.2.1 Dünya Enerji Politikası

Uluslararası Enerji Ajansının (UEA/IEA) tahminlerine göre, Dünyada enerji sektöründe hakim olan eğilimlerin devam etmesi halinde, geleceğe ilişkin olarak aşağıdaki öngörüler yapılmaktadır:

Dünyada 2030 yılına yönelik tahminlerde, enerji ihtiyacının önemli ölçüde fosil yakıtlarla karşılanmaya devam etmesi beklenmektedir.



Şekil 1.1 Dünya birincil enerji tüketimi (1984-2009) (World Energy, 2010).

Varolan politikaların devamı halinde, 2030 yılındaki enerji ihtiyacının bugünkünün %50'sinden daha fazla artış göstermesi, fosil yakıtların enerji ihtiyacının karşılanmasında hakim durumunu sürdürmesi, buna karşılık yenilenebilir enerji kaynaklarıyla nükleer enerjinin payının sınırlı kalması beklenmektedir. İleriye yönelik yapılan tahminlerde dünya birincil enerji arzının 2030 yılında 16500 milyon ton petrol eşdeğeri olacağı ve bu miktarın kaynaklara dağılımında önemli farklılıkların olmayacağı öngörülmektedir. Buna göre; 2030 yılında en büyük pay %35 ile yine petrolün olacaktır. Petrolü %25 ile doğal gaz, %21,8 ile kömür, %11,3 ile odun, çöp, jeotermal, güneş, rüzgar v.b. kaynakların, %4,6 ile nükleer ve %2,2

ile hidrolik kaynakların izleyeceği tahmin edilmektedir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

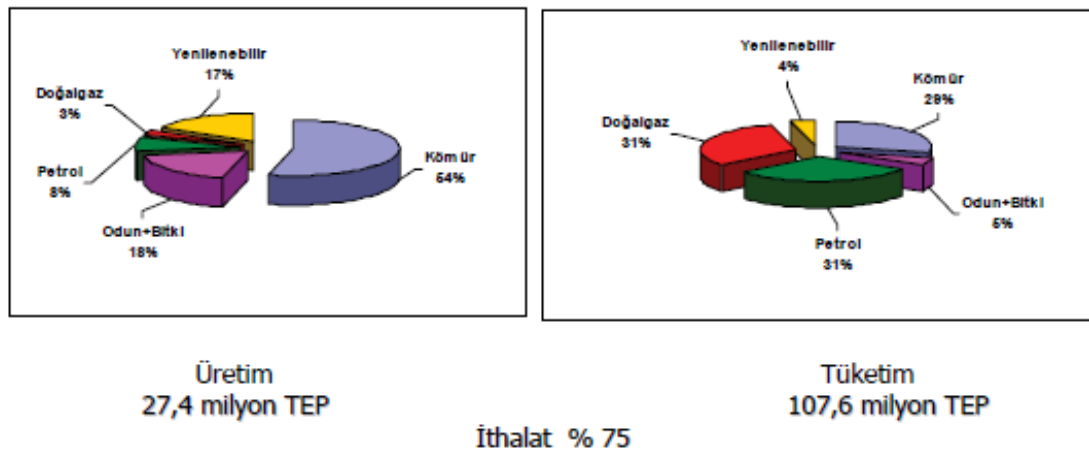
### **1.2.2 Türkiye Enerji Politikası**

Türkiye' nin Enerji Politikası, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca (ETKB); enerjinin, ekonomik, ve sosyal gelişmeyi destekleyecek büyümeyi gerçekleştirecek şekilde; zamanında, yeterli, güvenilir, rekabet edilebilir fiyatlardan, çevresel etkileri de göz önünde tutularak tüketiciye sağlanması şeklinde tanımlanmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının ana enerji politikaları ve stratejileri şu şekilde sıralanmaktadır;

- Stratejik petrol ve doğal gaz depolama kapasitesinin artırılması,
- Kaynak ve ülke çeşitlendirilmesi
- Yerli kaynakların kullanımı ve geliştirilmesine öncelik verilmesi,
- Farklı teknolojilerin kullanımı ve geliştirilmesi ve yerli üretimin artırılması,
- Ülkemizin enerji ticaret merkezi olma potansiyelinden en iyi şekilde yararlandırılması,
- Talep yönetiminin etkinleştirilmesi ve verimliliğin artırılması,
- Yakıt esnekliğinin artırılması (üretimde alternatif enerji kaynağı kullanımına olanak sağlaması),
- Bölgesel işbirliği projelerine katılım ve entegrasyon,
- Her aşamada çevresel etkileri göz önünde bulundurmak şeklinde özetlenebilmektedir (Türkiye Enerji Raporu, 2007 – 2008).

Son yıllarda gerçekleşen tüketim değerlerine bakıldığında iki ekonomik kriz ve depremin olduğu yıllarda tüketim artış hızı yavaşlamış olmakla birlikte genellikle büyük oranda bir artış gerçekleşmiştir. Temel parametreler olarak nüfus, sanayi ve ekonomik gelişmeler dikkate alınarak yapılan talep tahmin çalışmaları sonucuna göre önümüzdeki on yıllık dönemde talebin ortalama %7,5 oranında artması beklenmektedir. Böylece 2011 yılında 219,5 Milyar kWh olması beklenen enerji talebinin 2015 yılında 293,1 Milyar kWh'e ulaşacağı tahmin edilmektedir. Buna karşılık 2011 yılında 33780 MW olması beklenen puant güç talebinin 2015 yılında 45112 MW'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (TEİAŞ Sektör Raporu, 2010).

Türkiye hemen hemen her çeşit enerji kaynağına sahiptir. Ancak hidrolik ve kömür dışındaki bu kaynaklar ülkenin ihtiyacını karşılayacak seviyede değildir. Kömür ve hidrolik enerji yerli üretimde önemli pay teşkil etmektedir. Kömür, doğal gaz ve petrol ise enerji tüketiminin önemli bileşenidir. Özellikle doğal gaz son yılların hızla büyüyen enerji kaynağı olarak tüketimde vazgeçilmez bir yere oturmuştur. 2007 yılında doğalgaz enerji kaynağı olarak tüketiminde %31,5 ile en büyük payı alan enerji kaynağı haline gelmiştir. Buna karşılık doğal gaz tüketimimizin sadece %2,4'ü kendi üretimimiz ile karşılanabilmiştir. Birincil enerji tüketimi yıllık ortalama %2,8 oranında artışla 2007 yılı sonu itibariyle 107625 milyon ton petrol eşdeğerine, elektrik enerjisi tüketimi ise yıllık %4,6 oranında bir artışla 191,6 milyar kWh'e ulaşmıştır. 2001 krizinin etkilerinin hafifliği 2003 sonrası dönemde ise birincil enerji tüketimi yıllık ortalama % 5,7, elektrik enerjisi tüketimi ise %6,7 oranında büyümüştür. 2007 yılında, birincil enerji kaynakları üretiminin kömür %54'ünü, petrol %8'ini, doğal gaz %3'ünü, yenilenebilir kaynaklar %17'sini, ticari olmayan yakıtlar (odun, hayvan ve bitki atıkları) ise %18'ini oluşturmaktadır (Türkiye Enerji Raporu, 2009).



Şekil 1.2 Birincil enerji üretimi ve tüketiminin yapısı, 2007 (Türkiye Enerji Raporu, 2009).

2010 yılı sonu itibariyle, 32278,5 MW'ı termik, 94,2 MW'ı jeotermal, 15831,2 MW'ı hidrolik ve 1320,2 MW'ı rüzgar olmak üzere Türkiye toplam kurulu gücü 49524,1 MW'a ulaşmıştır. 2010 yılı sonu itibariyle brüt elektrik enerjisi talebi 210,4 milyar kWh, puant güç talebi ise 33392 MW olarak gerçekleşmiştir. Toplam 211,2 Milyar kWh üretim gerçekleştirilirken 1,1 Milyar kWh ithalat yapılmış, arz edilen

toplam elektrik enerjisinden 1,9 Milyar kWh ihracat gerçekleştirilmiştir (TEİAŞ Sektör Raporu, 2010).

10 yıllık üretim kapasite projeksiyonuna bakıldığında, 2015 yılında 293,1 Milyar kWh olarak gelişeceği tahmin edilen enerji talebinin; halen işletmede, inşaatı devam eden ve lisans alarak 2015 yılına kadar işletmeye girmesi planlanan yeni üretim tesisleri ile ortalama yağış koşullarının dikkate alındığı proje üretim kapasitesine göre %15,8 yedekle, kurak yağış koşullarının dikkate alındığı güvenilir üretim kapasitesine göre ise %2,1 yedekle karşılanabileceği beklenmektedir (TEİAŞ Sektör Raporu, 2010).

### **1.3 Kömür**

Kömürler bitki ve bitki artıklarının belirli şartlar altında kömürleşmesi ile oluşan katı yakıtlardır. Bitki üremesine elverişli yağmurlu bir iklim ve buna paralel olarak çevrede yavaş yavaş çöken bir bataklık bulunması gerekmektedir. Bu iki koşulun bulunduğu ve hüküm sürdüğü jeolojik devirlerde kömür oluşmuştur. Bitkisel selüloz, linyin, yumurta akı maddesi, vakslar ve reçineler gibi ana maddelerden oluşmaktadır ki bunlardan selülozlar ve linyinler kömür oluşumunda ana rolü oynamaktadır. Kömür oluşumu incelendiğinde bitki ve bitki artıklarının biokimyasal ve jeokimyasal kömürleşme süreçlerinden geçtikleri görülmektedir. Aksi takdirde fazla oksijen bulunan ortamda bitki tamamıyla parçalanmakta ve CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>O ya ayrılmaktadır. Ancak bu şartla, bitki belirli bir ayrışmaya uğrasa bile geride karbonca zengin turba denilen katı bir artık kalmaktadır. linyit ve taşkömürleri, biokimyasal kömürleşme sürecinde kömür basınç ve ısı altında kalmaktadır. Jeokimyasal kömürleşme sürecinde kömür basınç ve ısı altında kalmaktadır. Koklaştırma esnasında olduğu gibi, kömür destilasyon ve redüksiyon olaylarına uğramaktadır. Basınç ve ısının derecesine göre linyit kömüründen antrasitlere kadar çeşitli özellikte kömürler, bu kömürleşme sürecinde oluşmaktadır. Düşük ısı ve düşük basınçta linyit yüksek ısı ve yüksek basınçta antrasitlerin oluştuğu diğer kömür cinslerinin de bu aralıkta yer aldığı kabul edilmektedir. Jeokimyasal kömürleşmede etkili olan ısı ve basınç genel olarak kömür üzerinde bulunan tabakalar tarafından oluşturulmaktadır. Bu bakımdan, derinlere indikçe kömürleşmenin daha ileri seviyelere gittiğini görmek mümkündür (Leonard, 1991).

Kömür, petrol, bitümlü şışt ve doğal gaz, fosil enerji hammaddeleridir. Belirli jeolojik devirlerde oluşan bu fosil enerji maddeleri, o devirlerdeki dünya jeolojik yapısına bağılı olarak yeryüzüne yayılmış durumdadır. Günümüzde, dünya enerji gereksiniminin %75'inden fazlası da, bu enerji hammaddeleriyle karşılanmaktadır. Kömürler, bitki ve bitki artıklarının belirli şartlar altında kömürleşmesiyle oluşan katı yakıtlardır (Kemal ve Arslan, 2005).

Kömürler yakıt hammadresi oldukları gibi, kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi değışik alanlarda da kullanılırlar. Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun (nemli ve sıcak iklimin bulunması, yeterli organik maddenin ortama gelmesi, bataklık suyunun pH şartlarının 4 – 5 civarında bulunması, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşıağı doğru çökmesi, bataklığın zamana bağılı olarak örtülmesi gibi) şartların sağlanması durumunda, bitki parçalarının bozuşması, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değışikliklere uğraması sonucu meydana gelirler (TKİ Linyit Sektör Raporu, 2010).

### **1.3.1 Kömürleşme**

Bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökeler ve jeolojik işlevlerle birlikte yer altına gömülürler. Bu organik kütleler, yerin altında, önce gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonra ise ortamın ısı şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değışimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan bu organik maddeler zamanla daha koyu bir renge ve daha sert bir yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önce (turbadan – taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbondioksit (CO<sub>2</sub>), oksijen (O<sub>2</sub>) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H<sub>2</sub>) (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine “kömürleşme” denilmektedir, herbir seviye ise “kömürleşme derecesi” (rank) olarak adlandırılmaktadır (TKİ Linyit Sektör Raporu, 2010).

Kömürler; kil, kum ve değışik oranlarda inorganik madde içermektedirler. Kömürün içersinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini negatif yönde etkiler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar taşıyabilir.

Örneğin; kok imalinde, şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürler kullanılır. Yakıt hammaddesi olarak kullanılacak olan kömürde en fazla aranan özellik ise yüksek ısı değere sahip olmasıdır (TKİ Linyit Sektör Raporu, 2010).

Kömürleşme süreci ve yataklanma, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çeşitlilik gösterirler. Bu durum, birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellik ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır (TKİ Linyit Sektör Raporu, 2010).

Kömür üretimi, kullanımı ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir. Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslar arası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulu'na birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada; kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikler temel alınarak yapılmıştır (TKİ Linyit Sektör Raporu, 2010).

### **1.3.2 Kömür türleri**

Kömürleşme sürecinde genel olarak C, H, O ve belirli oranda da S ve N içeren bitki yapısından, çeşitli bileşiklerin ayrılması sonucu, değişik türde kömürler oluşmaktadır (Kemal ve Arslan, 2005).

#### **1.3.2.1 Turba**

Biyokimyasal kömürleşmeye uğramış en genç kömür türüdür. Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği azdır (Kemal ve Arslan, 2005).

#### **1.3.2.2 Taş kömürü**

Sert linyit sınırından başlayarak antrasitleride içine alan kömür türüdür. Orijinal nem oranları oldukça azdır (%1 – 2) ve karbon oranları yüksektir. Az kömürleşmeye



uğramış, genç taşkömürüyle (uçucu madde oranı %36nın üzerinde), ileri kömürleşmeye uğramış taşkömürleri (uçucu madde oranı %18in altında) koklaşma özelliğine sahip değildir. Genel olarak uçucu madde oranı %18 – 36 (saf kömürde) arasında olan taş kömürleri belirli oranda koklaşma özelliğine sahiptir (Kemal ve Arslan, 2005).

### *1.3.2.3 Linyit*

Kömürleşme derecesine göre, değişik oranda orijinal nem içerirler. Az nem içeren linyit türleri biokimyasal kömürleşme yanında, etkin bir jeokimyasal kömürleşmeye uğramışlardır. Orijinal nem oranı yükseldikçe, jeokimyasal kömürleşmenin etkisi azalmakta ve yumuşak linyitlerde minimum seviyeye inmektedir (Kemal ve Arslan, 2005).

Dış görünüşlerine göre, yumuşak ve sert diye iki gruba ayrılır. Yumuşak linyitler, %35 – 75 arasında orijinal neme sahip linyitlerdir. Yumuşak linyitler de kendi aralarında tabakalaşmış ve tabakalaşmamış (toprağımsı) olmak üzere ikiye ayrılır (Kemal ve Arslan, 2005).

Yumuşak linyitler çok az parça sağlamlığına sahiptir. Değişik türlerinin parça sağlamlığı 2,4 ile 9,4 kg/cm<sup>2</sup> arasında ölçülmüştür. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar (Kemal ve Arslan, 2005).

Sert linyitler, yumuşak linyitlerden başlayarak taşkömürü sınırına kadar geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Kendi içlerinde mat ve parlak sert linyitler olmak üzere ikiye ayrılır (Kemal ve Arslan, 2005).

Sert linyitlerin kullanım alanı, yumuşak linyitlere göre daha fazladır. Bu linyitlerin karbon oranları ve ısı değerleri yumuşak linyitlere göre daha fazladır. Parça sağlamlığının (75 kg/cm<sup>2</sup> ye kadar) yeterli ve tozlanmanında az olması, sert linyitlerin kullanım alanını arttıran önemli bir faktördür (Kemal ve Arslan, 2005).

Türkiye’de taşkömürü, linyit ve asfaltit üretilerek tüketilmekte olup, bu kaynaklardan taşkömürü üretimi bir kamu iktisadi devlet teşekkülü olan Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü (TTK), linyitin önemli bir bölümü yine KİT kuruluşu olana Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) tarafından gerçekleştirilmektedir.

asfaltit üretimi ise ruhsatları TKİ'ye ait olan sahalarda özel sektör tarafından gerçekleştirilmiştir. Özel sektör 2007 yılı üretiminin %11'ini gerçekleştirmiş olup, geri kalan %48'lik üretimi EÜAŞ'a devredilen iki adet açık işletme (Sivas-Kangal ve Afşin-Elbistan) ile işletme hakkı devri modeli çerçevesinde bir adet kapalı işletme (Çayırhan) üretimi yapılan sahalarda yapılmıştır (Türkiye Enerji Raporu, 2007 – 2008).

#### **1.4 Türkiye Enerji Sektöründe Kömür**

Ülkemizde, çok sınırlı doğal gaz ve petrol rezervlerine karşın, 535 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyon ton taşkömürü ve 9,8 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde toplam 11,5 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Bu miktar Dünya linyit rezervlerinin %5,9'unu oluşturmaktadır. Türkiye'de kömür genel olarak linyit ve taşkömürü başlıkları altında değerlendirilmekte olup taşkömürü rezervleri TTK tarafından, linyit rezervlerimiz ise Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve özel sektör tarafından işletilmektedir. Taşkömürlerinin tamamı linyitlerin ise %86'sı kamuya ait ruhsat sınırları içinde bulunmaktadır (TKİ Linyit Sektör Raporu,2010).

#### **1.5 Türkiye' de Linyit Üretimi**

Yerli kaynaklarımız içerisinde önemli bir yere sahip olan linyit yataklarına ülkemizin hemen hemen bütün bölgelerinde rastlanmaktadır. Bilinen linyit varlığının en önemlilerini Afşin-Elbistan, Muğla, Soma, Tunçbilek, Seyitömer, Konya, Beypazarı ve Sivas havzaları oluşturmaktadır (Türkiye Enerji Raporu, 2007 – 2008).

Linyit rezervlerimizin çoğu 1976 – 1990 yılları arasında bulunmuştur. Bu dönemden sonra kapsamlı rezerv geliştirme etüt ve sondajları 2005 – 2008 yılları arasındaki linyit arama çalışmalarındır (Türkiye Enerji Raporu, 2010).

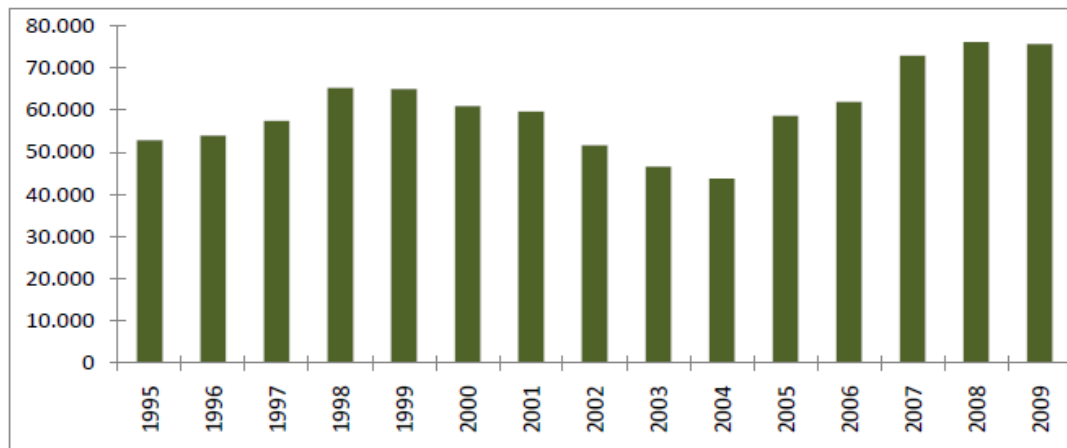
2005 – 2008 yılları arasında EÜAŞ tarafından finanse edilen ve Maden Tetkik Arama (MTA) tarafından uygulanan Afşin – Elbistan Linyit Havzası detaylı linyit aramaları ve diğer havzalarda TKİ tarafından desteklenen ve MTA tarafından yapılan arama çalışmaları ile Türkiye linyit rezervi önemli ölçüde artırılmıştır. Linyit rezervleri ülke geneline yayılmıştır. Hemen hemen bütün coğrafi bölgelerde ve

kırtan fazla ilde linyit rezervlerine rastlanmaktadır. Tablo 1.1’de görüldüğü gibi; linyit rezervlerinin %42’si EÜAŞ, %23’ü MTA, %21,5’i TKİ ve geri kalan %13,5’i ise özel sektörün elindedir (TKİ Linyit Sektör Raporu,2010).

Tablo 1.1 2009 yılı sonu itibariyle linyit rezervleri (TKİ Linyit Sektör Raporu,2010).

Rezervler (milyon ton)				
Kurumlar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
EÜAŞ	4718	104	-	4822
TKİ	2239	218	1	2458
MTA	1803	685	123	2611
Özel Sektör	1077	337	138	1554
Toplam	9839	1344	262	11445

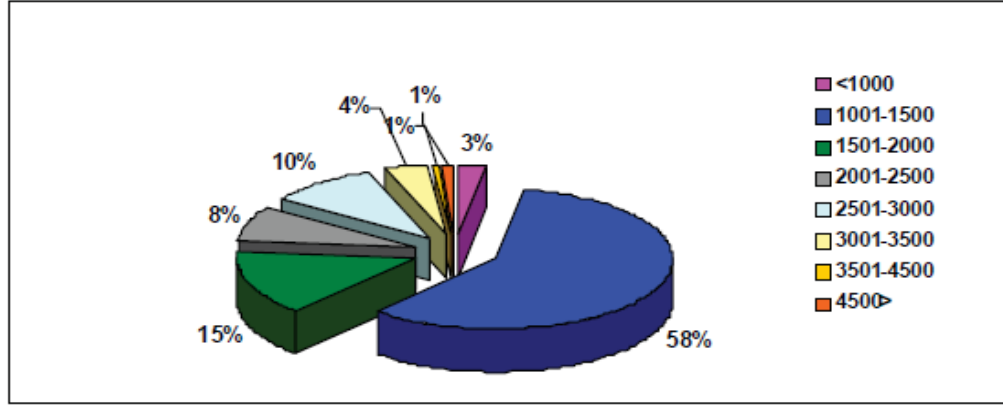
Linyit üretimi, özellikle 1970’li yılların başından itibaren, petrol krizine bağlı olarak elektrik üretimine yönelik linyit işletmeleri yatırımlarının başlaması ile hızlanmıştır. 1970 yılında yaklaşık 5,8 milyar ton olan linyit üretimi, 1998 yılında yaklaşık 65 milyar ton olarak gerçekleşmiştir. Ancak, bu tarihten itibaren, özellikle enerji yönetimleri tarafından yapılan doğalgaz alım anlaşmaları nedeniyle, sürekli bir iniş yaşayan linyit üretimi 2004 yılında 43,7 milyon ton ile en düşük seviyesini görmüş, ancak bu tarihten sonra tekrar yükselmeye başlamış, 2009 yılı üretimi 75,6 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (TKİ Linyit Sektör Raporu, 2010).



Şekil 1.3 Yıllara göre Türkiye linyit üretim miktarı (bin ton) (TKİ Linyit Sektör Raporu, 2010)

Linyit rezervlerimiz alt ısıl değerine göre kategoriler altında toplandığında; 1000-1500 kcal/kg %55, 1500-2000 kcal/kg alt ısıl değere sahip linyitlerimizin %16’lık

pay aldığı görülmektedir. Buna göre linyit rezervlerimizin 574'ü düşük alt ısıl değere sahip olup, bunun en büyük bölümünü 5 milyar ton civarındaki Elbistan linyitleri (ortalama alt ısıl değeri 1100kcal/kg) teşkil etmektedir. Kalan %20;2000 - 3000, %4;3000 - 3500, %2;3500'in üst kcal/kg alt ısıl değerli rezervler olarak dağılmıştır. Şekil 1.4'de verilmiştir (Türkiye Enerji Raporu, 2007 – 2008).



Şekil 1.4 Linyit rezervinin kalori gruplarına göre dağılımı

Ülkemizdeki linyitlerin %90'ı açık, kalanı yer altı üretim metoduyla üretilmektedir. Gerek yer altı ve gerekse yerüstü işletmelerde modern üretim teknolojilerinin uygulanması için çalışmalar sürdürülerek üretim verimlerinin yükseltilmesine gayret edilmektedir (Türkiye Enerji Raporu, 2007 – 2008).

1970'li yıllardan itibaren başlayan elektrik enerjisi üretimi amaçlı termik santral ve linyit üretim yatırımları büyük oranda kamu sektörü tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yatırımlar tabloda özetlenmektedir. Türkiye linyit rezervlerinin %94'ü termik santrallarda değerlendirilebilecek özelliktedir. Tablo 1.2'de Türkiye'de bulunan termik santralların kurulu güçleri ve kömür tüketim kapasiteleri verilmiştir (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

MTA'nın son çalışmaları sonucu linyit rezervimiz 12,3 milyar ton olarak tespit edilmiştir. Ülkenin çeşitli yörlerine dağılmış olan bu rezervin en büyük bölümü 4,3 milyar ton ile Elbistan Havzasında bulunmaktadır. Afşin – Elbistan A ve B santrallerinin kullandığı kömür dışında bölgede kalan rezerv 3,3 milyar tondur. Mevcut A ve B santrallerine ek olarak yapılacak C, D, E, F santralleri ile toplam

kapasite 8200 MW'a yükselecek, elektrik üretimi 55 milyar kWh olacaktır ( Türkiye Enerji Raporu, 2009).

Tablo 1.2 Linyite dayalı santrallerin kurulu güçleri ve kömür tüketim kapasiteleri (TMMOB Enerji Raporu, 2006).

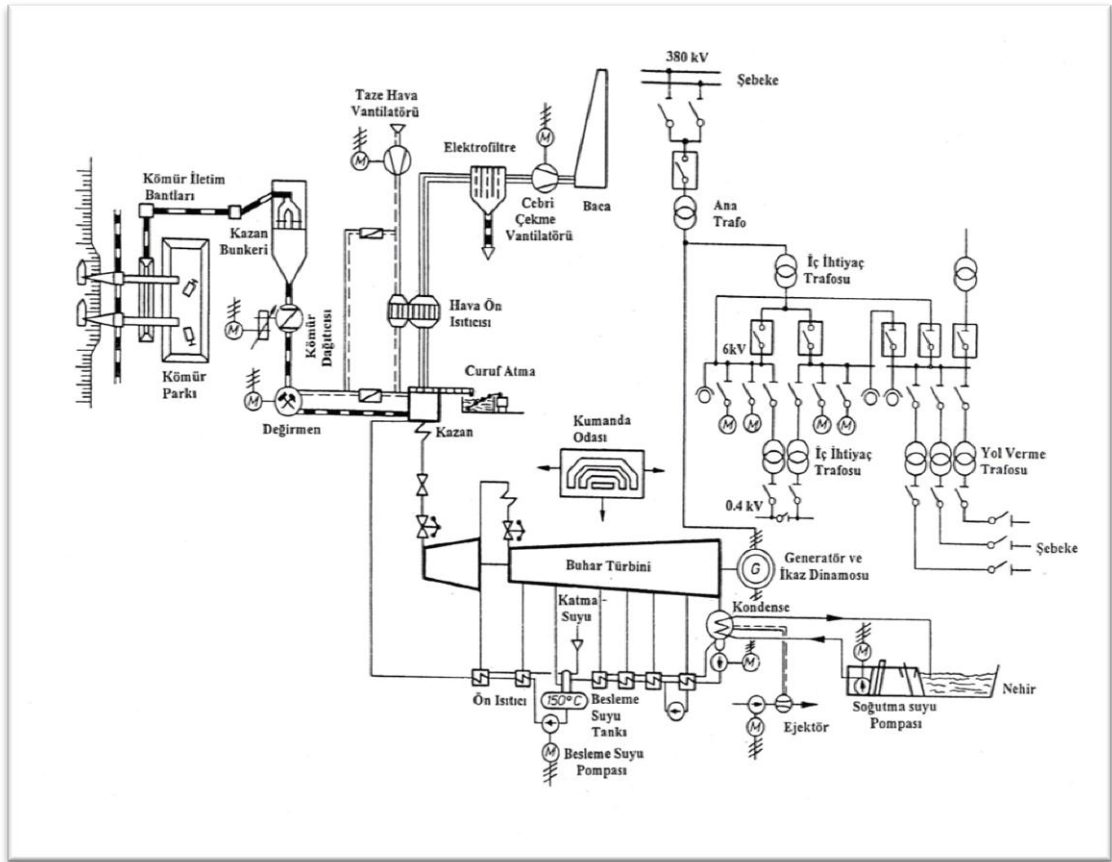
Santral Adı	Kömür Tüketim Kapasitesi (bin ton/yıl)	Kurulu Güç (MW)
Muğla-Yatağan	5350	630
Muğla-Milas-Yeniköy	3750	420
Muğla-Hüsamlar-Kemerköy	5000	630
Çanakkale Çan	1800	320
Kütahya Seyitömer	7100	600
Kütahya Tunçbilek	2450	429
Manisa Soma	8000	1034
Bursa Orhaneli	1500	210
Afşin Elbistan	18000	1360
Sivas Kangal	5400	450
Ankara Çayırhan	4300	620
Toplam	62650	6703

## BÖLÜM İKİ

### TÜRKİYE' DE KÖMÜR YAKAN TERMİK SANTRALLERİN ÖZELLİKLERİ, KÖMÜRÜN YANMASI SONUCU AÇIĞA ÇIKAN ÜRÜNLER VE DAVRANIŞLARI

#### 2.1 Buhar Santralleri

Bu tür santraller sadece elektrik enerjisi üretimi amacıyla kurulurlar. Şekil 3.1'de böyle bir santralin akış diagramı verilmiştir. Bu diagramda, yakıt bünyesindeki kimyasal enerjinin, hangi değişikliklerden sonra elektrik enerjisine dönüştüğü açıkça görülmektedir.



Şekil 2.1 Buhar santralleri akış diagramı (Heper, 2001).

Yakıtın kimyasal enerjisi, primer enerji (birincil enerji) olarak kullanılmaktadır. Yakıtın kazanlarda yakılması ile açığa çıkan bu enerji suya geçmekte ve onu buharlaştırmaktadır. Kayıpların bulunmadığı ideal bir çevrimde suya geçen ısı, yakıtın yakılması ile açığa çıkan ısının tamamına eşittir. Suyun enerjisi daha sonra türbinde mekanik enerjiye dönüşür ve bu mekanik enerji generatörde elektrik enerjisi halini alır (Heper, 2001).

## 2.2 Termik Santrallerin Yakma Sistemleri

Kömür katı bir yakıt olduğundan, kömürle hava temasını çeşitli şekillerde sağlamak mümkündür. Gerek kömür + hava temasının sağlanması ve gerekse de kömürün yakılma durumu açısından, kömür yakma sistemlerini üç grupta toplamak mümkündür (Kemal ve Arslan, 2005).

- Izgaralı yakma sistemleri,
- Akışkan yataklı yakma sistemleri,
- Pulverize yakma sistemleri.

### 2.2.1 Izgaralı Yakma Sistemleri

En eski kömür yakma sistemidir. Sistemin esası, kömürün ızgara üzerine koyularak, alttan hava verilmek suretiyle yakılmasından ibarettir. Kömür yığını içinden hava veya baca gazlarının geçebilmesi için, bu sistemde kömürün belli bir tane iriliğine sahip olması gerekmektedir. Yanma esnasında kömür önce nemini vermekte onu takiben, yakıt – hava temas yüzeyinde alevsiz bir oksidasyon meydana gelmektedir. Bu arada ısı yükselmekte ve kömürün uçucu maddeleri çıkmaya başlamaktadır. Çıkan uçucu madde ateşlenmekte ve alevle yanmaya başlamaktadır. Bunu takiben de, geride kalan kok yanmaktadır. En yavaş yanma, burada olmakta ve yanma hızı, yakıt – hava temas yüzeyine orantılı olarak artmaktadır. Bu sistemin en önemli olumsuzlukları, büyük ısı gereksinimi için, çok büyük ızgara alanına gerek olmasıdır. Bu yakma sistemleri dört tipte bulunmaktadır; sabit ızgaralı yakma sistemleri, hareketli ızgaralı yakma sistemleri, basamaklı beslemeli ızgaralı yakma sistemleri, alttan beslemeli ızgaralı yakma sistemleridir (Kemal ve Arslan, 2005).

### 2.2.2 Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri

Sistemin esası, kömür alttan belirli bir hızla yükselen hava üzerine verilmekte ve hava kömürü askıda tutarak yanmasını sağlamaktadır. Kömür tanelerinin askıda kalabilmesi için, tane boyutuna bağlı olarak belirli hava hızına gerek vardır. Normal akışkan yataklı fırınlarda, kömür tane boyutu, 0 – 6 mm (ortalama tane iriliği, 2 – 4 mm) arasındadır. Bu boyuttaki kömür tanelerinin akışkanlanması için 1 -2 m/s'lik hava hızı yeterlidir. Geriye kalan kül, toz halinde olduğu için, sıcak yanma

gazlarıyla, yataktan taşınmakta ve siklonlarda tutulmaktadır. İri kül ise ara sıra yataktan alınmaktadır. Akışkan yataklı yakma sistemleri, Dolaşım ve Basınçlı akışkan yataklı yakma sistemleri olmak üzere iki gruba ayrılmıştır (Kemal ve Arslan, 2005).

Dolaşım akışkan yataklı yakma sistemleri, bu grupta kömür askıda kalmamakta ve yanarak yukarı doğru hareket etmektedir. Siklonda tutulan kül ve yanmamış kömür taneleri, tekrar akışkan yatağa geri döndürülmektedir (Kemal ve Arslan, 2005).

Basınçlı akışkan yataklı yakma sistemleri, belirli bir basınç (10 – 16 bar) altında çalıştırılanların en önemli özellikleri, enerji üretim kapasitelerinin artması ve basınçlı sıcak gazların türbinden geçirilerek, yüksek ısının kullanılmasıdır (Kemal ve Arslan, 2005).

Akışkan yataklı yakma sistemlerinin başlıca avantajları şu şekilde sıralanabilir; yakıt değişimine göre diğer yakma sistemlerine göre daha az hassastır. Çok küllü ve ısı değeri düşük yakıtların yakılması mümkündür. Yanma esnasında oluşan SO<sub>2</sub>, yatağa kalker veya kireç vermek suretiyle %90'ın üzerinde bir verimle külde tutulabilmektedir. Düşük kapasite ile çalışmakta, verimde fazla değişim olmamaktadır. Isı iletimi yüksektir ve az yatırım gerektirmektedir. Öğütme sorunu yoktur. Yanma sıcaklığı 850 – 900 °C civarında tutulduğundan, NO<sub>x</sub> oluşumu kabul edilebilir sınırlar içinde kalmaktadır, yani toz tutma dışında ilave bir baca gazı temizleme ünitesine gerek kalmamaktadır (Kemal ve Arslan, 2005).

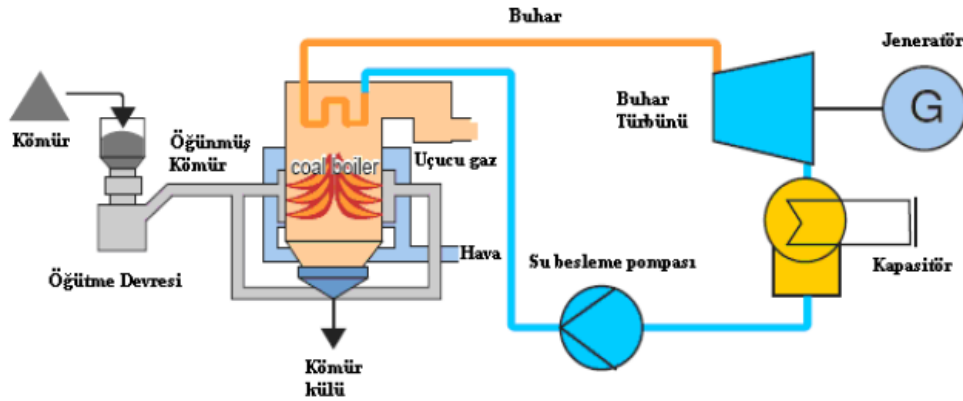
### ***2.2.3 Pulverize Yakma Sistemleri***

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 oluşmasına 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 kızdırıcılara gider, sıcak gazlar kazanın daha ileri safhasında yerleştirilmiş olan buhar boruları 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 işlemi ile birlikte yürür. Yanmadan dolayı açığa çıkan ısı birincil buhar üretimi ünitelerinde buhar oluşmasını sağlar. Buhar kazanında toplanan buhar, kızdırıcılara gönderilir ve önceki sıcaklığın 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 ekonomizere oradan kazan içi su tankına ve birincil ısıtma ünitesine beslenir (Demirbilek, 1987).

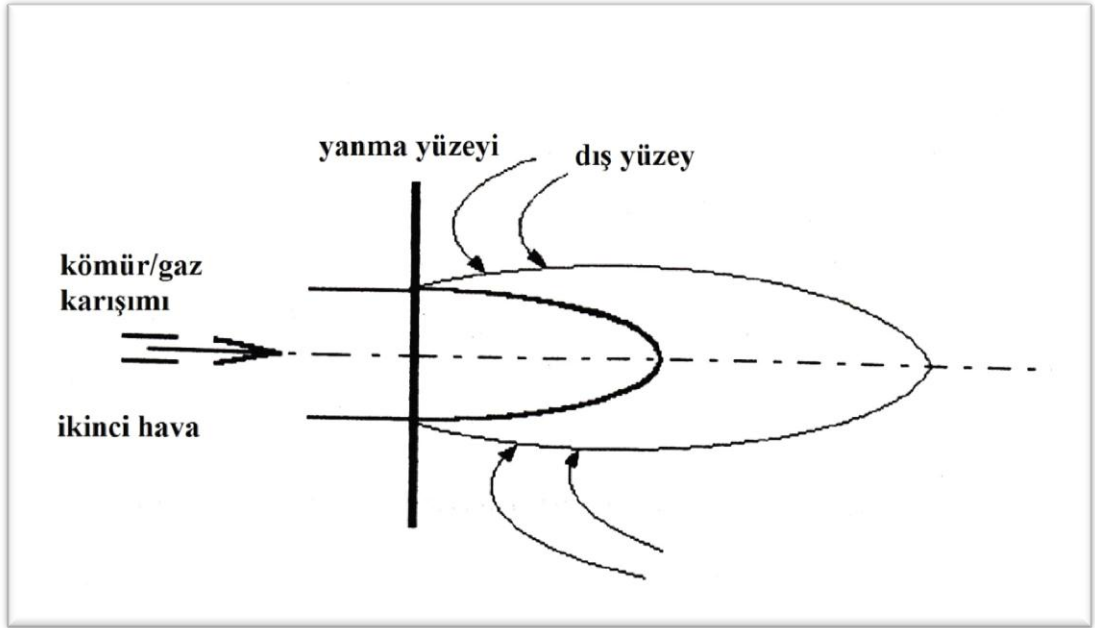
Pulverize kazan üniteli santralin genel prensip şeması Şekil 2.2’de gösterilmektedir (Nedo,2008).



Şekil 2.2 Pulverize kazan üniteli santralin genel prensip şeması (Nedo, 2008).

Sistemdeki yanma prosesini etkileyen faktörler arasında; kömür karakteristiği, yakıcı yapısı ve yakıcının kazana göre bölgesi ve çıkış debisi aerodinamiği gelir. Yanmayı sağlayacak ateşleme sıcaklığına (600 °C) kazandan yakıcıya giden dıştan resirkülasyonlu sıcak baca gazının yardımıyla ulaşılır. Bu da havanın emiş

yüzeyinden ve yakıcıdan gaz/kömür karışımı jet çıkış ile başlar. Şekil 2.3'de gösterilmektedir (Teknik Rapor, 1995).



Şekil 2.3 Yakıcı çıkışı kömür yanma şeması (Teknik Rapor, 1995).

Sistem dizaynı ve operasyonu; zaman, sıcaklık ve türbülans prensiplerine dayanır. Yüksek sıcaklık yanma zamanını kısaltmış ancak, kazan yapısına zararlı olması ve  $NO_x$  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 pulverize kömürün kazanı terketmeden tam kullanımının sağlanması için önemlidir. Sistem dizaynı sırasında önemli olan parametreler alev stabilitesinin sağlanması için yakıt / hava oranının seçilmesi, net ısı açığa çıkma hızı, gazların hızı, korozyon, ısı transferinin gerçekleştiği ünitenin yeri ve miktarı ve yardımcı ünitelerin yerleşimidir. Kazan dizaynları kullanılan üfleyici sistemlerine ve kül alma şekline göre değişebilir (Akar, 2010).

### 2.3 Türkiye' de Kömürle Çalışan Termik Santralleri

Ülkemiz kurulu termik santrallerin büyük bir çoğunluğunda, yakıt olarak linyit kullanılmaktadır. Termik enerji üretiminde 1970 öncesi en büyük payı taş kömürüne 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 A.Ş.'nin (EÜAŞ) termik amaçlı linyit üretimleri 2006 yılında 21,1 milyon ton olmuştur. Bir başka deyişle lityitlerimizin büyük bir kısmı termik santrallerde tüketilmektedir. Mevcut santrallerimizde 2000 kcal/kg düşük ısı değerli kömür kullanılmaktadır (Akar, 2010). Şekil 2.4'de Türkiye de kömür ile çalışan termik santralleri gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Kömürle çalışan termik santraller

Tez kapsamında numune alınan Yeniköy ve Kemerköy Termik Santralleri ile ilgili detaylı bilgiler verilmektedir.

### 2.3.1 Yeniköy Termik Santrali

#### 2.3.1.1 Tarihçesi, kuruluş amacı, konum ve yer seçimi

Türkiye Kömür işletmelerine ait olan Ekizköy ve Sekköy ocaklarındaki düşük kalorili linyit kömürünün değerlendirilmesi ve ulusal enerji sisteminin ihtiyacının karşılanması amacıyla 2×210 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. Santralin yeri

seçilirken; kömür rezervine yakınlığı, kül atma sahasına yakınlığı, ulusal elektrik şebekesinin özelliği, jeolojik yapı, hakim rüzgar yönü gibi faktörler dikkate alınmıştır (YEAŞ, 2000).

### *2.3.1.2 Kömür ve su temini*

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

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

Nem: % (33  $\pm$  3)

Kül (kuru bazda): %43.3  $\pm$  3

Toplam Kükürt: %2.7-6.0 dır.

Kül ergime sıcaklığı: 1210°C

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

Santralin su ihtiyacı ise Dereköy ham su isyasyonu ve Ahmetler Barajından sağlanmaktadır. Yıllık su ihtiyacı ise her bir ünite için 720.000 m<sup>3</sup>/yıl'dır. Yeniköy Termik Santralinin yıllık ana yakıt ihtiyacı 3.767.000 tondur. Türkiye Kömür İşletmeleri, Ekizköy ve Sekköy ocaklarından alınan kömürün alt ısı değeri  $1750 \pm 2000$  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. Kömür fanlı değirmende öğütüldükten sonra kazana beslenir (YEAŞ, 2000).

### *2.3.1.3 Kül ve curuf atma sistemi*

Bacalarda kül çıkışı, yüksek verimle çalışan elektrofilitreler 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 taşıyıp, burada kül serme makinası ile kül barajına boşaltılmaktadır. Kül döküm sahaları toprakla örtülüp yeşillendirilmektedir. Şartnamede verilen kül elemanter analiz sonuçları tabloda verilmiştir.

Tablo 2.1 Şartnamede verilen kül analiz değerleri

Element	Miktar %
SiO <sub>2</sub>	13 – 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 13
CaO	21 – 60
SO <sub>3</sub>	13 – 31,5
MgO	~ 1
Na <sub>2</sub> O	~ 1
K <sub>2</sub> O	~ 1

### 2.3.2 Kemerköy Termik Santrali

#### 2.3.2.1 Tarihçesi, kuruluş amacı, konum ve yer seçimi

Şirket 233 sayılı kanun hükmünde kararname ve Türkiye Elektrik Üretim A.Ş.'nin ana statüsü hükümleri dahilinde Ulusal Elektrik Sistemine bağlı olarak elektrik üretim ve ticareti amacıyla ve Muğla/ Milas Hüsamlar – Çakıralan havzalarındaki düşük kalorili linyit kömürünün termik santralde değerlendirilerek ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulmuştur. İnşaatı Ağustos 1986'da montajı ise 1987 yılında Polonya – Elektrim firması tarafından yapılmıştır. Kemerköy Termik Santrali Muğla ilinin Milas ilçesine bağlı Ören kasabasında 3x210 MW kurulu güçte, 4.941.818 m<sup>2</sup> alan üzerine kurulmuş, yıllık üretimi 4,1 milyon kWh/yıl'dır. Santralin yeri seçilirken; kömür rezervine yakınlığı, kül atma sahasına yakınlığı, ulusal elektrik şebekesinin özelliği, jeolojik yapı, kara ve deniz yolu ulaşım kolaylığı, hakim rüzgar yönü gibi faktörler dikkate alınmıştır (KEAŞ, 1999).

#### 2.3.2.2 Kömür ve su temini

Üretim için gerekli olan kömür Türkiye Kömür işletmeleri tarafından temin edilmektedir. Alt ısıl değeri 1550 – 1950 kcal/kg'dır. 3x34.000 ton/saatlik soğutma

suyu ihtiyacı denizden karşılanmaktadır. Kazan suyu ise Ahmetler su barajı ve Dereköy' deki kuyulardan sağlanmaktadır (KEAŞ, 1999).

Kullanılan linyitin özellikleri aşağıda belirtildiği gibidir:

- Parça büyüklüğü: 0 – 1000 mm
- Kül: % 39 – 47
- Toplam kükürt: % 2,0 – 2,8
- Kül ergime sıcaklığı: 1040 – 1100 °C
- Nem: % 29 – 37
- Alt ısı değeri (AID): 1550 – 1950 kcal/kg

### 2.3.2.3 Kül ve curuf atma sistemi

Elektrofiltre altından, kazan ara geçişinden, eko altından, bacadan ve luvo altından alınan kül pnömatik olarak kül silolarında; kazan altından alınan curuf ise curuf bunkerlerinde toplanmaktadır. Toplanan curuf ve kül bantlarla kül stok sahasına oradanda kül barajına atılır. 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. Kül döküm sahalarının, toprakla kaplanıp, yeşillendirilme çalışmaları devamlı olarak yapılmaktadır. Şartnamede verilen kül elemanter analiz sonuçları tabloda verilmiştir (KEAŞ, 1999).

Tablo 2.2 Şartnamede verilen kül analiz değerleri

Element	Miktar %
SiO <sub>2</sub>	13 – 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 22
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 – 13
CaO	21 – 60
SO <sub>3</sub>	13 – 31
MgO	~ 1
Na <sub>2</sub> O	~ 1
K <sub>2</sub> O	~ 1

Her iki Santralda da kullanılan kazan ve değirmen karakteristikleri aşağıda verildiği şekildedir (TEK tanıtım);

Kazan;

Tipi: tabii sirkülasyonlu, radyasyonlu, su borulu, çift geçişli

Buhar kapasitesi: 660 ton/ saat

Buhar basıncı: 139 kg/cm<sup>2</sup>

Buhar sıcaklığı: 540 °C

Kömür Değirmeni;

Tipi: rotorlu, fan tip

Adedi: 6 + 2

Öğütme kapasitesi: 57 ton / saat

Motor gücü: 1200kW

Fanlı değirmenlerde kömürün öğütülmesi için çekiç yerine büyük çaplı fanlar bulunmaktadır. Bu değirmenler özellikle linyit için geliştirilmiştir. Değirmen fanı kömürün kurutulması için gerekli olan 800 – 1000 °C sıcaklıktaki gazı kazandan emer. Fan yüzeylerine çarparak öğütülen kömür bir yandan da bu gaz tarafından kurutulur (Heper, 2001).

#### **2.4 Yanma Sonucu Oluşan Ürünler ve Davranışları**

Kömür, havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen, %55 ile %95 arasında, serbest veya bileşim halinde karbon içeren, katı organik kökenli kayaçlar olarak tanımlanmaktadır (Nakoman, 1971).

Endüstrinin diğer kesimlerinde değerlendirilme imkanı bulunmayan düşük kalorili, kül oranı yüksek linyitler, ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde kullanılmaktadır. Kömür ile çalışan termik santraller, doğaya saldıkları katı ve gaz atıklar sebebiyle, gerek atmosferin kirlenmesinde gerekse de ekosistemin zarar görmesinde çok etkili rol oynarlar. 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 ve curuf) meydana gelmiştir. Bu sorunlar hem linyit hemde yakma sisteminin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Baba, 2000).

Kömürün yanması ile birlikte, kömürün içerisinde bulunan As, Cd, Ga, Pb, Sr, Mo, Zn, Ba gibi toksit iz elementler atıklara (curuf; kül ve gaza) transfer olurlar. Bu atıklardan özellikle uçucu küller; kil yapısına sahip oldukları yüksek ısıya dayandıkları ve yüksek yüzey alanına sahip oldukları için sıvı ve gaz ortamlarda, elementlerin yüzeyde tutunabileceği çok uygun ortamlar oluştururlar (Akar, 2001).

Curuf olarak tanımlanan iri kül taneleri 100 µm den daha iri boyutta kazanda yanmaya uğramamış artık maddelerdir. Genel olarak, kazanın çıkışında hemen altında bulunan su dolu ve periyodik olarak boşaltılan curuf bloklarına boşaltılır. Curuf katı olarak ya da su içerisinde çöktürülerek taşınır. Curuf/uçucu kül oranı, kömür içerisindeki kül miktarına ve curuf/elektrofiltrede tutulan kül oranına bağlıdır. Bu genelde 5/95 ile 20/80 arasında değişmektedir (Moulton, 1974).

Yanma sonucunda curuf oluşmunun dışında kalan katı maddeler ise uçucu kül ve taban külü olarak tanımlanır. Uçucu küller 1 – 100 µm çapa sahip, camsı yapıda ve çoğunlukla küresel tanelerdir. Uçucu küller 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 (Akar, 2010, Mattigod ve diğer., 1990).

Uçucu küller içinde bulunan mineraller tamamen kömür içinde gözlenen minerallerin ısı dönüşümüyle açıklanabilmektedir. Kömür içindeki minerallerin yanma sonucu uçucu küllerde oluşturduğu mineral fraksiyonları Tablo 2.3'de verilmiştir. Amorf madde ve kuvars, kömürdeki mika, kaolinit, klorit ve montmorillonit gibi fillosilikatlardan oluşmaktadır. Kömür içindeki kuvars, termik santral yanma ürünlerinde bozunmadan da kalabilmektedir. Kömürde sık olarak gözlenen demir sülfid, demirkarbonat ve demirsülfatlar da uçucu küllerde demiroksitler halinde gözlenmektedir. Benzer şekilde sık olarak kömürlerde



gözlenen toprak alkali elementlerin oluşturduğu minerallerde, uçucu küllerde Ca ve Mg oksitler olarak bulunur (Mattigod ve diğer., 1990).

Kömür yakan termik santrallerde yanma kazan içerisinde kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak 900 – 1400 °C arasında 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 ergime sıcaklığını etkilediği ve bununda yanma koşullarında aglomerasyona neden olduğu bilinmektedir. Oluşan bu madde termik santrallerimizde büyük problemlere yol açmaktadır (Akar, 2010).

Tablo 2.3 Kömürlerin yanması sonrasında oluşan major inorganik dönüşümler (Mattigod ve diğer.,1990).

Kömür içindeki mineraller	Uçucu küldeki dönüşüm ürünleri
Fillosilikat	Amorf madde, Mullit ( $Al_6Si_2O_{13}$ ), Kuvars
Kuvars	Amorf madde, Kuvars ( $SiO_2$ )
Pirit ( $FeS_2$ ), siderit ( $FeCO_3$ ) Demiroksitler	Hematit ( $Fe_2O_3$ ), Manyetit ( $Fe_3O_4$ )
Kalsit( $CaCO_3$ )	Kireç ( $CaO$ )
Dolomit Ca Mg ( $CO_3$ ) <sub>2</sub>	Kireç, Periklaz ( $MgO$ )
Jips ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )	Anhidrit ( $CaSO_4$ )
Ankerit Ca (Mg Fe Mn) ( $CO_3$ ) <sub>2</sub>	Kalsiyum ferrit ( $CaFe_2O_4$ ), Periklaz

Wang ve Herb curuf oluşumunu ve etkilerini dokuz kısımda incelemiştir (Wang ve Herb, 1997).

1. Kül oluşumu
2. Akışkan mekaniği ve tane taşınımı
3. Tane buluşması
4. Tane yapışması (aglomerasyon)
5. Kazan kotlarına bağlı olarak depozitin artması
6. Curuf özellikleri

7. Kızdırıcı üzerinde ısı transferi
8. Curufun işletme koşullarına etkisi (sıcaklık)
9. Santral işleyiş prosesine etkisi.

Kazan içinde meydana gelen curuflanmalar yanma verimini düşürmektedir. Yanma verimin düşmesine bağlı olarak enerji üretimi olumsuz etkilenmektedir. Zaman zaman kazanda oluşan curuflanmayı temizlemek amacı ile santral durdurulmakta bu da enerji üretiminin durmasına neden olmaktadır (Akar, 2010).

#### **2.4.1 Kömürün Özellikleri**

Organik olarak bağ yapan C, H, O, N ve S dışındaki tüm elementler bu sınıflamaya göre mineral madde olarak tanımlanır (Vorres, 1984). Genel organik olarak kabul edilen bu beş elementin dördü kömürde inorganik kombinasyon halinde bulunur. Kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlarda; karbon, serbest su ve hidrat suyu olarak hidrojen, oksitler; 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).

Kömürün içerdiği mineral madde, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkilemektedir. Mineral madde kömür üretim ve taşımacılığında istenilmeyen bir bileşendir. Kömür hazırlama ve zenginleştirme işlemleri ile kömürün içerdiği mineral maddeyi kısmen azaltmak mümkündür. Kömür hazırlama teknolojileri ne kadar başarılı olursa olsun, mutlaka önemli bir miktar mineral madde kömürde kalır ve kömürün kullanımında önemli rol oynar. Bununla birlikte, kömür bir yakma ünitesinde yakıldığında içerdiği mineral maddeler değişikliklere uğrayarak klinker oluşumu, korozyon, curuf ve kurum gibi sorunlar yaratır (Yaman, 1992).

#### 2.4.1.1 Kömürün Nemi

Kömürdeki nem, alev sıcaklığını düşürür ve önemli miktarda ısının baca gazları ile beraber taşınmasına neden olur. Alev sıcaklığı düştüğü zaman oksitlenme tam gerçekleşmez ve duman miktarı artar. Kömür bünyesinde %8'den daha az nem bulunması yanabilir kütle miktarında kayıplara sebep olur. Kömür üretildiğinde kuru görünmesine karşın genel olarak suya doymuş durumdadır. Bünyesindeki su yüzey suyu, çatlak ve kılcal sular olarak bulunup, suyun kömüre göre oranı %3 – 45 arasında değişmektedir. Yüzey suyu kolaylıkla buharlaşabilir. Kömür bünyesindeki suyu kaybettiğinde ise kolayca ufalanabilir. Yanma sürecinde nemin ortamdaki uzaklaştırılması için fazladan ısı kullanılması gereklidir. Nem; alev sıcaklığını düşürür, oksidasyonun tam olarak gerçekleşmesini önler ve yanma verimliliğini düşürür (Yıldız, 2007).

#### 2.4.1.2 Kömürün Kükürt İçeriği

Kömürün içerisinde istenmeyenler arasında kükürt de yer almaktadır.

Kükürt kömürde anorganik (mineral maddedeki kükürt) ve organik (kömür kimyasal yapısına girmiş kükürt) olmak üzere iki türde bulunmaktadır. Anorganik kömürde, sülfat ve sülfür kükürtü şekillerinde bulunabilmektedir. Kömürde hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir. Organik kükürt bileşenleri kömürde asıl yapının bir parçası olarak düzgün dağılmış halde bulunurlar (Kural, 1991).

Kömürün yakılması sırasında, organik kükürt ile sülfür kükürdü de yanmaya dahil olmakta ve SO<sub>2</sub> gazı halinde havaya karışmaktadır. Kömürde sülfat halinde bulunan kükürt ile yanma sırasında sülfat bileşiği oluşturan kükürt, 1000°C yanma odası sıcaklığına kadar, sülfat bileşiği olarak külde kalmaktadır. Bundan dolayı, yakmada kullanılacak kömürler için, yanar kükürt ve külde kükürt kavramları geliştirilmiştir (Kemal ve Arslan, 2005).

#### 2.4.1.3 Kömürün İçerdiği Mineral Maddeler

En bol bulunan fosil enerji kaynağımız olan kömürde bulunan inorganik madde halen birçok problemin ana kaynağıdır. Merkezi kömür yakma metodunu kullanan

büyük enerji santrallerinde de kirlenme ve madde birikimi problemleri yaşanmakta ve ısıya maruz kalan yüzeyler de aşınmalar meydana gelmektedir (Himus, 1957).

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

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

Karbonat mineralleri: kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanısıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks karbonatları da kömürün içerdiği majör bileşenlerdendir.

Kükürtlü mineraller: genellikle  $FeS_2$ 'nin iki kristal şekli olan pirit (kübik) ve markasit (rombik) kükürtlü mineralleri oluşturur.

Sislikat mineralleri: büyük miktarı kuvars şeklinde ortaya çıkar ve toplam mineral maddenin %15 – 20'sini oluşturur (Berkowitz, 1985, Kemezys, 1964).

Tablo 2.4 Kömürün içerdiği mineral maddeler

Mineral ismi	Kimyasal formülü
<b>Killi mineraller</b>	
Montmorillonit	$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot XH_2O$
İllit	$KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$
Kaolinit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$
Halloysit	$Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$
<b>Sülfür mineralleri</b>	
Pirit	$FeS_2$ (kübik)
Markasit	$FeS_2$ (rombik)
Sfelarit	ZnS
Galen	PbS
Kalkopirit	$CuFeS_2$
Pirotit	$Fe_{1-x}S$
Arsenopirit	$FeAsS$
Millerit	NiS
<b>Sülfat mineralleri</b>	
Barit	$BaSO_4$
Jips	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$
Anhidrid	$CaSO_4$
Bassanit	$CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$

Jarosit	$(\text{Na, K})\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$
Szomolnokit	$\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
Rozenit	$\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
Melanterit	$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$
Mirabilit	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Kieserit	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
<b>Karbonat mineralleri</b>	
Kalsit	$\text{CaCO}_3$
Dolomit	$(\text{Ca, Mg})\text{CO}_3$
Siderit	$\text{FeCO}_3$
Ankerit	$(\text{Ca, Fe, Mg})\text{CO}_3$
<b>Klorür mineralleri</b>	
Halit	$\text{NaCl}$
Silvit	$\text{KCl}$
Bisofit	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
<b>Silikat mineralleri</b>	
Kuvars	$\text{SiO}_2$
Biyotit	$\text{K}(\text{Mg, Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$
Zirkon	$\text{ZrSiO}_4$
Turmalin	$\text{Na}(\text{Mg, Fe})_3\text{Al}(\text{BO}_3)_3(\text{Si}_6\text{O}_{18})(\text{OH})_4$
Garnet	$(\text{Fe, Ca, Mg})_3(\text{Al, Fe})_2(\text{SiO}_4)_3$
Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Al, Fe})_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$
Ortoklaz	$\text{KAlSi}_3\text{O}_8$
Augit	$\text{Ca}(\text{Mg, Fe, Al})(\text{Al, Si})_2\text{O}_6$
Topaz	$\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH, F})_2$
<b>Oksit ve hidroksit mineralleri</b>	
Hematit	$\text{Fe}_2\text{O}_3$
Magnetit	$\text{Fe}_3\text{O}_4$
Rutil	$\text{TiO}_2$
Limonit	$\text{FeO} \cdot \text{OH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
Götit	$\text{FeO} \cdot \text{OH}$
Diaspor	$\text{AlO} \cdot \text{OH}$
<b>Fosfat Mineralleri</b>	
Florapatit	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F, Cl, OH})$

#### 2.4.1.4 Kömür Mineral Maddesinin Sınıflandırılması

Mineral maddelerin çeşitli sınıflandırma şekilleri vardır. İlk olarak mineral madde sınıflandırılırsa;

**İç mineral madde**, turbaya ve daha sonra kömüre dönüşen bitkilerin inorganik kısmından kaynaklanmaktadır. Doğal mineraller, organik parçaların %10'undan daha

azını ifade ederler (genellikle %2 – 4). Bünye mineral maddesi kömür zenginleştirme yöntemleriyle uzaklaştırılmaz (Vorres, 1984).

**Dış mineral madde**, kömür oluşumundan sonra kömüre karışan safsızlıklardır. Mineral maddenin %90'ını ifade eden parçacıklardır. Dış mineral maddeler kömürün organik yapısına dağılmamış olduğundan, fiziksel yöntemler ile kömürden ayrılabilir (Vorres, 1984).

Mineral maddelerin diğer sınıflandırma şekilleri ise;

Kökenlerine, kömüre katıldıkları zamana ve kömürdeki derişimlerine göre sınıflandırmadır.

*Kökenlerine göre sınıflandırma*; üç gruba ayrılır (Meyers, 1982).

- Aşınma kökenli: bu gruba giren mineral maddelerin kaynağı turbanın oluştuğu bataklığın 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 alümina ve silika derişimi yüksektir. Bitkilerin kabuk ve yaprakları daha fazla inorganik madde içerirler; örneğin yaprakları 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 çözeltilindeki 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 bataklık içindedir; bitkilerin bozunması sonucu bitki dokusunda külün bileşeni olarak bulunan ve suda çözünebilir maddelerde çözeltiye geçer. Bitkisel maddelerin organik bileşenlerinin bazıları da bozunma sırasında organometalik bileşik halinde çözeltiye geçmektedir. Kömürün içerdiği pirit ve karbonatlar bu tür minerallerdendir (Jenkins ve Walker 1984).

*Kömüre katıldıkları zaman göre sınıflandırma;* mineraller kömüre tüm oluşum aşamalarında katılırlar; fakat kömüre mineral madde girişi iki önemli dönemde gerçekleşir. Kömürün içerdiği maddeler iki guruba ayrılmaktadır (Mackowsky, 1984).

- Syngenetik mineraller: Kömürleşme esnasında bitkilerle beraber çökelen ( $\text{CaCO}_3$  v.s) ve sedimantasyona uğrayan mineral maddeler, syngenetik mineral maddeleri oluşturmaktadır (Kemal ve Arslan, 2005).
- Epigenetik mineraller: Kömürleşme sonrası, damarlarda açılan çatlaklara dolan ve metamorfizma etkisi ile syngenetik mineral maddenin değişimi ve belirli noktalarda oluşmaktadır. Epigenetik mineral maddelerin kömürden ayrılması syngenetik mineral maddelere göre daha kolaydır. Genellikle iri boyutta serbestleştikleri için kömürden ayrılabilirler (Kemal ve Arslan, 2005).

Karbonatlar, sülfat mineralleri ve kuvars hem syngenetik, hemde epigenetik kökenli; kil mileralleri syngenetik; tuz mineralleri ise epigenetik mineral madde sınıfına girmektedir (Berkowitz, 1985).

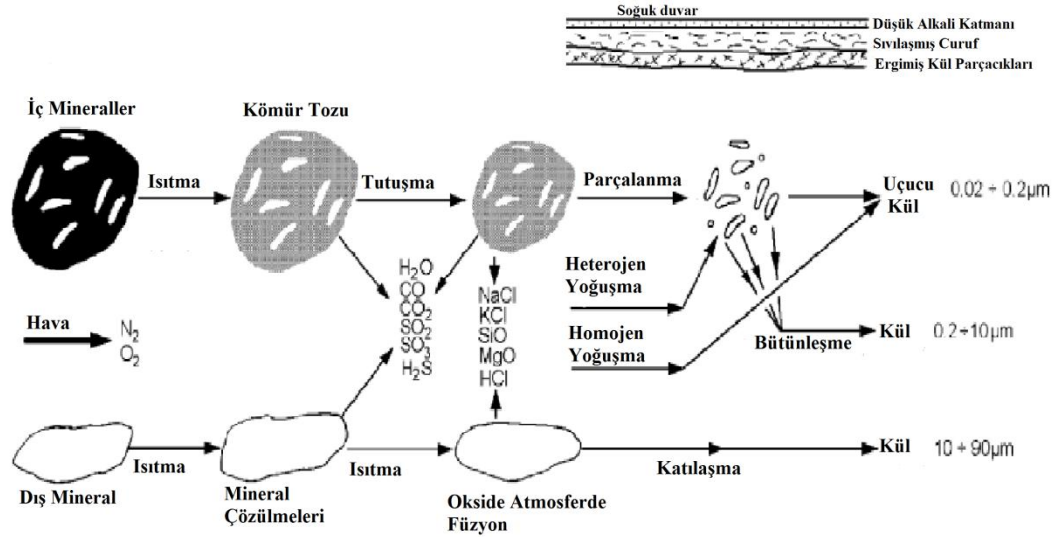
#### *2.4.1.5 Yanma Esnasında Mineral Madde Dönüşüm Kinetiği ve Mineral Maddeden Kaynaklanan Birikimler*

Kömür yakma ünitelerinde, mineral madde dönüşümünün basite indirgenmiş mekanizması Şekil 2.5’de gösterilmektedir. Doğal mineraller içeren kömür iç

mineraller ve dış mineraller olarak adlandırılan iki tür parçacığın yanma karşısındaki davranışları incelenmiştir.

Kömür parçacıkları ısıtıldıkları zaman uçucu hale 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 (Tomeczek ve Palugniok, 2002).

İç mineraller (0,1  $\mu\text{m}$ ), kömürleşmiş parçacıklar içinde değişime uğrarlar ve kömürleşme sürecindeki parçalanma sırasında serbest kalırlar. Minerallerin çözülmesi ve katı faza 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. Ayrılmış 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 (Tomeczek ve Palugniok, 2002).



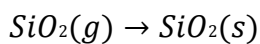
Şekil 2.5 Kömür yakma ünitelerinde mineral madde dönüşümünün basite indirgenmiş mekanizması (Tomeczek ve Palugniok, 2002).



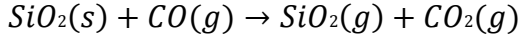
Dış minerallerden oluşan küller yaklaşık olarak 10 µm civarındadır. 0,01 – 0,1 µm arasındaki minerallerin bileşmesinden oluşan parçacıklar bir araya gelerek, birleşirler ve 0,1 µm'den küçük boyutlara sahip parçacıklar oluştururlar (Neville ve diğer, 1981). Yanma sırasında mineral maddenin küçük bir kısmı 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 olur (Neville ve Sarofirm, 1985). Kül oluşumunun mekanizması hala anlaşılmamaktadır. 1527 °C altındaki sıcaklıklarda yakılan kötü kalite kömürlerin küllerinde, MgO ve CaO bulunmaktadır. Bunun yanında maden kömürlerinin yakılmasıyla oluşan küllerde ise SiO<sub>2</sub>'nin oranı fazladır (Neville ve diğer, 1981). 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 (Quann ve diğer, 1982). Kömürün yanmasında yer alan mikrondan daha küçük parçacıkların açıklanabilmesi için yüksek sıcaklığa dayanıklı oksitlerin buharlaşması gerekmektedir (Neville ve Sarofirm, 1985).

İnorganik buhar cinslerinin homojen yada heterojen olarak yoğunlaşması nedeniyle, soğuyan yüzeylerde bazı atıklar meydana gelir. Bu olay, uçucu kül parçacıklarının yada büyük yapışkan parçacıkların kuru yüzeye veya diğer parçacıkların artıklara yapışması olarak açıklanabilir. Bazı durumlarda, gaz fazı aşırı doymuş hale gelebilir. Bunu sağlayan ise soğuyan yüzey sınırlarında, sıcaklığın düşmesi ile parçacıkların gaz halde çekirdekleşmiş homojen birleşimler oluşturmasıdır. İnorganik parçacıkların oluşumu; kömürden yanma ile ayrılan küçük inorganik parçacıklar ile açıklanabileceği gibi dış mineral maddelerden yayılan kül parçacıkları ile de açıklanabilir. Aşırı doyum mekanizması; (Mc Nallan ve diğer., 1981).

$SiO(g) + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow SiO_2(g)$  denklemi 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.



1727 °C alev sıcaklığında yoğunlaşma için gereken SiO<sub>2</sub> (g)'nin molar içeriği 0,02 ppm'e eşittir. Oksijenin az olduğu bölgelerde SiO<sub>2</sub> (s) azalması gözlenir.



Böylece SiO<sub>2</sub>'in kısmi basıncı CO ve CO<sub>2</sub>'nin kısmi basıncıyla kontrol edilmiş olacaktır (Mc Nallan ve diğer., 1981).

Isınma yüzeylerindeki kurulum ve bozulmalar piritin davranışının kontrolü altındadır. Demir piritleri FeS<sub>2</sub>, kömürdeki sülfürün yaklaşık yarısına sahip oldukları için ve orta derecedeki ısılarda ergirler ve sülfür açığa çıkarttıkları için problemlere neden olmaktadır. Oksidasyon sürecinin %80'inde pirit ayrışarak pirotit oluşturur. Pirit aynı zamanda oksitlenerek sırasıyla magnetit ve hematite dönüşür. Erime safhası demirin tortulanması ile tanımlanabilir. Gözenekli pirotitin parçalanmasıyla meydana gelen demir buharı da demir tortulanmasının kaynağıdır (Wall, 1992).

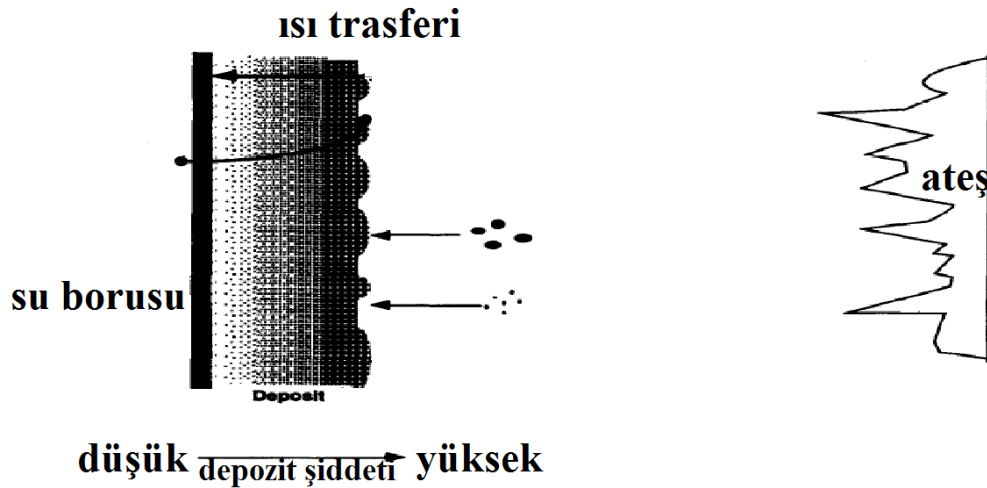
Büyük kazanların yüzeylerin de meydana gelen depozit problemlerinin başlıca nedenleri kömür içerisinde bulunan sodyum ve potasyumdur. Bu maddeler alkalilerin, kömürü oluşturan minerallerden buharlaşma yolu ile ayrışması sonucu açığa çıkarlar. Alkaliler buharlaştıktan sonra kazan yüzeylerine yoğunlaşarak yapışmaktadırlar. Hareket eden gazın içerisinde bulunan parçacıklar yoğunlaşmış olan bu alkaliler tarafından tutulmaktadır. Fazla alkali yoğunlaşması, parçacıklarla reaksiyona neden olan ince bir tabakanın oluşmasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda parçacıklar birbirine yapışmakta ve depozit oluşumuna neden olmaktadır. Sonuç olarak, alkali miktarının yüksek olması, daha fazla probleme neden olmaktadır (Tomeczek ve Palugniok, 2002).

Kömürde bulunan mineral maddeler kömür yakma sistemlerinde sorun oluşturmaktadır. Yakma sistemlerinde serbest kalan mineral madde, birkaç saniye içinde kazanı ve ardından baca yolunu geçer. Mineral maddenin çoğu nispeten yüksek erime sıcaklığına sahip küle dönüşmüşse "uçucu kül" terimi kullanılır. Meydana gelen uçucu kül, kazan içinden toz tutma filtrelerine doğru hareket eder (Akar, 2010). Külün ergime sıcaklığı düşükse küçük tanecikler yumuşar ve yapışkan hale gelir; bunlar kazan duvarlarına yapışabilir veya kazan içerisindeki borular

üzerinde birikebilir. Uçucu küller ve biriken depozitler ısı transferini olumsuz yönde etkileyerek düşürür; kazanın iç kısımlarında korozyona neden olur (Baxter, 1998).

Bazı kömür külü tanecikleri kazan içindeki metal parçalarını aşındırma özelliğine sahiptir. Özellikle sert kül tanecikleri kazan ve ısıtıcı yüzeylerine çarptığında önemli bir aşınmaya neden olur. Alkali element 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 (Akar, 2010).

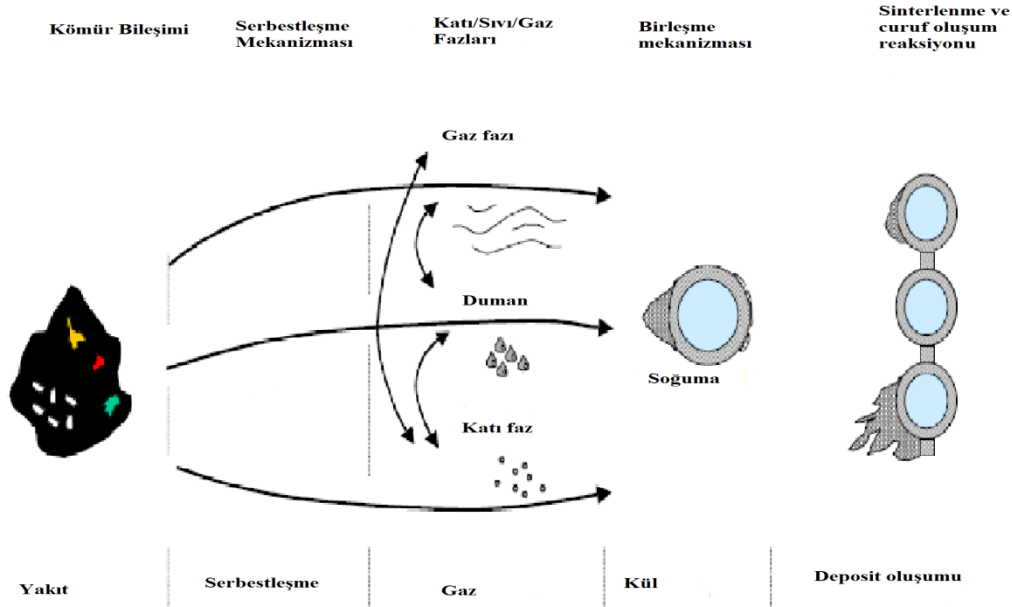
**2.4.1.5.1 Curuf Oluşumu.** Mineral maddenin kazan cidarlarında eriyerek yeni bir faz oluşturması ve ardından sertleşmesi sonucu oluşan malzeme curuf olarak tanımlanmaktadır. Oluşan curuf, ısı transferini azaltır ve kazanı terk eden atık gazların sıcaklıklarının yüksek olmasına neden olur. Curuf oluşumunun en önemli etkisi, ısı transferi azalttığı için santral verimini düşürmesidir bununla birlikte üzerinde olduğu metal parçalara verdiği zarardan ötürü kazanın bakım masraflarını arttırmasıdır (Couch, 1994).



Şekil 2.6 Curuf oluşumu ve ısı transferine etkisi (Wang ve Herb, 1997).

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).



Şekil 2.7 Curuf oluşum mekanizması (Lopez ve diğer., 2004).

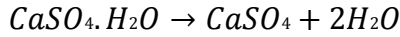
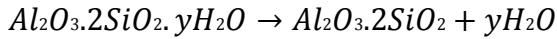
**2.4.1.5.2 Kurum oluşumu.** Kurum, genellikle ısı iletim yüzeylerinde düşük sıcaklıklarda (600 °C den 1000 °C' ye kadar) oluşmaktadır. Alkali elementler (sodyum, potasyum) bu tür birikimlerin oluşmasındaki en önemli etkenlerdir. Bu elementler alev içerisinde uçucu hale gelir. Organik bağ yapmış alkalinin 1400 – 1500 °C lik alev sıcaklıklarında kolayca uçucu hale gelmesi beklenir. Bitümlü kömürlerde sodyumun en yaygın şekli olan sodyum klorür; bu şekilde davranmaktadır. İllitin içerdiği potasyumun kolayca uçucu hale gelmeyeceği 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).

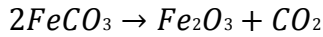
*2.4.1.5.3 Kömür Külü (Uçucu Kül) Oluşumu ve Ergime Özellikleri.* Uçucu kül üretimini, santral tipi, işletim biçimi, yakılan kömürün cinsi, yanma biçimi gibi çeşitli faktörler etkilemekle birlikte genel olarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taşkömürünün %10 – 15'ini, linyit kömürünün ise %20 – 50'si kül olarak ortaya çıkmaktadır. Termik Santrallerde, baca gazlarından uçucu küllerin tutulması amacıyla genel olarak elektrofiltreler kullanılmaktadır (Morrison, 1970).

Kömürün özelliklerine bağlı olarak mineral madde ve kül içeriği farklılık göstermektedir. Kömür yandığı zaman, içerdiği mineral maddeler aşağıda belirtilen temel değişikliklere uğrayarak küle dönüşmektedir (Kural, 1991).

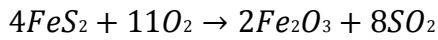
- Hidrat suyu içeren minerallerin hidrat sularını kaybetmeleri;



- Karbonatların parçalanması,



- Sülfürlerin kavrulması;



- Alkali metal klorürlerin uçuculaşması; Bu nedenle olan ağırlıklı kaybı genellikle çok azdır ve ihmal edilebilir.
- Kömürün yanması sonucu açığa çıkan metal oksitlerin, organik ve piritik kükürdün bir kısmı ile reaksiyona girmesi, SO<sub>3</sub> artışına neden olmaktadır. Sıcaklığın yeterince yüksek olması durumunda ise, oksitler, silikatlar ve serbest silika tepkimeye girerek yeni bileşikler oluşturur.

Kül yüksek sıcaklıklara maruz kalırsa yumuşar ve ergiyerek, akışkanlaşır. Farklı kömürlerin ergime özellikleri farklılık göstermektedir. Kül ergime özellikleri

kimyasal bileşimine bağlı olarak değişmektedir. Kül kristal, yarı kristal ve camı minerallerin çok kompleks bir karışımıdır. Bu nedenle belirli bir ergime sıcaklığına sahip olması beklenemez. Fakat, kül ergime testleri sonucunda belirli bir ergime sıcaklığını tesbit etmek mümkündür. Bu testler, pramit veya silindirik şekil verilmiş olup 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 ile gerçekleştirilir. Genellikle piramit şeklindeki kül peletlerinin kullanılması tercih edilmektedir. Çünkü yuvarlaklaşma sıcaklığı, silindirik peletlerinkine kıyasla daha net bir şekilde gözlenebilmektedir (Thessen, 1945).

Kömür külünün ergime sıcaklığı yakma sisteminin tasarımında ve işletme sırasında, değerlendirmeye alınırken önemlidir. Bu nedenle kömür külünün kimyasal bileşimi ile ergime sıcaklığı arasındaki ilişkiyi bulma konusundaki ilk çalışmalar  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  ve kükürdün etkileri incelenmiştir (Gray ve Moore, 1984).

Nicholls ve Selving külün  $Fe_2O_3$  içeriği ile yumuşama sıcaklıkları arasındaki ilişkiyi araştırmış ve  $Fe_2O_3$  oranında her %1'lik artışın, ergime sıcaklığını 23 °K düşürdüğü sonucuna varmıştır. Nicholls ve Selving 43 kömür külü üzerinde yaptıkları çalışmaların sonucunda;

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

Oranı ile yumuşama sıcaklıkları arasında bir ilişki olduğu gözlenmiştir (Meyers, 1982).

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

$$R = Al_2O_3 \times (Al_2O_3 + SiO_2) \div SiO_2 \times [FeO + 0,6 \times (CaO + MgO + Na_2O + K_2O)]$$

Kunsmann, 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 külün R arasında, daha net bir ilişki olduğu sonucuna varılmıştır (Meyers, 1982).

Ergime noktasını etkileyen kömür külünü oluşturan sekiz ana oksit olduğu tespit edilmiştir (Seggiani M, 1999; Van Dyk J.C.ve diğer, 2005). Bu oksitler üç gruba ayrılmaktadır; asit oksitler, bazik oksitler ve amfoterik oksitler.

Asit oksitler;  $SiO_2$ ,  $TiO_2$  ve  $P_2O_5$

Bazik oksitler;  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $MgO$  ve  $MnO$

Amfotik oksitler;  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  şeklinde ayrılmaktadır.

Ancak iki grupta toplanırsa  $Al_2O_3$  asit oksit,  $Fe_2O_3$  ise bazik oksit olarak sınıflandırılmıştır (Seggiani M, 1999; Alpern B ve Nayhuys, 1984). Bazik oksitlerin Asit oksitlere oranı arttıkça, kömür külünün ergime derecesi düşmekte dolayısıyla da curuflaşma problemi artmaktadır (Couch, 1994).

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

$$Silika\ Değeri(\%) = SiO_2 \times 100 \div (SiO_2 + Fe_2O_3 + CaO + MgO)$$

*Baz ÷ Asit oranı*

$$= (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Na_2O + K_2O) \div (Si_2O + Al_2O_3 + TiO_2)$$

$$Silika \div Alumina\ oranı = SiO_2 \div Al_2O_3$$

$$Demir\ oksit \div Kalsiyum\ oksit\ oranı = Fe_2O_3 \div CaO$$

$$Dolomit(\%) = (CaO + MgO) \times 100 \div Toplam\ Baz$$

$$Demir\ Oksit \div Dolomit\ Oranı = Fe_2O_3 \div (CaO + MgO)$$

Küllerin curuflaşma eğilimlerini belirlemek için türetilmiş bu indekslerden en çok kullanılanları aşağıda belirtilenlerdir.

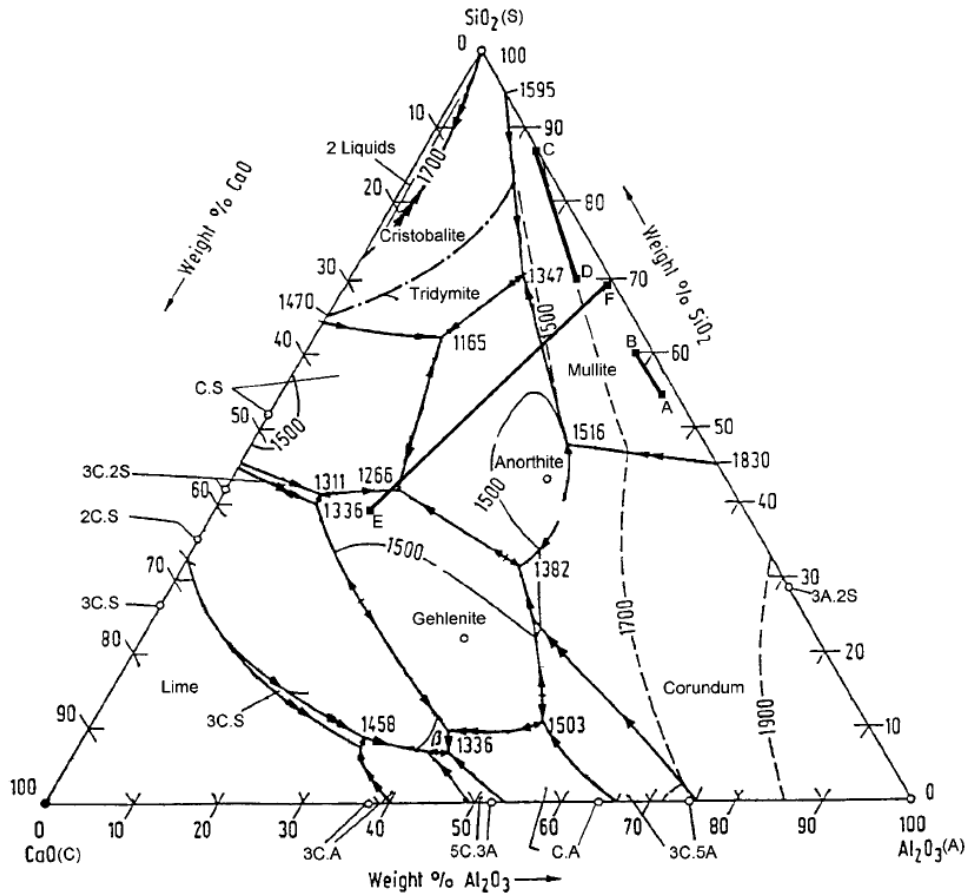
Silika Modülünün % 86'nın üzerinde olması istenir. Altında olduğu zaman curuflaşma riski artmaktadır.

Asit Baz oranı 0,11 den küçük olması istenir eğer yüksek olursa yine kömür külünün curuflaşma eğilimi artmaktadır.

Curuf indeksi,  $R_s = \text{kuru S\%} \times B/A$  bu oranın 0,6'nın üzerinde olmaması istenir. (Gray ve Moore, 1984).

Wang ve arkadaşları (Wang ve diğer., 2004), Ternary Faz Diagramını ( $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ ) kullanarak küllerin yaklaşık ergime noktalarını bulmuşlardır.

Bryant ve arkadaşları (Bryant ve diğer., 2000), yapmış oldukları çalışmada kül numunelerinin kimyasal bileşiminden faydalanarak kullanmış oldukları Ternary Faz Diagramında ( $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ ) buldukları değeri, aynı kül numunelerine uyguladıkları ergime sıcaklığı testi sonuçları ile karşılaştırmışlar ve yaklaşık birbirine yakın değerler bulmuşlardır.



Şekil 2.8 Ternary faz diagramı ( $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}$ )

Uçucu külün fiziksel, kimyasal, minerolojik özelliklerinin en belirgin ortak yanı, bunların yöreden yöreye, hatta aynı yörede dahi değişkenlik göstermeleridir. Bu değişkenlikler;



- Uçucu külün kaynağını oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine,
- Kazan türüne,
- Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- Kül toplama ve uzaklaştırma sistemleri ve işleyişine,
- Çevre koruması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır (Hycnar, 1983; Kefelioğlu, 1998).

#### ***2.4.2 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 ergime özelliklerini de bilmek gerekir. Yakıldığı zaman bıraktığı kül miktarı az; fakat ergime sıcaklığı düşük olan bir kömür, daha fazla kül bırakan; ancak külünün ergime sıcaklığı daha yüksek olan diğer bir kömürden daha düşük bir verimle yakılabilir (Akar, 2010).

Kömürün külü yakma sistemlerinde ergime eğilimi gösterdiğinden ve sıvı bir curuf oluşturduğundan kömürün yakıt olarak değerini önemli ölçüde etkiler. Kolay ergiyen kül çeşitli sorunlar yaratır; ergimiş curuf kütlesi içinde kalan yanmamış karbon yanma veriminin düşmesine neden olur. Klinkerin, ergimiş veya yarı – ergimiş 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 ergiyerek temizleme sırasında mekanik hasar oluşmasına neden olabilir (Akar, 2010).

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

Dayanıklı küller oluşturan kömürler; bu tür kömürlerin külleri 1457 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda eridiklerinden klinker oluşum sorunu yaratmazlar. Orta derece ergimeye sahip külleri oluşturan kömürler; bu kömürlerin külleri 1200 – 1430 °C arasında ergir ve klinker oluşturma eğilimleri külün ergime sıcaklığı düştükçe artar.

Kolay ergiyebilen külleri oluşturan kömürler; bu gruba giren kömürlerin külleri 1040 – 1200 °C arasında ergir ve tedbir alınmaz ise klinker oluşumu büyük sorun yaratır.

Kömür külünün ergime özelliklerinin ve ölçme yöntemlerinin yoğun bir şekilde araştırılmasının nedeni, külün ergiyebilirliğinin, klinker oluşma sorunu çıkıp çıkmayacağını önceden tahmin edilebilmesinin oldukça güvenilir bir göstergesi olmasındandır (Raask, 1985). Kömür külünün ergime sıcaklığı ile klinker oluşumu arasında bir paralellik varsa, külün klinker oluşturup oluşturmayacağı çeşitli etkenlere bağlıdır. Bu etkenleri şu şekilde özetleyebiliriz (Akar, 2010).

- 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 birbirine yaklaşırlar ve ızgarada az veya çok sinterlenmiş bir kısım oluştururlar ki bu sorun yaratmaz. Eğer yakma bölgesindeki sıcaklık külü ergitecek kadar yüksek ise; fakat ergimiş curufun vizkozitesini curuf taneciklerinin yerçekimi etkisiyle yakıt yatağında aşağıya doğru göçmesini sağlayacak kadar düşürmeye yetecek kadar yüksek değilse, ergimiş 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, yanma 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 ergimiş 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 camı klinker oluşturur. Öte yandan, eğer aşağı doğru akmaya başlayan curuf küreciği ızgaraya ulaşmadan engellerle karşılaşır ve o bölgede sıcaklık düşük ise klinkerleşme olur (Akar, 2010).

Gray ve Moore (Gray ve Moore, 1984), kül ergime testinde gözlenen başlangıç deformasyon (IT) ve yarımküreye (HT) dayanan bir curuf oluşturma indeksi ( $F_s$ ) teklif etmiştir.

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

Kömür külü bu indekse göre Tablo 2.5’de gösterildiği gibi sınıflandırılmıştır.

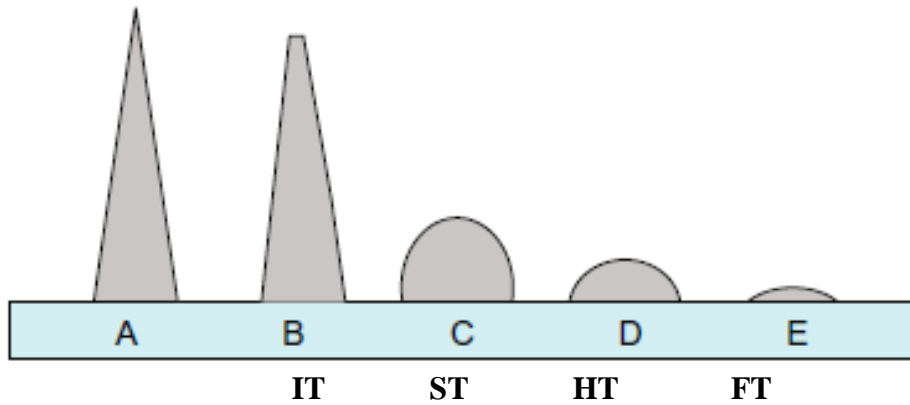
Tablo 2.5 Kömür külü indeksi

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

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

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

Elek açıklığı 0,25 mm olan eleğin altına geçen kül numunelerinden hazırlanacak olan piramit için gerekli miktarda alınarak birkaç damla %10’luk destrin çözeltisi ile nemlendirilir. Filtre edilmiş destrin çözeltisi berraktır ve içinde %0,1 derişiminde salisilik asit içermektedir. Bu asit şekil koruyucu olarak görev yapmaktadır. Düz bir tabaka üzerine yerleştirilen numunenin sıcaklığı dakikada 8 °C artırılarak kül numunesinin kritik sıcaklığı kaydedilir.



Şekil 2.9 Kül ergime testi kritik sıcaklıkları

*Başlangıç deformasyon sıcaklığı(IT)*; piramit şeklindeki numunenin tepesinde ilk yuvarlaklaşmanın görüldüğü sıcaklıktır. Piramidin tepesi sivri kaldığı sürece görülen büzülme ve eğilme ihmal edilir. Şekildeki birinci koni numunesinin başlangıç durumunda, ikinci ise başlangıç deformasyon sıcaklığındaki tipik bir koninin görüntüsünü vermektedir.

*Yumuşama sıcaklığı(ST)*; kül piramidin eriyerek küresel bir yığın oluşturduğu sıcaklıktır ve yükseklik taban genişliğine eşittir.

*Yarım küre sıcaklığı(HT)*; kül piramidin eriyerek yarım küre şeklinde bir yığın oluşturduğu sıcaklıktır ve yükseklik taban genişliğinin yarısına eşittir.

*Akma sıcaklığı(FT)*; erimiş kütlelerin yayılarak en fazla 1,6 mm yüksekliğinde düz bir tabaka oluşturduğu sıcaklıktır (Juniper, 2000).

Yumuşama sıcaklığına genellikle külün ergime sıcaklığı denir ve külün başlangıç deformasyonu ile akma durumu arasında gözlenmiş olan durumu ifade eder (Lopez ve diğer., 2004).

Külün demir içeriği yüksek olan kömürler 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 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 (Akar,2010).

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

Bazı Türk linyitlerinin kükürt, alkali metal (sodyum, potasyum gibi) içeriklerinin yüksek olması bunların aglomerasyon sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır (Ch Goni ve diğer., 2003).

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. CaO bakımından zengin kömür külünün normal koşullarda,  $899^\circ\text{C}$  olarak saptadıkları sinterleşme sıcaklığını  $599^\circ\text{C}$ 'ye düşüğünü saptamıştır (Lawrence ve diğer., 2008).

Baxter'a göre (Baxter, 1998) silikanın potasyum ile reaksiyona girmesinden sonra potasyum silikat oluşmaktadır ve potasyumun etkisi ile silikanın  $1700^\circ\text{C}$  olan ergime noktası  $750^\circ\text{C}$ 'ye düşer.

Anthony'e (Anthony, 2000) göre,  $\text{CaSO}_4$  kükürdün yanması sonucu ortaya çıkan  $\text{SO}_2$ 'i ve CaO'in reaksiyona girmesi sonucu oluşmaktadır. CaO'in reaksiyonu sonucu oluşan  $\text{CaSO}_4$ 'i oluşturma başlangıç sıcaklığı  $900 - 950^\circ\text{C}$ 'dir.

Kömür külündeki bazik oksitlerin toplamı, asidik oksitlerin toplamına oranını, külün curuf oluşturma eğiliminin göstergesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kömür külünün curuf oluşturma eğiliminin toz kömürdeki piritin miktarı ve tanecik boyutuyla da ilişkili olarak ifade edilebileceği savunulmaktadır. 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 (Akar, 2010).

Kömür yakma sistemlerinde yüksek sıcaklıklarda küllerin sinterleşmesi veya aglomerasyonu görünmektedir. Sinterleşme ve aglomerasyon olayları iç içe geöen olaylardır. Bazen aynı anlamda, bazen ise küllerin koklaşması sürecinin ardışık iki aşaması olarak görölmektedir. Bu nedenle kesin çizgilerle birbirinden ayrılmalari mümkün değildir (Akar, 2010).

Aglomerasyon, kül taneciklerinin birbirine yapışarak daha büyük bir kütleye dönüşmesi olayıdır. Oluşan kütleinin 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 (Gonia ve diğer., 2003).

Aglomerasyon temel olarak, taneciklerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Aglomerasyon eğilimi taneciklerin temas yüzeylerinin büyüklüğü ve birbirini çekme özellikleri ile orantılıdır (Gonia ve diğer., 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 (Estepve diğer. 1934).

Bu olay birbirinden farklı çeşitli aşamalardan geöerek gerçekleşir. Aglomerasyon taneciklerin teması ve yüzeyler arasında oluşan bağların büyümesi ile başlar ve taneciklerin birbirine yapışarak gözenekli bir ađ yapısı oluşturmasıyla son bulur. Zaman içinde, taneciklerin arasındaki bağlar gittikçe güçlenir ve yoğunlaşır. İç kısımlarda kalan gözenekler kapanır ve bağlar büyüyerek partikölün yapısını tamamen değiştirir. Sonunda kütle sürekli, yoğun bir materyal haline dönüşmektedir (Estep ve diğer. 1934).

Aglomerasyon olayının üç temel mekanizmaya göre gerçekleştiği belirtilmektedir. Bunlar aşağıda belirtildiği gibidir.

- Kısmi ergime,
- Kısmi ergime ve viskoz bir sıvının oluşumu,
- Kimyasal reaksiyonudur.

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 aglomerasyonunun derecesi, kömür külünün içerdiği inorganik maddenin faz denge hesaplaması ile tahmin edilebilir (Roger, 1928). Sodyum, kükürt ve klorür yönünden zengin kömürlerin yanma esnasında kül daha kolay ergidiği için aglomerasyon daha hızlı gerçekleşebilmektedir (Domazetis, 1985).

Vizkosite 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> uzaklaştırması amacıyla kullanılan kireç taşının yakma sistemlerinde curuf oluşumu esnasında partikül – partikül sinterleşmesini arttırdığı bunda SO<sub>2</sub> atmosferinde CaO bakımından zengin külde gerçekleşen çeşitli reaksiyonlara bağlı olarak gerçekleştiği açıklanmıştır (Rogers, 1928).

Kül taneciklerin yüzey alanı ve sıcaklıkları, aglomerasyonun ortaya çıkıp gelişmesinde önemli rol oynamaktadır. Bununla birlikte, yüksek sıcaklıklarda mineral maddelerin eriyerek yüzeye ulaşması sonucu, yapışkan bir özellik kazanan taneciklerin aglomerasyona neden oldukları savunulmaktadır. Ayrıca düşük

sıcaklıklarda bile oluşabilecek ötektik noktalar nedeniyle, kül taneciklerin birbirine yapışmalarını ve yakılan kömürlerde yüksek oranda Na ve K alkalilerinin bulunması, aglomerasyonu hızlandırıcı neden olarak görülmektedir.

Ayrıca linyitin tane büyüklüğü azaldıkça, linyitin cinsi ve çalışma koşullarına bağlı olarak aglomerasyon sıcaklığı sınırlı bir oranda azalmaktadır.



## **BÖLÜM ÜÇ**

### **DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE BULGULAR**

#### **3.1 Malzeme**

##### ***3.1.1 Numune Alma***

Bu tezde kullanılan kömür ve kazan içi curuf numuneleri; Muğla ilinde yer alan Kemerköy Termik Santrali ve Yeniköy Termik Santrallerinden alınmıştır.

Kömür numuneleri; Kemerköy Termik Santralinde kazana beslenecek mevcut öğütülmüş kömür numunesi olarak değirmen çıkışı numune alma haznesinden, Yeniköy Termik Santrallerinde ise bunker altı değirmen girişinden alınmıştır.

Curuf numuneleri; termik santrallerin kazan içi temizlikleri yapılırken kazan içersine girilerek farklı kotlardan alınmıştır.

##### ***3.1.2 Numune Hazırlama***

Kemerköy Termik Santralinden alınan kömür numuneleri öğütülmüş kömür olduğu için hiç bir numune hazırlama işlemine tabi tutulmadan direkt olarak ağzı kilitli poşetlerde etiketlenerek saklanmıştır. Yeniköy Termik Santralinden alınan numunelerinde ise oda sıcaklığında nemi alınmış kömür numuneleri halkalı değirmende üç saniye öğütülerek boyut küçültme işlemine tabi tutulmuştur ve öğütülmüş numuneler ağzı kilitli poşetlerde etiketlenerek saklanmıştır.

Kömür numunelerinin herbiri numune azaltma yöntemlerine uygun olarak miktarları azaltıldıktan sonra 700°C'de 6 saat yakıldıktan sonra kül haline getirilmiştir.

Curuf numuneleri ise minerolojik testler için agatta öğütülerek boyut küçültme işlemine tabii tutulmuş ve öğütülen numune ağzı kilitli poşetlerde etiketlenerek saklanmıştır.

Hazırlanan her bir numune asıl alınan numuneyi temsil edecek şekilde azaltılmıştır.

### 3.2 Metod ve Analiz Yöntemleri

Numunelerin kimyasal ve mineralojik yapısını belirlemek üzere numuneler birçok kimyasal ve mineralojik analizden geçirilmiştir. Uygulanan analizler bu bölümde ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

#### 3.2.1. Kimyasal Analiz Yöntemi

Kül numunelerinin her biri agatta öğütülerek tane boyutu yaklaşık 100 µm boyutunun altına düşürülmüştür.

*Elementer analiz;* Öğütülmüş numunelerden platin kroze içersine 0,25 g örnek tartılarak üzerine ağırlığının 10 katı ağırlığında lityum tetraborat ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) ilave edilmiş ve  $1000^\circ\text{C}$ 'de yaklaşık 1,5 saat fırında erimeye bırakılmıştır. Fırından çıkarılan krezeler desikatörde soğutularak 250 ml'lik beher içersine alındıktan sonra üzerine %10'luk 10 ml HCl ilave edilerek manyetik karıştırıcıda çözünme işlemi gerçekleştirilmiştir. Çözelti 250 ml lik balon jojeye aktarılarak 250 ml'ye tamamlanmış ve AnayltikJenaAG novAA 330 model atomik absorpsiyon spektrometresinde element derişimleri belirlenmiştir.

*Kükürt analizi;* 250 ml lik beher içersine yaklaşık 1 g numune tartılmış ve üzerine %10'luk 25 ml HCl ilave edilerek 15 dakika kaynatılmıştır. Kaynadıktan sonra yaklaşık 100 ml saf su ilave edilerek tekrar kaynamaya bırakılmıştır. Kaynadıktan sonra renk değişimi gözlenene kadar üzerine 1/1'lik amonyak karıştırarak ilave edilerek çöktürülmüştür. Filtre kağıdından (siyah bant) sıcak su ile 400 ml'lik behere süzölmüştür. Siyah bant üzerinde kalan çökelek sıcak su ile iyice yıkanmıştır. Süzölen sıvı kaynatılmıştır. Metinoranj indiktörü ile asitlendirilerek tekrar kaynatılmış ve kaynama noktasında 40 ml %10'luk  $\text{BaCl}_2$  karıştırarak ilave edilmiştir. 1 gece bekletildikten sonra çözelti 2 tane üst üste konmuş filtre kağıdından (mavi bant) süzölmüştür. Çökelek soğuk su ile iyice yıkanmıştır. Sabit tartımı getirilmiş platin kroze de  $700^\circ\text{C}$  de yakılmıştır ve aşağıda verilen formüle göre hesaplanmıştır;

$$\%SO_3 = (\text{platin kroze ağırlığı} + \text{BaSO}_4 - \text{boş platin kroze ağırlığı}) * (SO_3 / \text{BaSO}_4) * 100 / \text{başlangıçtaki tartım}$$

Kullanılmış olan linyit numunlerine ait ASTM standartlarına uygun olarak; nem (ASTM Standart – D3173 – 73), kül (ASTM Standart – D3174 – 73) ve ısı değer (ASTM Standart – D2015 – 66) tayinleri KEAŞ Kimya Labratuvarında yapılmıştır.

### 3.2.2 Minerolojik Analiz Yöntemi

Kazan içinden alınan curuf örneklerinin gerekli bölgelerinden alınan numuneler agatta 100 µm altına öğütülmüştür. KEAŞ'dan alınan curuf örneklerinin XRD analizleri DEÜ Mühendislik Fakültesi Malzeme ve Metalurji bölümünde Rigaku D/MAX – 2200/PC marka X – Ray cihazında tespit edilmiştir. YEAŞ'dan alınan curuf örneklerinin XRD analizleri İYTE Malzeme Araştırma Merkezinde Phillips X'Pert pro marka cihazda tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular ve değerlendirmeleri ilgili bölümde verilmektedir.

### 3.3 Deneysel Bulgular ve Değerlendirilmesi

Termik santrallerde yakılacak olan kömürün yanma karakterinin bilinmesi yanma sırasında oluşacak problemlerin önlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır.

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

Bu tez çalışmasında Kemerköy ve Yeniköy Termik Santrallerinde oluşan curufun, kullanılan kömür yapısı ile ilişkisi tespit edilmeye çalışılmıştır.

#### 3.3.1 Kömür Karakteristik Özellikleri

Linyite yapılan analiz sonuçların Tablo 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.1 Termik santrallerin kömür özellikleri

Santral Adı	Nem %	ORJ Kül %	AID cal/g	Kuru Kükürt %
Kemerköy Termik Santrali	32	28,9	1791	2,56
Yeniköy Termik Santrali	28,5	28,2	2072	3,40

1 kWh enerji için Kemerköy Termik Santrallerinde 1350 g kömür, Yeniköy Termik Santralinde 1016 g kömür kullanılmaktadır. Tablo 3.2’de 1 kWh enerji için kullanılan kömür miktarları ve özellikleri verilmektedir.

Tablo 3.2 Termik Santrallerde 1 kWh enerji için kullanılan kömür miktarı ve özellikleri

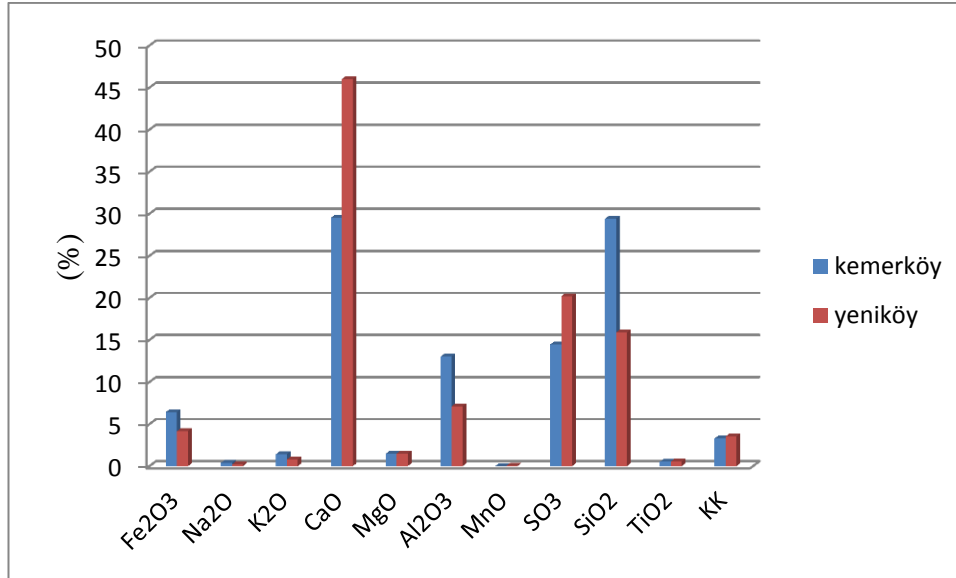
Santral Adı	Nem (g)	ORJ Kül (g)	Kuru Kükürt (g)	Kullanılan Kömür (g)
Kemerköy Termik Santrali	432	390,15	34,56	1350
Yeniköy Termik Santrali	289,56	286,5	34,54	1016

### 3.3.2 Kömür Külü Kimyasal Bileşimi

Numune hazırlama işleminden sonra yöntemlerine uygun olarak kimyasal analiz için alınan uçucu kül ve kömür numuneleri, bileşimlerindeki element miktarının belirlenmesi için, Bölüm 3.2.1’de detaylı olarak anlatıldığı şekilde kimyasal analize tabi tutulmuştur. Tablo 3.3’de Termik Santrallere ait kül numunelerinin kimyasal analiz sonuçları verilmektedir.

Tablo 3.3 Kömür külü numunelerinin kimyasal bileşimi

	Kemerköy Termik Santrali	Yeniköy Termik Santrali
CaO (%)	29,52	46,01
SiO <sub>2</sub> (%)	29,41	15,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	13,03	7,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,44	4,17
MgO (%)	1,48	1,51
SO <sub>3</sub> (%)	14,47	20,55
Na <sub>2</sub> O (%)	0,39	0,19
K <sub>2</sub> O (%)	1,42	0,81
TiO <sub>2</sub> (%)	0,52	0,54
MnO(%)	0,03	0,05
KK(%)	3,29	3,53



Şekil 3.1 Kömür külü numunelerinin kimyasal bileşimi

Tablo 3.2’de 1 kWh enerji için hesaplanan değerler kullanılarak kimyasal bileşimi gram cinsinden hesaplanarak Tablo 3.4’de verilmiştir.

Tablo 3.4 Kömür külü numunelerinin 1 kWh enerji için gerekli kimyasal bileşimi

	Kemerköy Termik Santrali	Yeniköy Termik Santrali
CaO (g)	115,17	131,82
SiO <sub>2</sub> (g)	114,70	45,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g)	50,84	20,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g)	25,16	11,95
MgO (g)	5,77	4,33
SO <sub>3</sub> (g)	56,45	57,84
Na <sub>2</sub> O (g)	1,52	0,54
K <sub>2</sub> O (g)	5,54	2,32
TiO <sub>2</sub> (g)	2,03	1,55
MnO(g)	0,12	0,14
KK(g)	12,84	10,11
TOPLAM (g)	390,15	286,5

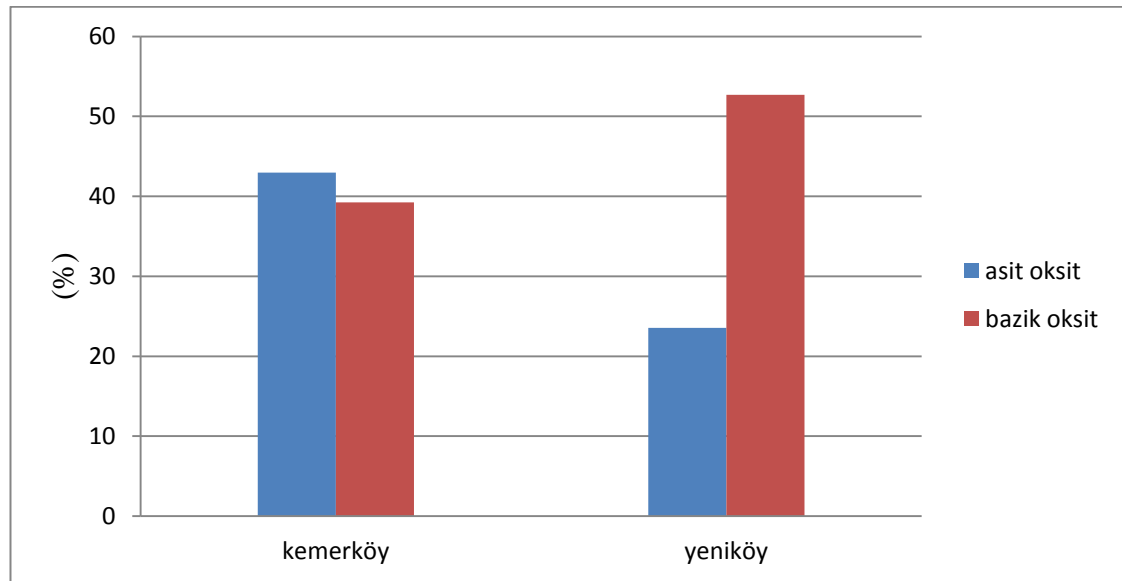
Tablo 3.4 Kemerköy Termik Santrali için önemli bir farkı ortaya koymaktadır. Kazan içerisinde curuflaşmada önemli rol oynayan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O yükleri

Kemerköy Termik Santralinde, Yeniköy Termik Santraline göre iki katından fazla görünmektedir. Buradan da Kemerköy Termik Santralinde daha ciddi curuflaşma problemleri yaşanmasının esas etkenleri olarak bu bileşenlerin önemli rol oynadığını söylemek mümkündür.

Kimyasal analiz sonuçlarından yola çıkarak Tablo 3.5’de verilmiş olan değerler tesbit edilmiştir. Bu değerler kömür külünün curuflanmaya olan eğilimini göstermektedir.

Tablo 3.5 Kömür külü numunelerinin curuflanma eğilim değerleri

	Kemerköy Termik Santrali	Yeniköy Termik Santrali
Silika Değeri	43,99	23,50
Baz/Asit (B/A) Oranı	0,91	2,24
Silika/Alumina Oranı	2,26	2,23
Demiroksit/Kalsiyumoksit	0,22	0,09
Demiroksit/Dolomit	0,21	0,09
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	1,81	1,00
Curuf İndeksi (Rs)	2,34	7,61



Şekil 3.2 Asit oksit ve bazik oksit değerleri

(%) Silika değerinin %86'dan büyük, %CaO'in %5'den küçük veya %40'dan büyük, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>' ün %6'dan küçük olması durumunda curuflanma eğiliminin düşük olduğunu ifade edilmektedir.

B/A oranının ve Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O değerinin, curuflanmaya olan eğiliminin değerlendirilmesi 3 derecede yapılmaktadır. Silika/Alumina Oranın ve Demiroksit/Kalsiyumoksit oranının, curuflanmaya olan eğiliminin değerlendirilmesi ise 2 derecede yapılmaktadır. Curuf İndeksi (Rs) değerinin curuflanmaya olan eğiliminin değerlendirilmesi de 4 derecede yapılmaktadır.

Tablo 3.6 Curuflanma eğilim dereceleri (Carpenter, 1998; Couch, 1994)

	Düşük	Orta	Yüksek	Şiddetli
B/A	<0,5	0,5 – 1	>1	-----
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	<0,3	0,3 – 0,4	>0,4	-----
Silika/Alumina	<0,3 veya >3	-----	0,3 – 3	-----
Demiroksit/Kalsiyumoksit	<0,3 veya >3	-----	0,3 – 3	-----
Curuf İndeksi (Rs)	<0,6	0,6 – 2	2 – 2,6	>2,6

Gray ve Moore'ye göre (Gray ve Moore, 1984), %86'dan büyük olan silika değerlerinin bulunduğu kömür küllerinde curuflanma eğiliminin düşük olduğu ifade edilmektedir. Santrallerde kullanılan kömür küllerinin silika değeri incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralının silika değeri; %43,99, Yeniköy Termik Santralının silika değeri; %23,50 olup istenenin çok altındadır. Her iki santralin de curuflanma eğilimi silika değerine göre yüksektir. Santraller arasında bir karşılaştırma yapılacak olursa, Kemerköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin silika değeri daha yüksek olup baz alınan değere daha yakındır. Buna göre Yeniköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin curuflanmaya olan eğilimi Kemerköy Termik Santralinde kullanılanlara göre daha yüksektir.

Seggiani'nin yaptığı araştırmaya göre (Seggiani, 1999), %CaO değerinin %5'in altında ve %40'ın üstünde olduğunda curuflanma eğiliminin düşük olduğu belirtilmektedir. Santrallerde kullanılan kömür küllerinin %CaO değeri incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralının CaO değeri; %29,52, Yeniköy Termik

Santralinin CaO değeri; %46,01'dir. Kemerköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin %CaO değeri baz alınan değer aralığında olduğu için curuflanmaya olan eğilimi yüksektir. Yeniköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin %CaO değeri baz alınan değer aralığının dışındadır ve curuflanmaya olan eğilimi Kemerköy Termik Santraline göre daha düşüktür. Bünyedeki Ca ergime derecesini düşürdüğü gibi silis ve kükürtle reaksiyona girerek farklı fazlar meydana getirmektedir.

%Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oranının etkisi konusunda ise Seggiani, %6'nın altında olması durumunda curuflanma eğiliminin düşük olduğunu ifade etmektedir (Seggiani, 1999). Santrallerde kullanılan kömür küllerinin %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralinin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri; %6,44, Yeniköy Termik Santralinin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri; %4,17'dir. Elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen değerler karşılaştırıldığında, Kemerköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri baz alınan değer üzerinde bir değer olduğu için curuflanmaya olan eğilimi yüksektir. Yeniköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri baz alınan değer altında bir değer olduğu için curuflanmaya olan eğilimi daha düşüktür.

Carpenter'ın yaptığı çalışmaya göre (Carpenter, 1998), Bazikoksit/Asitoksit oranı, 3 derecede değerlendirilmektedir. 0,5 in altında olduğunda düşük, 0,5 – 1 aralığında orta ve 1'in üzerinde olduğunda yüksek curuflanma eğiliminin olduğu belirtilmektedir. Santrallerde kullanılan kömür küllerinin Bazikoksit/Asitoksit oranı incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralinin Bazikoksit/Asitoksit oranı; 0,91, Yeniköy Termik Santralinin Bazikoksit/Asitoksit oranı; 2,24'dir. Elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen değerler karşılaştırıldığında Kemerköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin curuflanmaya olan eğiliminin orta derecede olduğu, Yeniköy Termik Santralinde kullanılan kömür küllerinin curuflanmaya olan eğiliminin ise yüksek olduğu görülmektedir.

Carpenter'a göre (Carpenter, 1998), Silika/Alümina oranı, 2 derecede değerlendirilmektedir. 0,3'ün altında veya 3'ün üzerinde olduğunda düşük, 0,3 – 3 aralığında olduğunda yüksek curuflanma eğiliminin olduğu belirtilmektedir. Santrallerde kullanılan kömür küllerinin Silika/Alümina oranı incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralinin Silika/Alümina oranı; 2,26, Yeniköy Termik

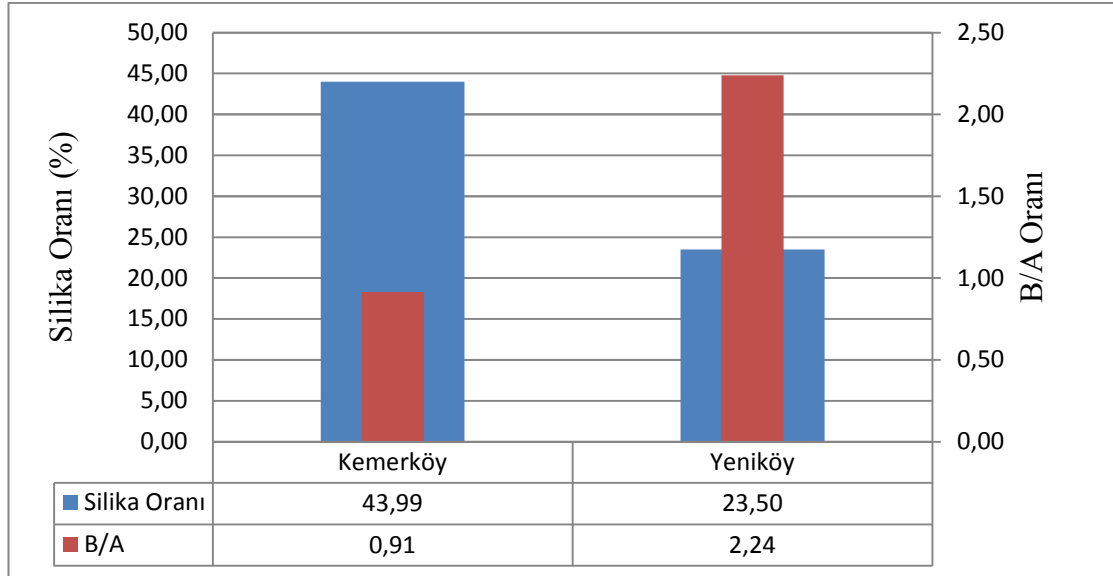


Santralinin Silika/Alümina oranı; 2,23'dir. Elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen değerler karşılaştırıldığında her iki santralin de curuflanmaya olan eğiliminin yüksek olduğu görülmektedir.

Carpenter'a göre (Carpenter, 1998), Demiroksit/Kalsiyumoksit oranı da, 2 derecede değerlendirilmektedir. 0,3'ün altında veya 3'ün üzerinde olduğunda düşük, 0,3 – 3 aralığında olduğunda yüksek curuflanma eğiliminin olduğu belirtilmektedir. Santrallerde kullanılan kömür küllerinin Demiroksit/Kalsiyumoksit oranı incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralinin Demiroksit/Kalsiyumoksit oranı; 0,22, Yeniköy Termik Santralinin Demiroksit/Kalsiyumoksit oranı; 0,09'dir. Elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen değerler karşılaştırıldığında, her iki santralin de curuflanmaya olan eğiliminin düşük olduğu görülmektedir.

Carpenter'a göre (Carpenter, 1998),  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  toplamı 3 derecede değerlendirilmektedir. 0,3'ün altında olduğunda düşük, 0,3 – 0,4 aralığında orta, 0,4'ün üzerinde olduğunda yüksek curuflanma eğiliminin olduğu belirtilmektedir. Santrallerde kullanılan kömür küllerinin  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  toplamı incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralinin  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  toplamı; 1,81, Yeniköy Termik Santralinin  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$  toplamı; 1,00'dir. Elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen değerler karşılaştırıldığında, her iki santralin de curuflanmaya olan eğiliminin yüksek olduğu görülmektedir.  $\text{Na}_2\text{O}$  ve  $\text{K}_2\text{O}$  bakımından yüksek olan linyitlerde aglomerasyon eğiliminin arttığı ve bu bileşenlerin aglomerasyon sıcaklığını düşürdüğü bilinmektedir.

Gray ve Moore'e göre (Gray ve Moore, 1984), Curuf İndeksi (Rs) 4 derecede değerlendirilmektedir. 0,6'nın altında olduğunda düşük, 0,6 – 2 aralığında orta, 2 – 2,6 aralığında yüksek ve 2,6'ın üzerinde olduğunda şiddetli curuflanma eğiliminin olduğu belirtilmektedir. Santrallerde kullanılan kömür küllerinin Curuf İndeksi (Rs) incelendiğinde, Kemerköy Termik Santralinin Curuf İndeksi (Rs); 2,34, Yeniköy Termik Santralinin Curuf İndeksi (Rs); 7,61'dir. Elde edilen sonuçlar ile literatürde verilen değerler karşılaştırıldığında, her iki santralin de curuflanmaya olan eğiliminin şiddetli olduğu görülmektedir.



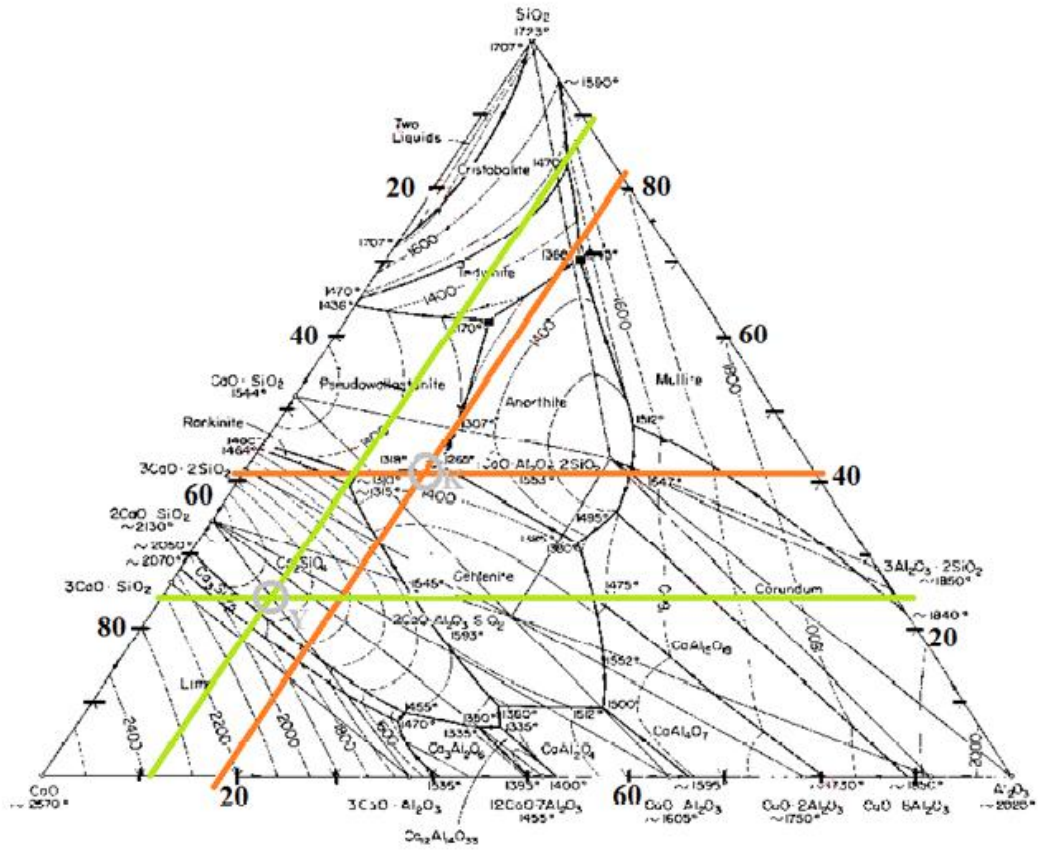
Şekil 3.3 Kömür küllerin silika oranı ile B/A dağılımı

Tablo 3.7 Termik santrallerin curuflenme eğiliminin karşılaştırılması (K=Kemerköy,Y=Yeniköy)

	Düşük	Orta	Yüksek	Şiddetli
Silika Değeri			K – Y	
% CaO	Y		K	
% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y		K	
Baz/Asit Oranı		K	Y	
Silika/Alumina Oranı			K - Y	
Demiroksit/Kalsiyumoksit	K – Y			
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O			K - Y	
Curuf İndeksi (Rs)				K – Y

Kömür külü kimyasal bileşime bağlı olarak yapılan hesaplamalar ile elde edilen indekslerden oluşturulan Tablo 3.5’den bir değerlendirme yapılır ise her iki termik santralde kullanılan kömür külünün curuflenme eğiliminin yüksek olduğu görülmektedir. Kendi aralarında karşılaştırıldığında ise Kemerköy Termik Santralinde kullanılan kömür külünün curuflenme eğilimi daha yüksektir.

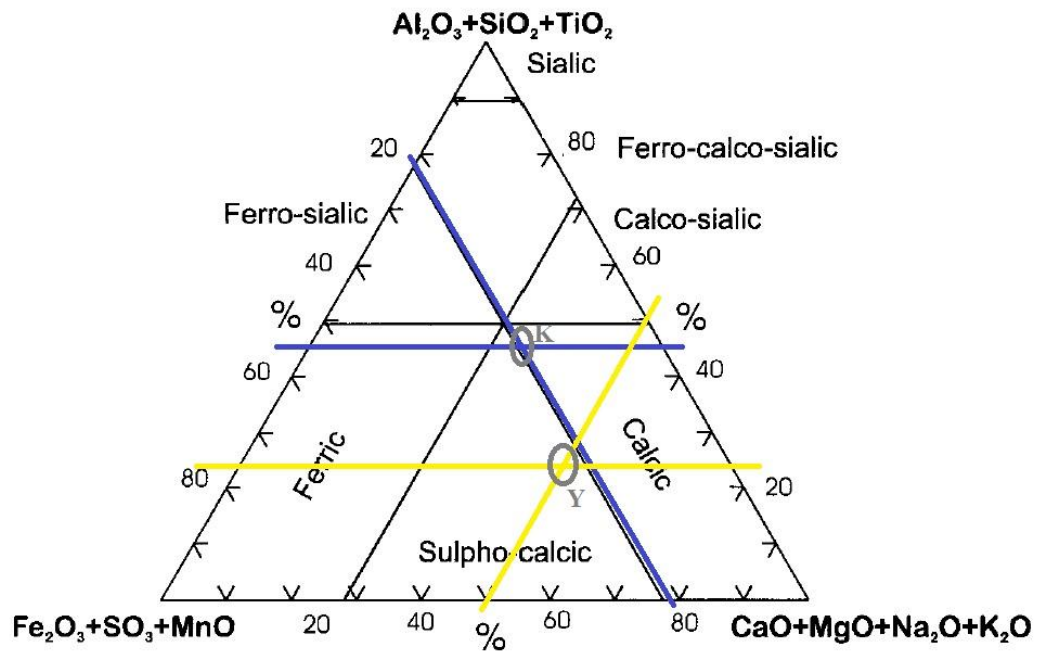
Russell ve arkadaşları (Russell ve diğer., 2002) Ternary Faz Diagramını (SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO) kullanarak kömür külü ergime sıcaklığını tesbit etmişlerdir.



Şekil 3.4 SiO<sub>2</sub> – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO Ternary faz diagramı

Bu faz diagramından yola çıkarak Kemerköy Termik Santrali külünün ana fazı; Anortit ve ergime derecesi 1265 – 1307 °C olarak tespit edilmiştir. Bu değer Akar'ın 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada aynı Santral küllerine uyguladığı ergime derecesi testi sonucu saptadığı değer olan 1250 °C ile örtüşmektedir.

Yeniköy Termik Santral külünün ana fazı Larnit ergime sıcaklığı 1300 -1455 °C olarak tespit edilmiştir. Bu değer Akar'ın 2010 yılında yapmış olduğu çalışmada aynı Santral küllerine uyguladığı ergime derecesi testi sonucu 1290 °C ile örtüşmektedir.



Şekil 3.5 Ternary faz diagramı

Şekil 3.5'deki Ternary faz diagramı değerlendirildiğinde Kemerköy Termik Santrali külünde  $SiO_2$  ve  $CaO$  değeri yüksek olduğu için ana fazı; Calcic olarak tespit edilmiştir. Calcic fazı olması nedeniyle curufun içerisinde; Wollastanit( $CaSiO_3$ ) ve Anortit ( $CaAl_2Si_2O_8$ ) beklenmektedir. Bölüm 3.3.3.2'de curuf numunelerine yapılan XRD analiz sonuçlarında bahsedilen fazlara rastlanmıştır.

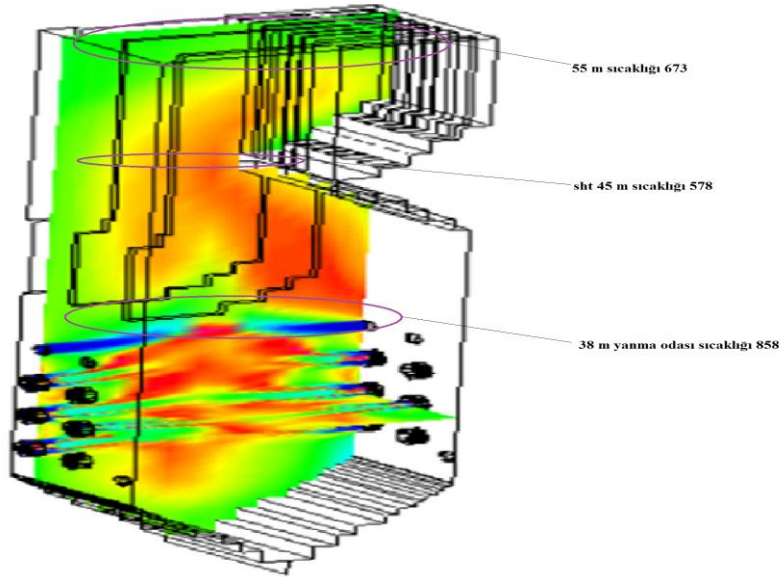
Yeniköy Termik Santrali külünde  $CaO$  ve  $SO_3$  değeri yüksek olduğu için ana fazı Sulpho – calcic olarak tespit edilmiştir. Sulpho – calcic fazı olması nedeniyle curufun içerisinde; Anhidrit( $CaSO_4$ )'in yanında Jips( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )'inde bulunması beklenmektedir. Bölüm 3.3.3.2'de curuf numunelerine yapılan XRD analiz sonuçlarında bahsedilen fazlara rastlanmıştır.

### 3.3.3 Termik Santral Kazan İçi Profilleri

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

Santrallerde kazan içinde oluşan curufun, kimyasal ve mineralojik yapısının belirlenmesi amacıyla santrallerin temizlenmesi sırasında kazan içinden farklı noktalardan numuneler alınmıştır.

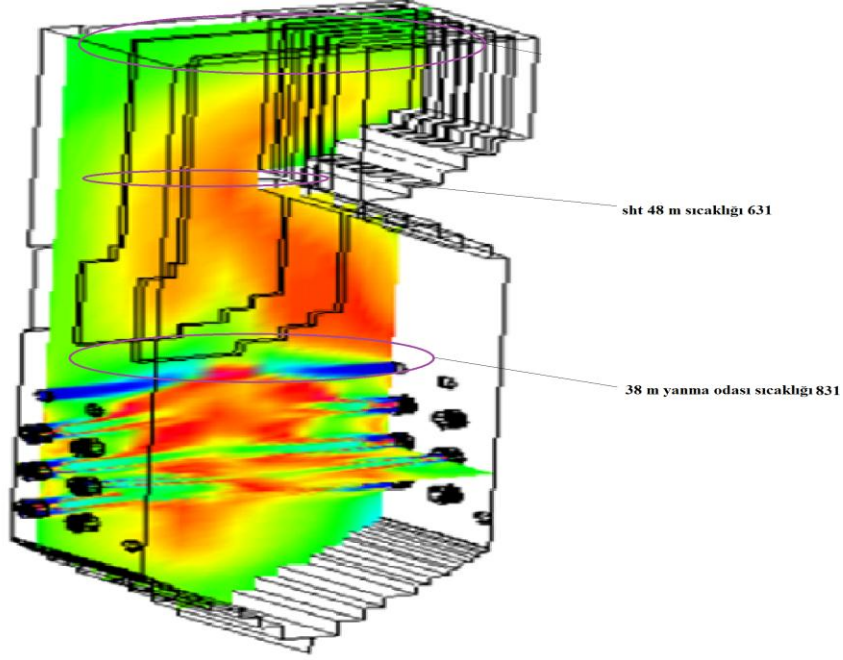
Kemerköy Termik Santralinde 14.m ekrandan, 43.m RHT kızdırıcıdan ve 56.m RHT kızdırıcıdan curuf numuneleri alınmıştır. Şekil 3.6'da Kazan içi sıcaklık ölçüm noktalarından alınmış sıcaklık değerleri görülmektedir. 38.m yanma odası sıcaklığı 858°C, 45.m SHT kızdırıcı bölgesi sıcaklığı 578°C ve çatı kızdırıcılarının bulunduğu 55.m sıcaklığı 673°C olarak ölçülmüştür (RHT= tekrar kızdırıcı boru paketleri, SHT= kızdırıcı boru paketleri). Alınan curuf numunelerinin kazan yüzeyine yapışmış kısımlarının kırmızımtırak içe doğru ise kahverengi ve sarımsı olduğu gözlemlenmiştir. Üst kotlara doğru curufların sertliğinin arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.6 Kemerköy Termik Santrali kazan içi sıcaklık değerleri (°C)

Yeniköy Termik Santralinde 43.m RHT kızdırıcıdan, 48.m RHT kızdırıcıdan ve 62.m en üst bölgeden curuf numuneri alınmıştır. Şekil 3.7'de kazan içi sıcaklık ölçüm noktalarından alınmış sıcaklık değerleri görülmektedir. 38.m yanma odası sıcaklığı 831°C ve 48. SHT kızdırıcı bölgesi sıcaklığı 631°C olarak ölçülmüştür (RHT= tekrar kızdırıcı boru paketleri, SHT= kızdırıcı boru paketleri). Alınan curuf numunelerinin kazan yüzeyine yapışmış kısımlarının kırmızımsı içe doğru ise

kahverengi ve grimsi olduğu gözlemlenmiştir. Üst kotlara doğru curufların sertliği arttığı söylenebilir.



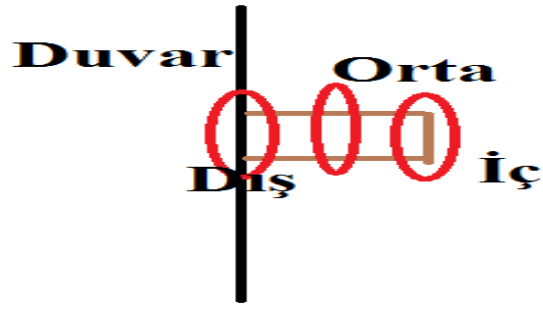
Şekil 3.7 Yeniköy Termik Santrali kazan içi sıcaklık değerleri (°C)

Kazan içinden yöntemine uygun olarak yüksekliğe bağlı olarak farklı noktalardan alınan numuneler analiz yapılmak üzere hazırlanmıştır.

Alınan tüm numunelerin minerolojik analizleri, minerolojik analiz sonuçlarında farklılık gösteren numunelerin ise kimyasal analizleri yapılmıştır. Elde edilen veriler ışığında kazan içi profilinin kimyasal ve minerolojik yapı dağılımları çıkarılmış ve curuflaşma değerlerinin grafikleri çizilerek değerlendirilmiştir.

### 3.3.3.1 Kimyasal Analiz Sonuçları

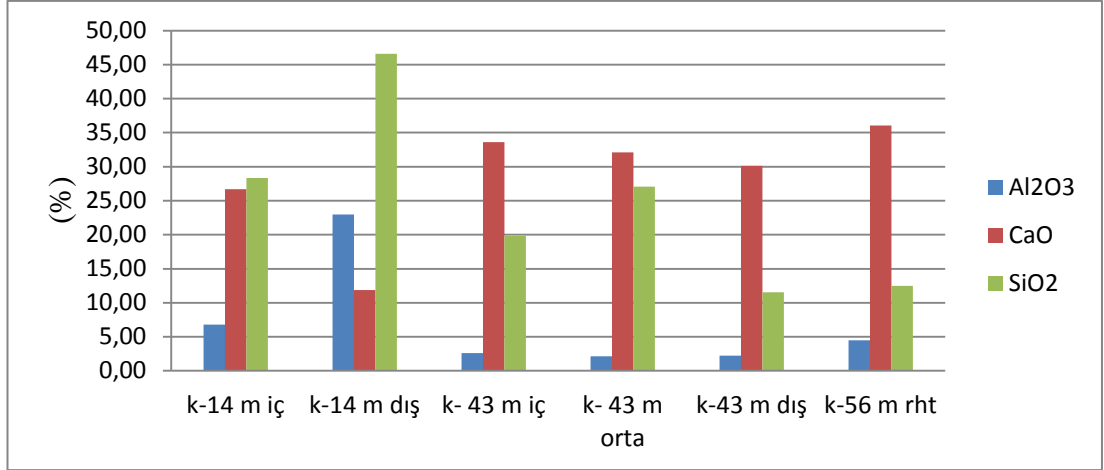
Kimyasal analizin yapılması uygun görülmüş Şekil 3.8'de belirtildiği gibi iç ve dış olarak ayrılmış numuneler kimyasal analiz boyutuna getirilmek için agatta öğütülmüştür ve 105°C'de etüvde kurutulduktan sonra, daha önce Bölüm 3.2.1'de anlatıldığı gibi kimyasal yapısı belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar Tablo 3.8'de verilmiştir.



Şekil 3.8 Curuf numuneleri isimlendirmesi

Tablo 3.8 Curuf numuneleri kimyasal analiz sonuçları

	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	SO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
K-14 iç	0,1	0,56	0,26	6,79	26,7	5,45	0,1	31,75	28,31
K-14 dış	0,06	0,40	0,11	22,95	11,9	3,14	0,1	14,78	46,6
K-43 iç	0,19	2,24	0,29	2,59	33,6	3,63	0,1	37,53	19,83
K-43 orta	0,12	1,84	0,31	2,12	32,1	2,93	0,1	33,38	27,09
K- 43 dış	0,22	3,07	0,28	2,25	30,1	3,68	0,1	48,72	11,54
K-56	0,11	0,68	0,41	4,50	36,1	4,11	0,1	41,53	12,49
Y-43	0,08	1,70	0,24	2,94	32,6	5,63	0,1	38,95	17,74
Y-48	0,04	0,88	0,27	2,46	35,6	3,03	0,1	38,24	19,39
Y-62 iç	0,05	0,45	0,43	4,75	28,6	4,87	0,1	51,72	8,97
Y-62 orta	0,02	0,28	0,07	1,95	33,6	2,11	0,1	55,27	6,61



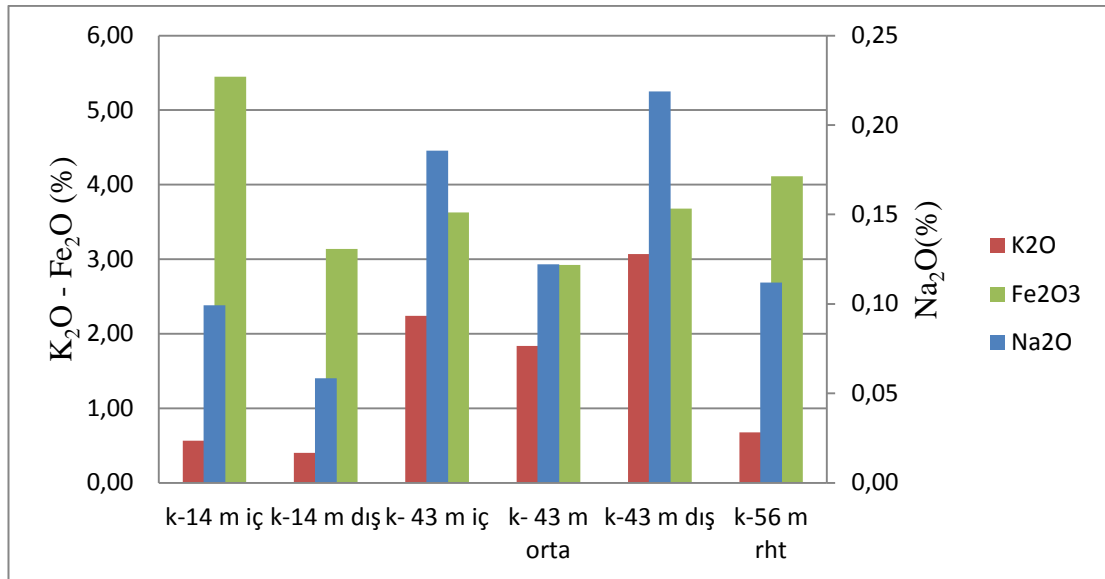
Şekil 3.9 Kemerköy Termik Santrali Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – CaO – SiO<sub>2</sub> dağılımı

Şekil 3.9 değerlendirildiğinde, CaO değeri sıcaklığın yüksek olduğu alt kotlarda daha düşüktür ve sıcaklık azaldıkça CaO değeri artmaktadır. Curuf numunelerinin kazan içine bakan kısımlarında CaO değeri daha fazladır. Ca ergime derecesini düşürdüğü gibi aynı zamanda silis ve silikatlı bileşiklerle de reaksiyona girerler. XRD sonuçlarında bulunan; Anortit (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), Wollastonit (CaSiO<sub>3</sub>) ve Gismondin (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>.4H<sub>2</sub>O)'in varlığı kalsiyumun silis ve silikatlı bileşiklerle de reaksiyona girmesinin göstergesidir.

Şekil 3.9 değerlendirildiğinde, SiO<sub>2</sub> değeri sıcaklığın yüksek olduğu alt kotlarda daha fazladır ve sıcaklık azaldıkça SiO<sub>2</sub> değeri sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır. SiO<sub>2</sub> tek başına curuflanmaya sebep olmamaktadır fakat mikron boyutundaki taneciklerinin biriken curufa çarpması sırasında K<sub>2</sub>O ve Na<sub>2</sub>O taneciklerinin yapışarak curuflanma mekanizmasına katıldığı düşünülmektedir. SiO<sub>2</sub>'nin bir kısmının CaO ile reaksiyona girdiği düşünülmektedir. Anortit (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>), Wollastonit (CaSiO<sub>3</sub>) ve Gismondin (CaAl<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>8</sub>.4H<sub>2</sub>O)'in varlığı bunu desteklemektedir.

Şekil 3.9 değerlendirildiğinde, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri sıcaklığın yüksek olduğu alt kotlarda daha fazladır.



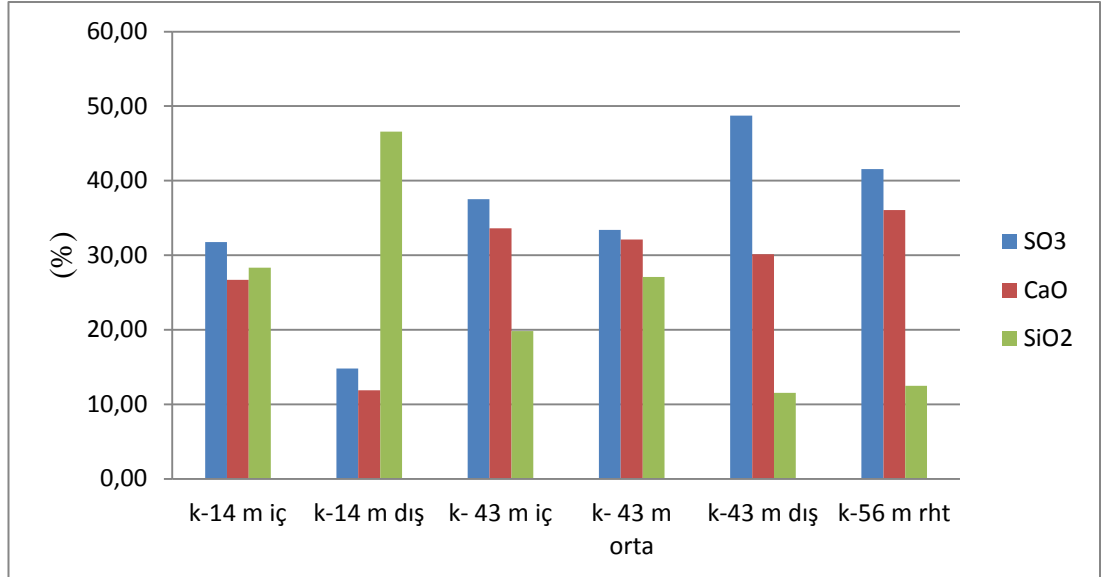


Şekil 3.10 Kemerköy Termik Santrali Na<sub>2</sub>O – K<sub>2</sub>O – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dağılımı

Şekil 3.10 değerlendirildiğinde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde daha fazladır. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'nin ergime noktasının düşük olması, alt kotlarda curuf içersinde daha fazla bulunmasını açıklamaktadır. Kazan içersinde redükleyici ortam olduğu zaman buharlaşan demirli bileşiklerin varlığı asılma olarak tabir edebileceğimiz kuru yapışma sonucu kazan içersinde kül birikmesine neden olduğu düşünülmektedir. Kömür külü Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerlerine bakıldığında, Kemerköy Termik Santralinin %6,44, Yeniköy Termik Santralinin %4,17 olduğu görülmektedir fakat curuf numunlerinde Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değeri en fazla %5,45, en az ise %2,93'dür. Curuf ve kömür külü arasındaki bu farkın piritten kaynaklandığı söylenebilir. Piritler oksitlenerek FeO ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'e dönüşmekte ve erimiş silikanın ağırlık oranını düşürmektedir.

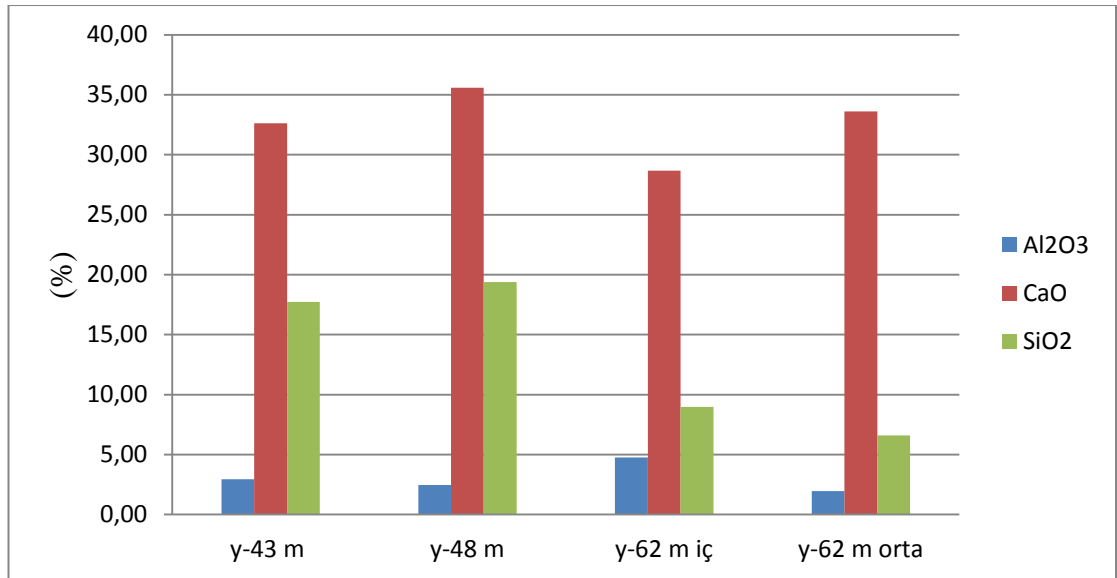
Şekil 3.10 değerlendirildiğinde Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O değerleri sıcaklık azaldıkça azalmaktadır. Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O, kömürü oluşturan minerallerden buharlaşma yolu ile ayrışması ile açığa çıkarlar. Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O buharlaştıktan sonra kazan yüzeyine yoğunlaşarak yapışmaktadır. Hareket eden gazın içersinde bulunan mikron boyutundaki silisli parçacıklar yoğunlaşmış olan Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O tarafından tutulmaktadır. 43.metredeki değerin yüksek olmasının sebebi, Na<sub>2</sub>O ve K<sub>2</sub>O'un yüksek sıcaklıkta buharlaşması ve uygun sıcaklığı bulduğunda damlacıklar halinde düşerek birikmesinin olduğu düşünülmektedir. XRD sonuçlarında 43. metrede Sanadin

$((Na,K)AlSi_3O_3)$ 'e rastlanması bunu desteklemektedir. Curuf içerisindeki  $Na_2O$  ve  $K_2O$  içeriği ise aglomerasyon sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 3.11 Kemerköy Termik Santrali  $SO_3$  –  $CaO$  –  $SiO_2$  dağılımı

Şekil 3.11 değerlendirildiğinde, curuflanma mekanizmasının ana nedenin  $SO_3$  olduğu görülmektedir.  $CaO$  ile reaksiyona girerek  $CaSO_4$ 'ü oluşturur.



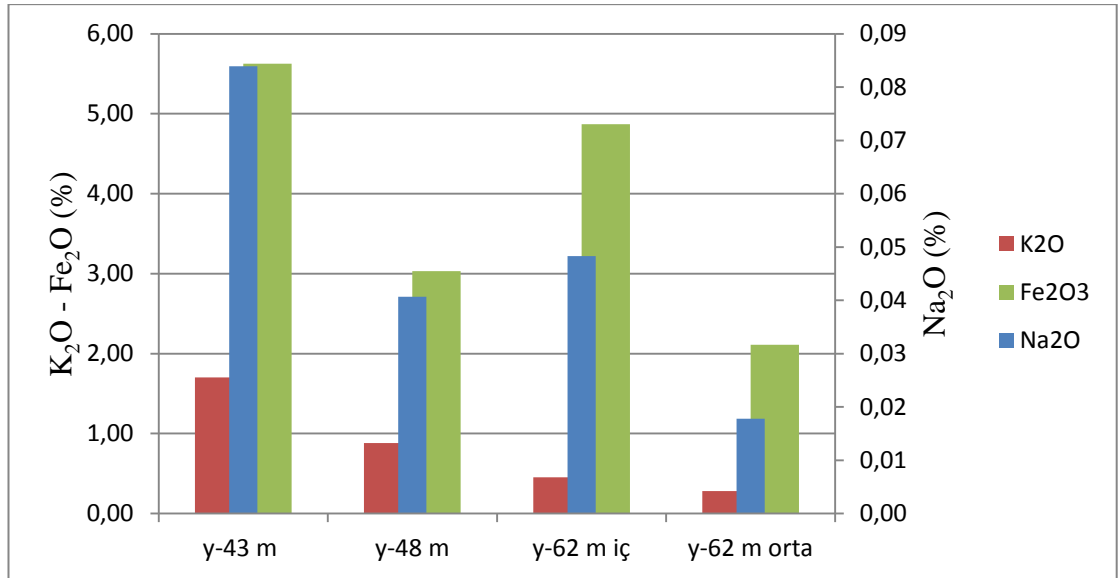
Şekil 3.12 Yeniköy Termik Santrali  $Al_2O_3$  –  $CaO$  –  $SiO_2$  dağılımı

Şekil 3.12 değerlendirildiğinde,  $CaO$  değeri sıcaklığın yüksek olduğu alt kotlarda daha azdır. Sıcaklığın düşük olduğu en üst kottan alınan curuf numunesinin kazan

içine bakan kısmında CaO değeri daha azdır. Ca ergime derecesini düşürdüğü gibi aynı zamanda silis ve silikatlı bileşiklerle de reaksiyona girerler. XRD sonuçlarında bulunan; Anortit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), Wollastonit ( $\text{CaSiO}_3$ ) ve Gismondin ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )'in varlığı kalsiyumun silis ve silikatlı bileşiklerle de reaksiyona girmesinin göstergesidir.

Şekil 3.12 değerlendirildiğinde,  $\text{SiO}_2$  değeri sıcaklığın yüksek olduğu alt kotlarda daha fazladır ve sıcaklık azaldıkça  $\text{SiO}_2$  değeri sıcaklığa bağlı olarak azalmaktadır.  $\text{SiO}_2$  tek başına curuflanmaya sebep olmamaktadır fakat mikron boyutundaki taneciklerin biriken curufa çarpması sırasında  $\text{K}_2\text{O}$  ve  $\text{Na}_2\text{O}$  taneciklerinin yapışkan gibi yapışarak curuflanma mekanizmasına katıldığı düşünülmektedir.  $\text{SiO}_2$ 'nin bir kısmının da CaO ile reaksiyona girdiği düşünülmektedir. Anortit( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ), Wollastonit( $\text{CaSiO}_3$ ) ve Gismondin( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )'in varlığı bunu desteklemektedir.

Şekil 3.12 değerlendirildiğinde,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  değeri sıcaklığın düşük olduğu üst kotlarda daha fazladır.

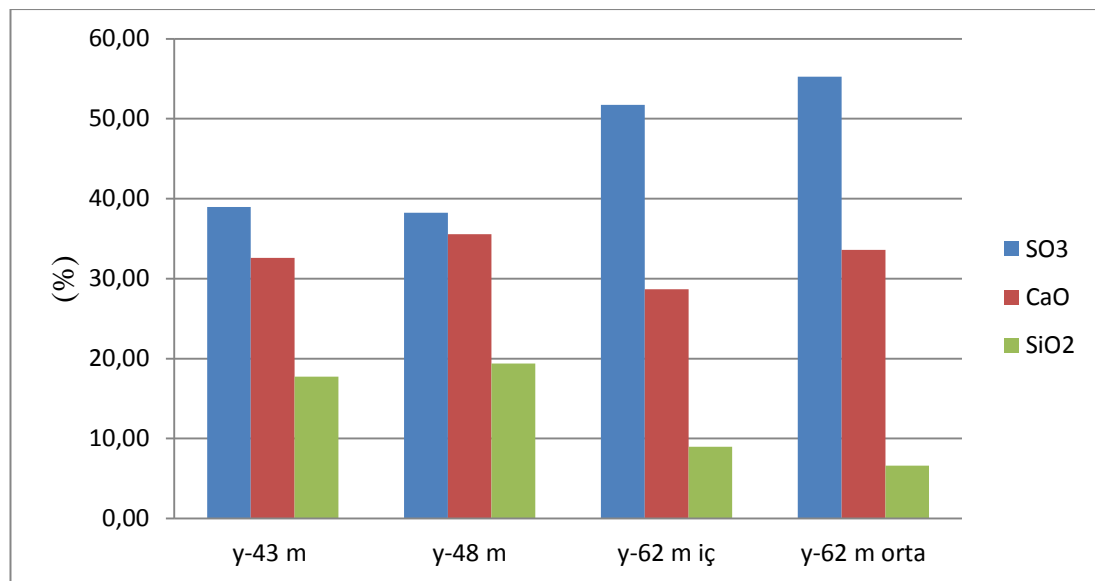


Şekil 3.13 Yeniköy Termik Santrali  $\text{Na}_2\text{O} - \text{K}_2\text{O} - \text{Fe}_2\text{O}_3$  dağılımı

Şekil 3.13 değerlendirildiğinde,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  değeri sıcaklığın yüksek olduğu bölgelerde daha fazla olduğu görülmektedir. Kazan içerisinde redükleyici ortam olduğu zaman buharlaşan demirli bileşiklerin varlığı asılma olarak tabir edebileceğimiz kuru

yapışma sonucu kazan içerisinde kül birikmesine neden olduğu düşünülmektedir. Kömür külünün  $Fe_2O_3$  değerlerine bakıldığında Kemerköy Termik Santralinin; %6,44, Yeniköy Termik Santralinin %4,17 olduğu görülmektedir. Bunun yanında curuf numunlerinde  $Fe_2O_3$  değeri en fazla %5,45, en az ise %2,93'dür. Curuf ve kömür külü arasındaki bu farkın piritten kaynaklandığı düşünülmektedir.

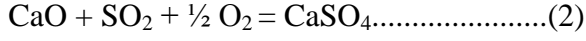
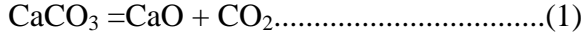
Şekil 3.13 değerlendirildiğinde,  $Na_2O$  ve  $K_2O$  değerlerinin sıcaklık azaldıkça azaldığı görülmektedir.  $Na_2O$  ve  $K_2O$ , kömürü oluşturan minerallerden buharlaşma yolu ile ayrışması ile açığa çıkarlar.  $Na_2O$  ve  $K_2O$  buharlaştıktan sonra kazan yüzeyine yoğunlaşarak yapışmaktadır. Hareket eden gazın içerisinde bulunan mikron boyutundaki silisli parçacıklar yoğunlaşmış olan  $Na_2O$  ve  $K_2O$  tarafından tutulmaktadır.  $Na_2O$  ve  $K_2O$  yüksek sıcaklıkta buharlaşmakta ve uygun sıcaklığı bulduğunda damlacıklar halinde düşerek birikmektedir. Curuf içerisindeki  $Na_2O$  ve  $K_2O$  içeriği aglomerasyon sıcaklıklarının düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 3.14 Yeniköy Termik Santrali  $SO_3$  –  $CaO$  –  $SiO_2$  dağılımı

Şekil 3.14'de bakıldığında,  $SO_3$  değerinin sıcaklık azaldıkça arttığı görülmektedir.  $SO_3$  ile  $CaO$  reaksiyona girerek Anhidriti ( $CaSO_4$ )'ü oluşturmaktadır. Kazanın en üst bölgesinde birikmiş olan su buharı ile  $CaO$  ve  $SO_3$ 'ün birleşmesi ile Jips( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) meydana gelmekte ve bu bölgeden alınan curuf numunelerinin sertliğinin sebebinin bu olduğu düşünülmektedir. Anthony ve Jia (Anthony ve Jia,

2000) Anhidrit oluşum mekanizmasının aşağıdaki kimyasal reaksiyona göre ifade etmektedirler.



Kömürde bulunan  $\text{CaCO}_3$ , yanma esnasında  $\text{CaO}$ 'e dönüşmektedir. Tablo 3.4'deki değerlere göre oluşan  $\text{CaO}$  bünyede yeterli miktarda S bulunduğu takdirde öncelikli olarak S ile tepkimeye girmektedir. S'in yeterli olarak bulunmadığı noktalarda  $\text{CaCO}_3$  halinde bulunduğunu söylemek mümkündür.

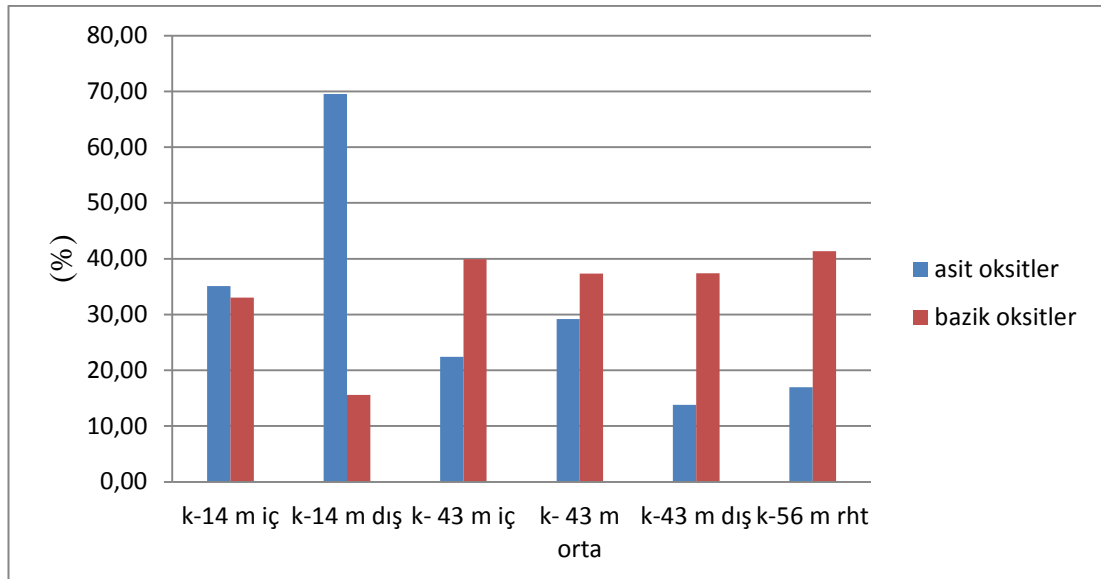
Yapılan kimyasal ve mineralojik analizler sonucunda her iki termik santralde de curufunmanın ana sebebinin kömür bünyesinde bulunan S olduğu söylenebilmektedir.

Kazan içersinde oluşan bu tabaka ısı transferini etkilemektedir. Bunun sonucu olarak ısı yoğunlaşması meydana gelmektedir. Bu yoğunlaşma aşağıdan yukarıya doğru artmaktadır ve bu üst kotlardan alınan numunelerin daha gevrek olmasının sebebidir.

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

Tablo 3.9 Kemerköy Termik Santrali asit oksit-bazik oksit sonuçları

	K-14 m iç	K-14 m dış	K-43 m iç	K-43 m orta	K-43 m dış	K-56 M
Asit oksitler	33,10	69,55	22,43	29,21	13,79	16,99
Bazik oksitler	33,05	15,57	39,94	37,31	37,39	41,38
B/A	0,94	0,22	1,78	1,28	2,71	2,44



Şekil 3.15 Kemerköy Termik Santrali curuf numunleri asit oksit-bazik oksit dağılım grafiği

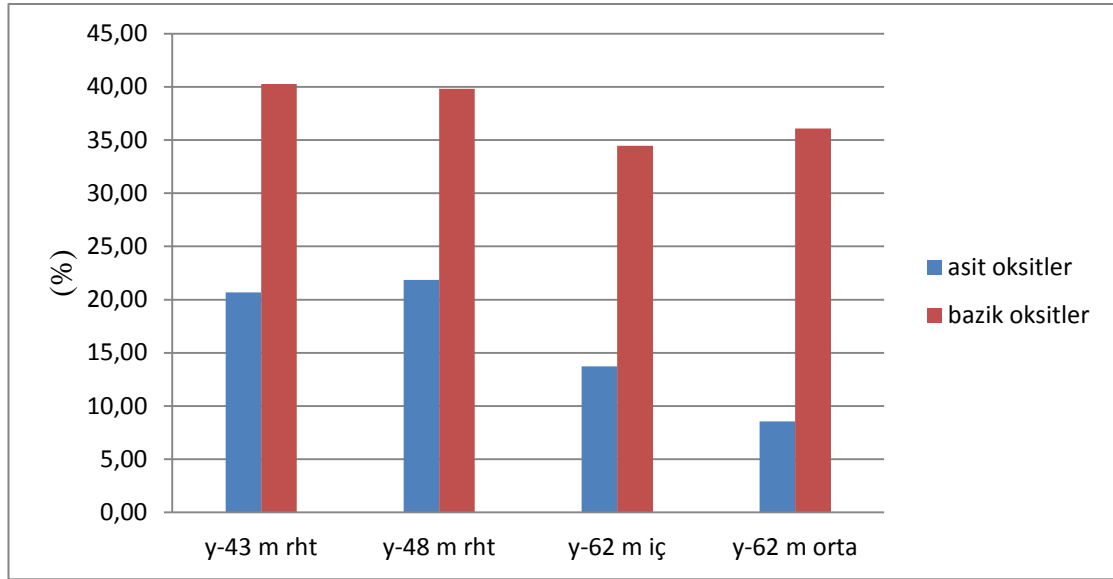
Tablo 3.9 ve Şekil 3.15'e bakıldığı zaman asit oksitlerin oranının yükseklik artıka azaldığı bununla birlikte aynı yükseklikte içten dışa doğru bakıldığında bu oranının arttığı görülmektedir. Bazik oksit oranları yüksekliğe bağlı olarak artmakta, aynı yükseklikte içten dışa doğru azalma göstermektedir. Asit oksitlerin oranı, sıcaklığa bağlı olarak; sıcaklığın yüksek olduğu alt bölgelerde daha fazladır, sıcaklık azaldıkça azalma görülmektedir. Bazik oksitlerin oranı, sıcaklığın yüksek olduğu alt bölgelerde daha düşük iken, sıcaklık azaldıkça artma görülmektedir.

Tablo 3.10 Yeniköy Termik Santrali Asit Oksit – Bazik Oksit sonuçları

	Y-43 m iç	Y-48 m orta	Y-62 m iç	Y-62 m orta
Asit oksitler	20,68	21,86	13,72	8,55
Bazik oksitler	40,27	39,80	34,46	36,08
B/A	1,95	1,82	2,51	4,22

Tablo 3.10 ve Şekil 3.16'ya bakıldığı zaman asit oksit oranlarının orta noktalarda en yüksek olduğu, yükseklik artıka oranın azaldığı, aynı yükseklikte içten dışa oranın arttığı görülmektedir. Bazik oksit oranları yüksekliğe bağlı olarak azalmaktadır, bununla birlikte aynı yükseklikte içten dışa doğru artmaktadır. Asit oksitlerin oranı, sıcaklığa bağlı olarak; sıcaklığın yüksek olduğu alt bölgelerde daha

fazla iken sıcaklık azaldıkça da azalma görülmektedir. Bazik oksit oranları, sıcaklığın yüksek olduğu alt bölgelerde daha az iken sıcaklık azaldıkça artmaktadır.



Şekil 3.16 Yeniköy Termik Santrali curuf numunleri asit oksit-bazik oksit dağılım grafiği

### 3.3.3.2 XRD Analiz Sonuçları

Farklı kotlardan alınmış curuf numuneleri XRD analizleri Bölüm 4.2.2’de belirtildiği şekilde yapılmıştır.

Her iki santralden alınan curuf örneklerinin ana piki Anhidrit olmakla beraber her iki santralde anhidrit dışında ortak olarak Kuvars ( $\text{SiO}_2$ ), Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Manyetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), Anortit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) bulunmaktadır.

Kemerköy Termik Santralinin curuf numunelerinde Wollostonit ( $\text{CaSiO}_3$ ), Gismondin ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ) ve Sanadin ((Na, K)  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ) bulunmasının sebebi  $\text{SiO}_2$  değerinin yüksek olmasına bağlanabilir. Ayrıca orta kottaki Sanadinin ((Na, K)  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ ) varlığı orta noktada sıcaklığının düştüğünü göstermektedir.

Yeniköy Termik Santralinin curuf numunelerinde CaO ve Jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) bulunmasının sebebi CaO değerinin yüksek olmasına bağlanabilir.

Tablo 3.10 Curuf numuneleri XRD sonuçları

	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit	gsmöndin	Gips	CaO
K-14 ekran iç	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit	gsmöndin		
K-14 ekran dış	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit	gsmöndin		
K-28 ekran iç	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit			
K-28 ekran dış	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit			
K-28 ekran orta	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit			
K-43 m rht kızdırıcı iç	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit	sanadin		
K-43 m rht kızdırıcı dış	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit	sanadin		
K-43 m rht kızdırıcı orta	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit	sanadin		
K-56 m rht kızdırıcı iç	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit			
K-56 m rht kızdırıcı dış	Anhidrit	Anortit	kuvars	wollostonit	hematit	manyetit			
Y-43 m rht kızdırıcı iç	Anhidrit	Anortit	kuvars		hematit				
Y-43 m rht kızdırıcı dış	Anhidrit	Anortit	kuvars		hematit				
Y-48 m rht kızdırıcı iç	Anhidrit		kuvars		hematit			Gips	CaO
Y-48 m rht kızdırıcı dış	Anhidrit		kuvars		hematit			Gips	CaO
Y-62 m rht kızdırıcı iç	Anhidrit		kuvars		hematit			Gips	CaO
Y-62 m rht kızdırıcı dış	Anhidrit		kuvars		hematit			Gips	CaO
Y-62 m rht kızdırıcı orta	Anhidrit		kuvars		hematit			Gips	CaO



## BÖLÜM DÖRT SONUÇ

Bu tez kapsamında ülkemizin enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulmuş olan, düşük kalorili linyit kömürleri ile çalışan pulverize kömür yakma sistemi ile elektrik üreten Kemerköy ve Yeniköy Termik Santrallerinin kazan içi curuflaşma problemleri ve kömür özellikleri ile ilişkisi araştırılmıştır.

Sonuç olarak;

Kömürün curuflanmaya olan eğiliminin kömür külünün içerdiği kimyasal kompozisyona bağlı olduğu yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür. Çalışmada incelenen Termik Santrallerin yakma sistemleri aynıdır. Küllerin kimyasal yapısındaki farklılığın yanma koşullarının yanında kömürün kimyasal kompozisyonundaki farklılıktan kaynaklandığı söylenebilir. Yanma sırasında kömürün inorganik yapısı değişime uğramakta bu da oluşan küldeki kimyasal yapıyı etkilemektedir.

Santrallerden alınan kömür örnekleri laboratuvar şartlarında kül haline getirilmiş ve daha sonra kimyasal analiz sonuçları kullanılarak curuflanma eğilimleri tespit edilmiştir.

Kemerköy Termik Santralinde kullanılan kömür külünün curuflanmaya olan eğiliminin; silika değerine göre yüksek olduğunu, %CaO değerine göre yüksek olduğunu, %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerine göre yüksek olduğu, Silika/Alümina oranına göre yüksek olduğunu, Demiroksit/Kalsiyumoksit oranına göre düşük olduğunu, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O toplamına göre yüksek olduğunu ve Curuf İndeksine (Rs) göre şiddetli olduğunu söylemek mümkündür.

Yeniköy Termik Santralinde kullanılan kömür külünün curuflanmaya olan eğiliminin; silika değerine göre yüksek olduğunu, %CaO değerine göre daha düşük olduğunu, %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> değerine göre daha düşük olduğu, Silika/Alümina oranına göre yüksek olduğunu, Demiroksit/Kalsiyumoksit oranına göre düşük olduğunu, Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O toplamına göre yüksek olduğunu ve Curuf İndeksine (Rs) göre şiddetli olduğunu söylemek mümkündür.

Kemerköy ve Yeniköy Termik Santrallerinde kullanılan kömür külünün bazik oksit oranı yüksektir. Bu nedenden dolayı yanma sırasında curuflanmaya olan eğilimleri oldukça fazladır. Curuflanma indeksinde etkili olan parametrelerden birinde kükürt olduğu düşünülmektedir ve her iki termik santralin de curuflanmaya olan eğilimini kükürtün varlığını arttırmaktadır. Kömür külündeki sodyum ve potasyum alkalileri de her iki termik santralinde curuflanmayı etkileyen bileşenlerdendir.

Yapılan analizler sonucunda; kazan içerisinde curuflaşmada önemli rol oynayan  $Fe_2O_3$  ile  $Na_2O$  ve  $K_2O$  yükleri Kemerköy Termik Santralinde, Yeniköy Termik Santraline göre iki katından fazla görünmektedir. Buradan da Kemerköy Termik Santralinde daha ciddi curuflaşma problemleri yaşanmasının esas etkenleri olarak bu bileşenlerin önemli rol oynadığını söylemek mümkündür.

Her iki Santralin curuf numunelerine yapılan XRD sonuçlarına göre ana pikin Anhidrit ( $CaSO_4$ ) olduğu görülmektedir. Yapılan XRD sonuçları ve diğer analiz sonuçlarından, her iki Termik Santralin de curuflanma ana nedeninin kükürt olduğunu söylemek mümkündür. Kömürde bulunan  $CaCO_3$  yanma esnasında  $CaO$ 'e dönüşmektedir.  $CaO$  bünyede yeterli miktarda kükürt bulduğu takdirde öncelikli olarak kükürtle tepkimeye girmektedir. Kükürtün yeterli olarak bulunmadığı noktalarda kalsiyumkarbonat halinde bulunduğunu söylemek mümkündür.

Kemerköy Termik Santralinde kullanılan kömürün curuflanmaya olan eğiliminin Yeniköy Termik Santralinde kullanılan kömüre göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

## KAYNAKLAR

- Akar G. (2001). *Kömür külü atık sahalarından oluşacak olan ağır metal kirlenmesinin belirlenmesi*. İzmir: DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Akar G. (2010). *Kömür mineral madde içeriğinin yanma prosesindeki etkilerinin incelenmesi*. İzmir: DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Alpern B. ve Nayhuys J. (1984). Mineral matter in ash and nonwashable coal – its influence on chemical properties, *Geol Portugal*, 299 – 317 .
- Anthony, E.J., Jia, L., (2000). Agglomeration and strength development of deposits in CFBC boilers firing high – sulfur fuels *Fuel* 79, (2000) 1933 – 1942.
- Baba, A. (2000) Doktora Tezi, İzmir: DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi.
- Baxter, L. (1998). Influence of ash deposit chemistry and structure on physical and transport properties. *Fuel* 56, (1998) 81 – 88.
- Berkowitz, N. (1985). *The chemistry of coal*. Amsterdam: Elsevier Science Publisher.
- Bryant, G.W., Browning, G.J., Emanuel, H., Gupta, S.K., Gupta, R.P., Lucas, J.A. ve Wall, T.F., (2000). The fusibility of blended coal ash. *Energy ve Fuels* 14, 316 – 325
- Carpenter, A.M. (1998). *Switching to cheaper coals for power generation*, London IEA, Coal Reasearch.
- Couch G. (1994) *Understanding slagging and fouling in pf combustion*. London: Coal Reasearch.
- Demirbilek, S. (1987). Kömür kullanımı ile ilgili çevre kirlenmesi. *Madencilik*, (26) sayı 3.
- Domazatis, G. (1984). *Ash formation from inorganics in Victorian brown coal*. Proceeding of the 1985 Internatiol Conference on Coal Science. 389

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi *Türkiye Enerji Raporu*, 2007 – 2008  
ISSN: 1301 – 6318 Ankara.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi *Türkiye Enerji Raporu*, 2009 ISSN: 1301  
– 6318 Ankara.

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi *Türkiye Enerji Raporu*, 2010 ISSN: 1301  
– 6318 Ankara.

Estep, T.G., Seltz, H., Bunker, H.L. (1934). Mining and met. advisory boards, coop.  
bull, (62) 47.

Gonia, Ch. Hele, S. Garcia X., Gordon, B., Para, R., Kelm, U., Jimenez, C. ve  
Alfora, G. (2003). Coal blend combustion; fusibility ranking from mineral matter  
composition. *Fuel*, (82) 2087 – 2095.

Gray, R.J. ve Moore, G.F. (1984). *Burning the sub – bituminous coals of Montana  
and Wyoming in large utility boilers*. (ASME 74 – WA/Fu – 1)

Heper, Y., (2001). *Buhar Santralleri Teorisi ve Uygulaması*, Ankara: ODTÜ  
Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş – METU Press

Himus, G.W., (1958). *The element of fuel technology*. Leonard hill limited, London.

IEA, International Energy Agency, (2010). *World energy outlook*.

Jenkins, R.G., Walker, P.L., (1978). *Analytical methods for coal products*, 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

KEAŞ Kemerköy Elektrik Üretim ve Ticaret A.Ş. Genel Müdürlüğü, (1999). *Tanıtım  
dosyası*.

Kemal, M. ve Arslan, V. (2005). *Kömür Teknolojileri*, İzmir: D.E.Ü Mühendislik  
Fakültesi Matbaası.

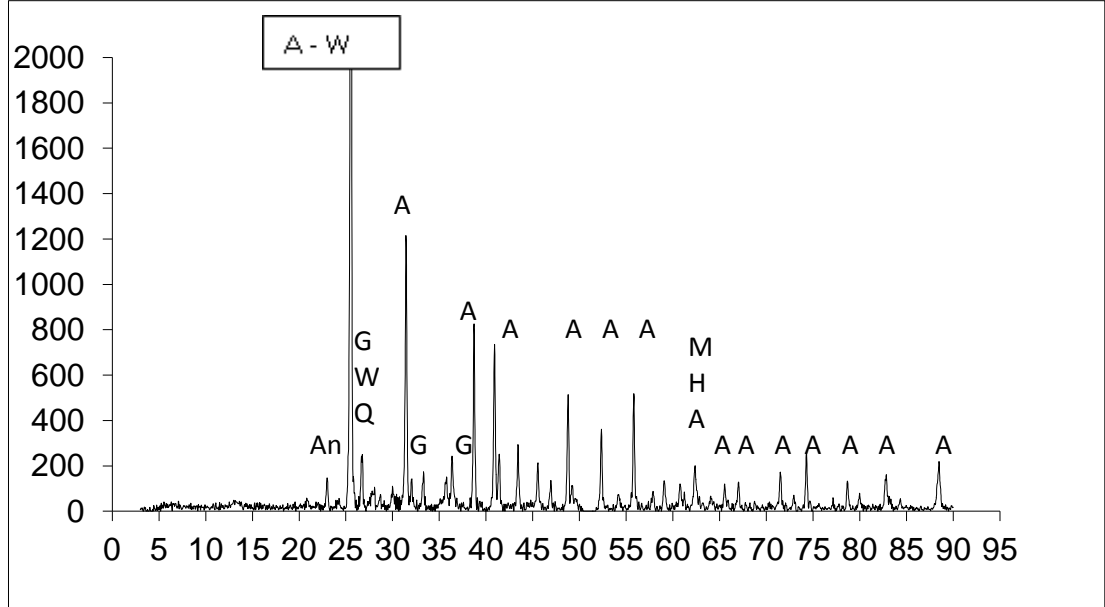
- Kemezy, M. ve Taylor, G.H. (1964). *Symposium on the inorganic constituents of fuel*. The Institute of Fuel.
- Kural, O., (1991). *Kömür*, İstanbul: Kurtiş Matbaası
- Lawrance, A., Kumar, R., Nandakumar, K. ve Narayanan K. (2008). A novel tool for assessing propensity of coals in PF boilers. *Fuel* 87, 946 – 950.
- Leonard, W.J., (1991). *Coal preparation*, Societv for mining, metallurgy and exploration inc., Littleton, Colorado
- Lopez C., Maier J., Unterberger S., Hein, K.R.G., (2004). *Over of actual methods for characterization of ash deposition*. Conference on Heat Exchanger Fouling and Cleaning: Fundamentals and Applications (38), USA.
- Lowry, H.H. (1963). *Chemistry of coal utilization*. Supplementary Volume, New York: John Wiley and Sons Inc.
- Mackowsky, M.T. (1968). *Coal and coal bearing strata* (Murchison, D. Ve Westoll T.S. ed.) New York: Elsevier.
- Mattigod, S.V., Dhanpat, R., Eary, L.E. ve Ainsworth, C.C., (1990), Geochemical factor controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues: I review of the major elements, *Journal of environ. Qual* 19, 188 – 201.
- Mc Nallan M.J., Yurek G.J., Elliott J.F., (1981) *Combust Flame*, 42.
- Meyers, R.A. (1982). *Coal structure*. New York: Academic Pres.
- Morrison, R.E., (1970). A review of ash specifications. *Symposium on the Fly Ash Utilization* 24 - 31
- Moulton, L.K. (1974). *Bottom ash and boiler slag*. *Symposium on the Fly Ash Utilization*, 148 – 169, Pittsburgh.
- Nakoman, E. (1971). *Kömür*. Ankara: Eğitim serisi 8, 2 – 3

- 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).
- Neville, M. ve Sarofim, A.F., (1985) *Fuel*, 64, 384.
- Neville, M., Quann, R.J., Haynes, B.S., Sarofim, A.F., (1981) *18th Symposium (International) on combustion*. Pittsburgh: the combustion Institute, 1267
- Poolack, S.S.(1979). Estimating mineral matter in coal from its major inorganic elements. *Fuels*, (58) 76 – 78.
- Quann R.J., Neville M., Janghorbani M., Mims C.A., Sarofim A.F., (1982) *Environ Sci. Technol* 16, 776
- Raask, E. (1985). *Mineral impurities in coal combustion*. Washington: Hemisphere Publishing Corporation.
- Rogers, A.F. (1928). Natural history of silica minerals. *American Mineralogist*, (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 ash, *Fuel*, (78) 1121 – 1125.
- 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).
- Teknik Rapor, (1995). *Energopomiar Report on Combustion Process Optimisation at the Kemereköy Power Plant*, KEAŞ.
- 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

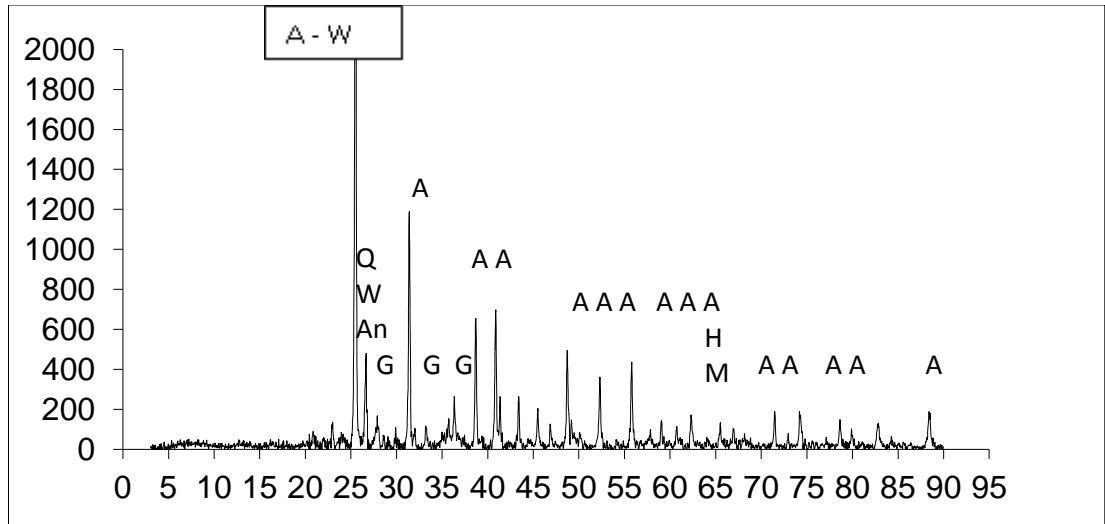
- Tomeczek, J. ve Palugniok, H. (2002). Kinetics of mineral matter transformation during coal combustion, *Fuel* 81, (2002) 1251 – 1258.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş., (2010). TEİAŞ Sektör Raporu, [http://www.enerji.gov.tr/yayinlar\\_raporlar/Sektor\\_Raporu\\_TEIAS\\_2010.pdf](http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/Sektor_Raporu_TEIAS_2010.pdf)
- Türkiye Kömür İşletmeleri, (2010). *Linyit Sektör Raporu*, Mart 2011, <http://www.tki.gov.tr/dosyalar/K%C3%B6m%C3%BCrSekt%C3%B6rRaporu2010.pdf>
- 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.
- Vorres, K.S., (1984). *Mineral matter and ash in coal*. American Coal Society, Washington.
- Wall, T.F., (1992). 24 th Symposium (International) on Combustion. Pittsburgh 1119.
- Wang, H., Pranda, P., Hlavacek, V., (2004). The eutectic generation effect and chemical modification of thermal lance cutting of concrete, *Journal of materials science* 39, (2004) 7003 – 7008.
- Wang, H.ve Harb, J.N., (1997). Modelling of ash deposition in large – scale combustion facilities burning pulverized coal. *Pergamon*, S0360 – 1285 (97) 00010 – 5
- Yaman, S. (1992). *Bazı türk linyitlerinin mineral içerikleri*. İstanbul: İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- Yıldız, N. (2007). *Cevher Hazırlama*, Ankara: ERTEM Basım Yayın Dağıtım Sanayi ve Ticaret Ltd.Şti.
- YEAŞ, Yeniköy Elektrik Üretim A.Ş. (2000). *Brifing Dosyası*.

## EKLER

## CURUF NUMUNELERİ XRD SONUÇLARI

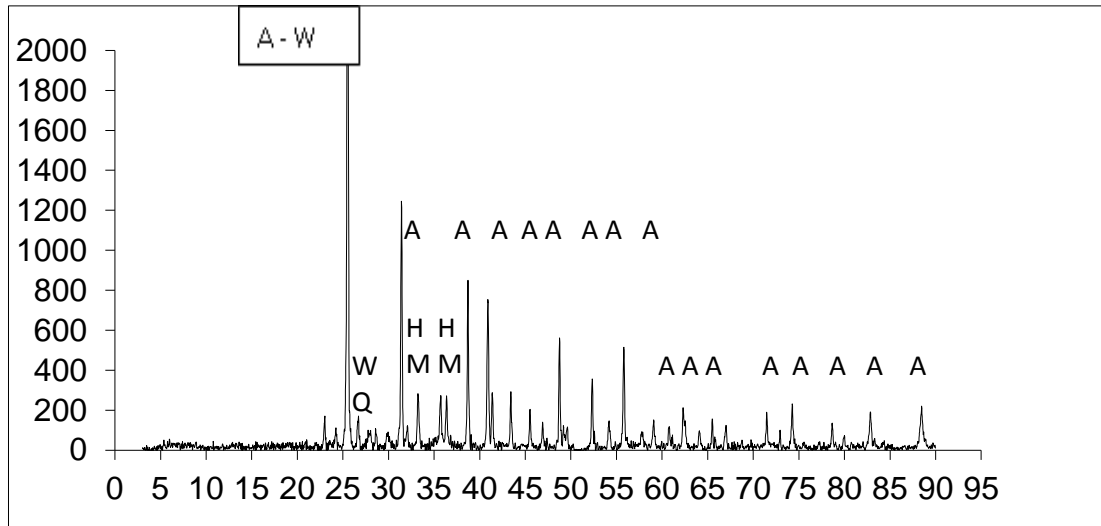


Kemerköy Termik Santrali 14.m ekran iç

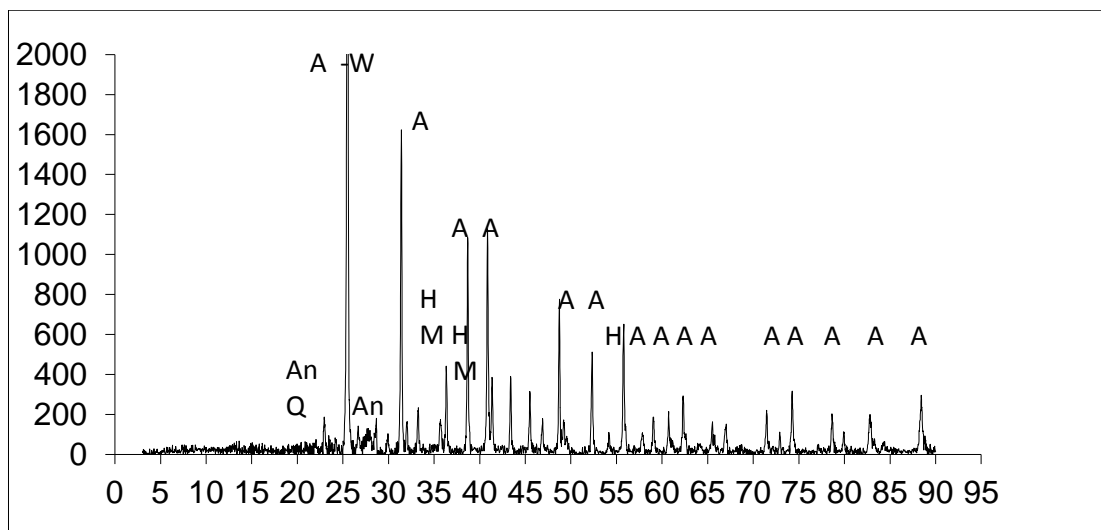


Kemerköy Termik Santrali 14.m ekran dış

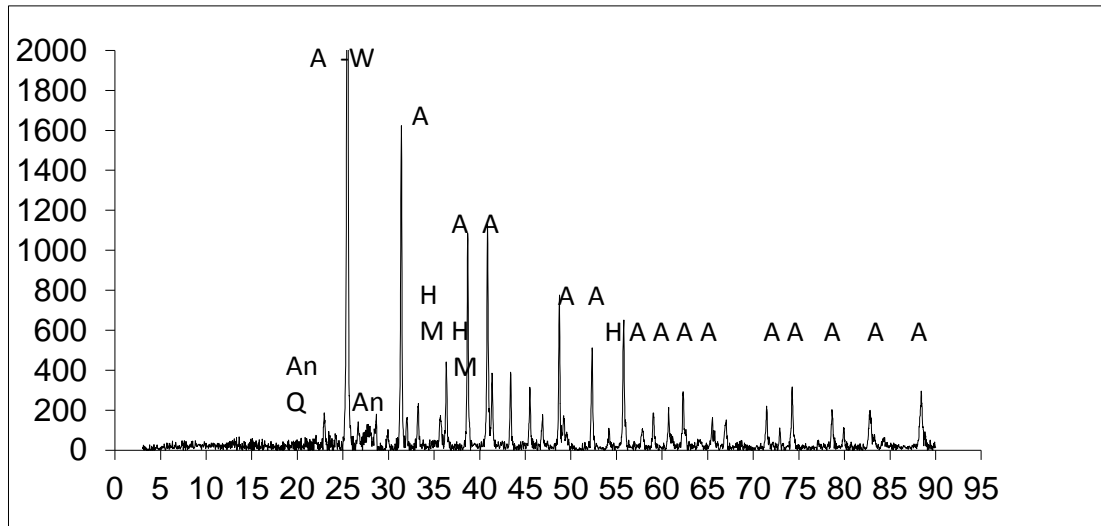




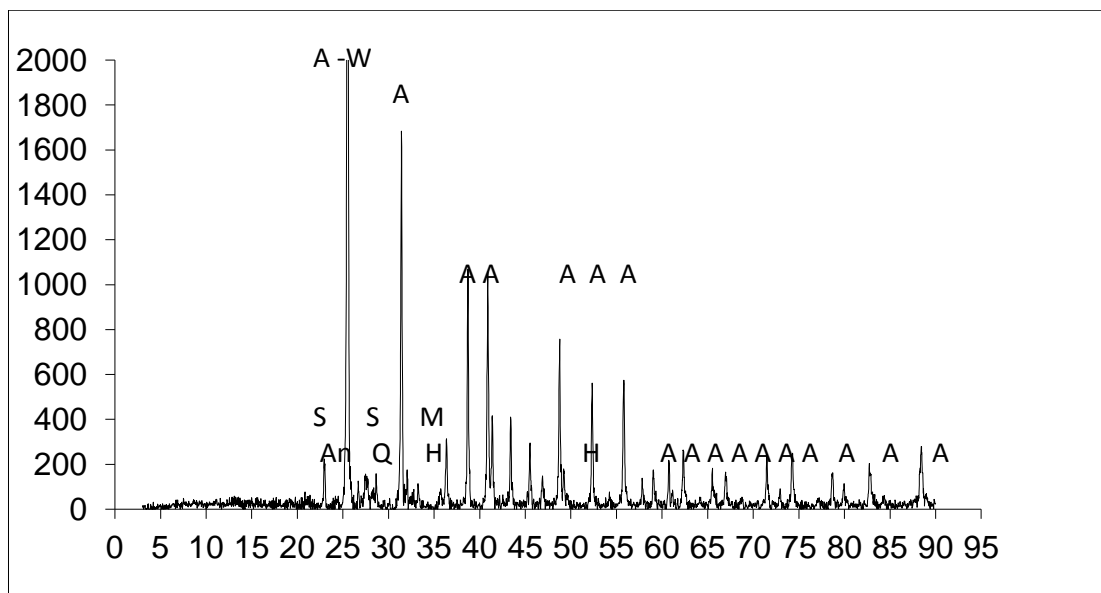
Kemerköy Termik Santrali 28.m ekran iç



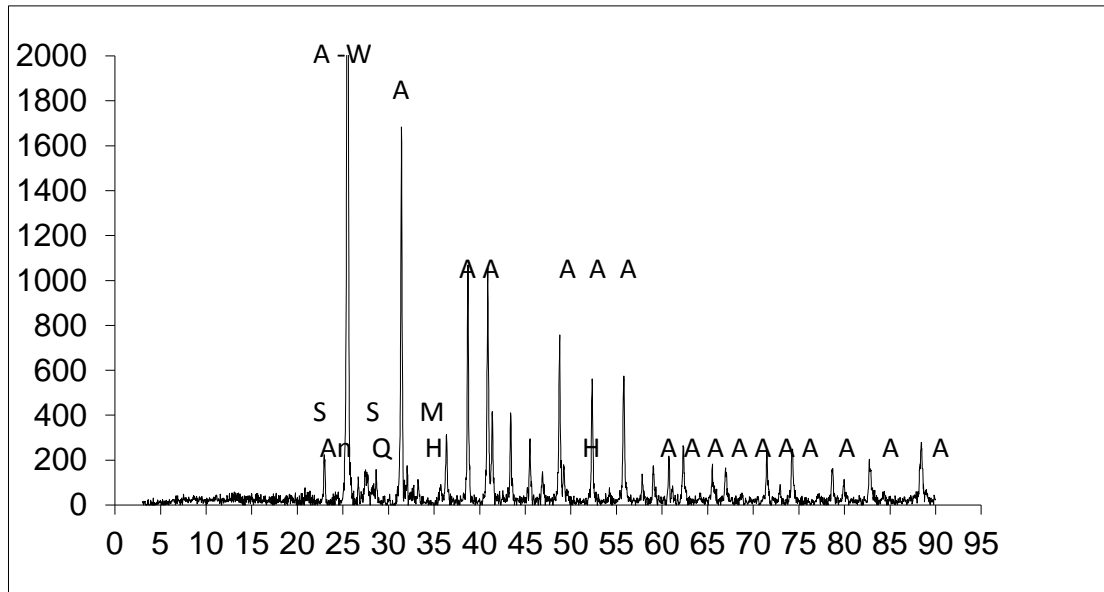
Kemerköy Termik Santrali 28.m ekran dış



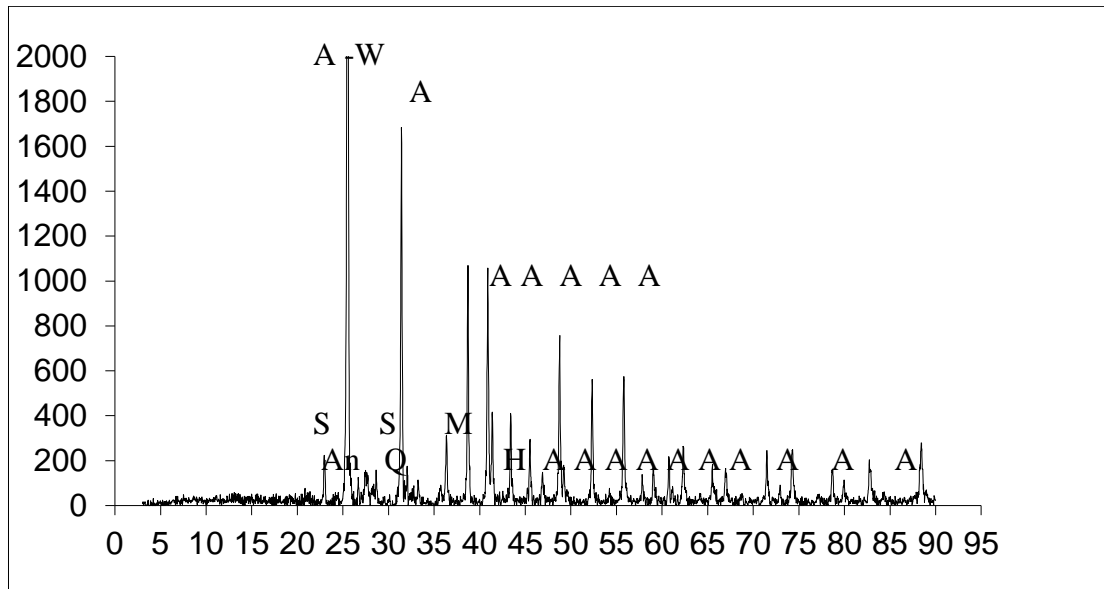
Kemerköy Termik Santrali 28.m ekran orta



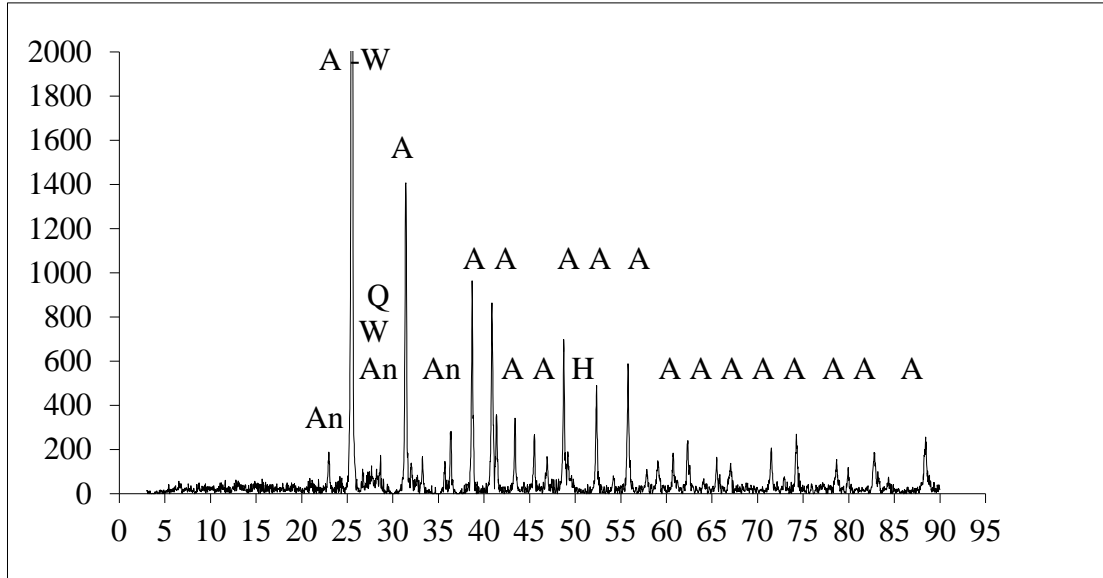
Kemerköy Termik Santrali 43.m RHT iç



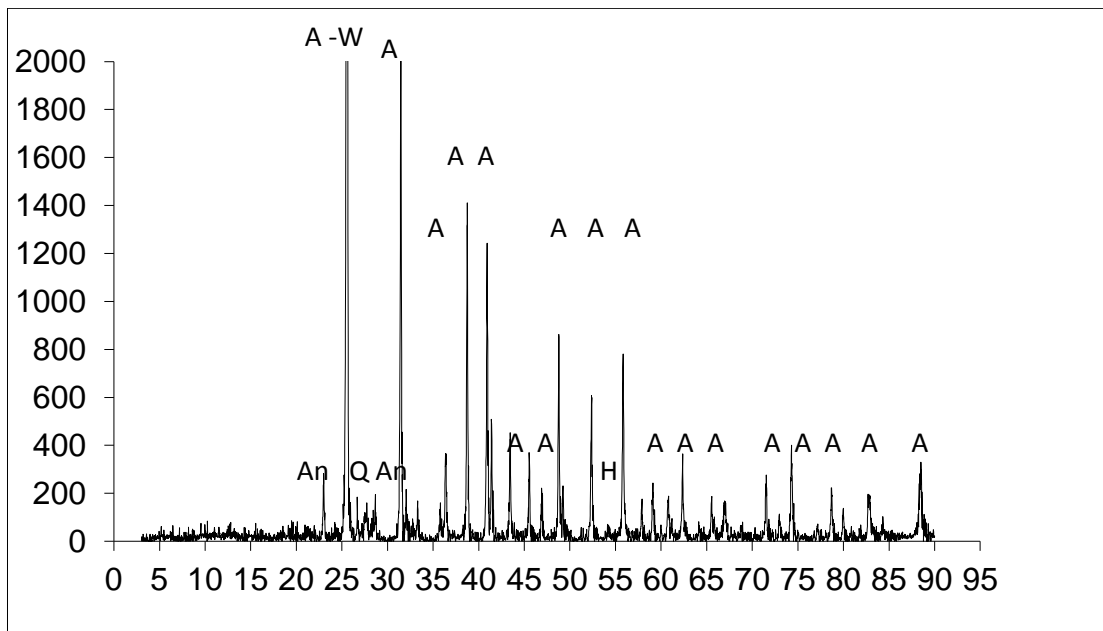
Kemerköy Termik Santrali 43.m RHT dış



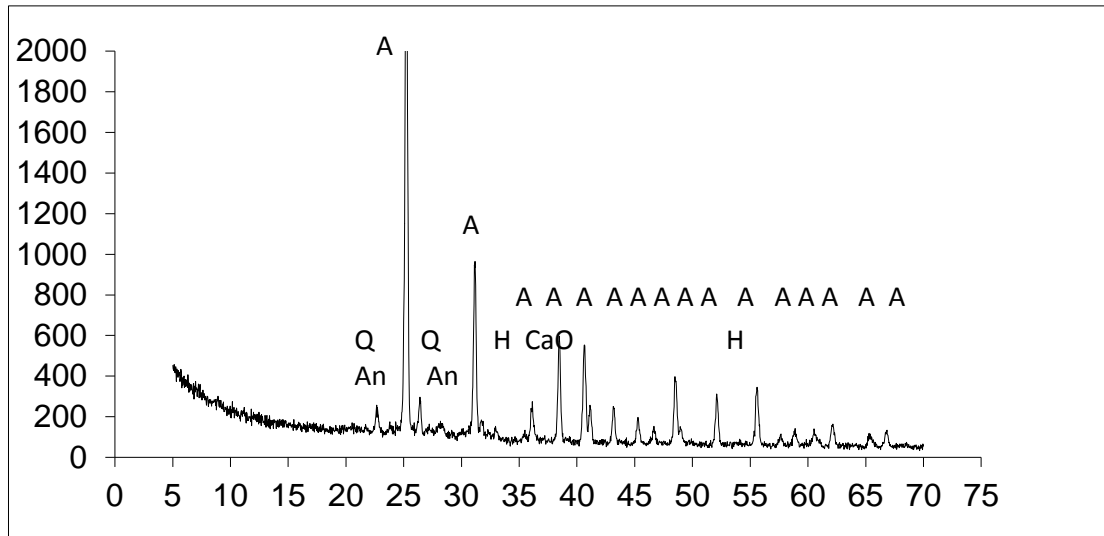
Kemerköy Termik Santrali 43.m RHT orta



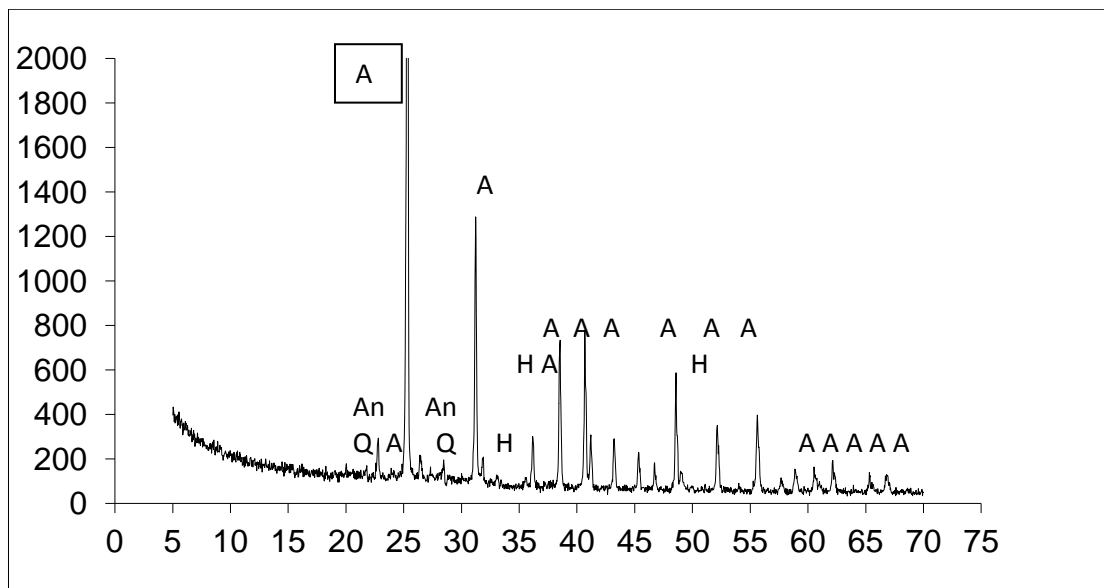
Kemerköy Termik Santrali 56.m RHT iç



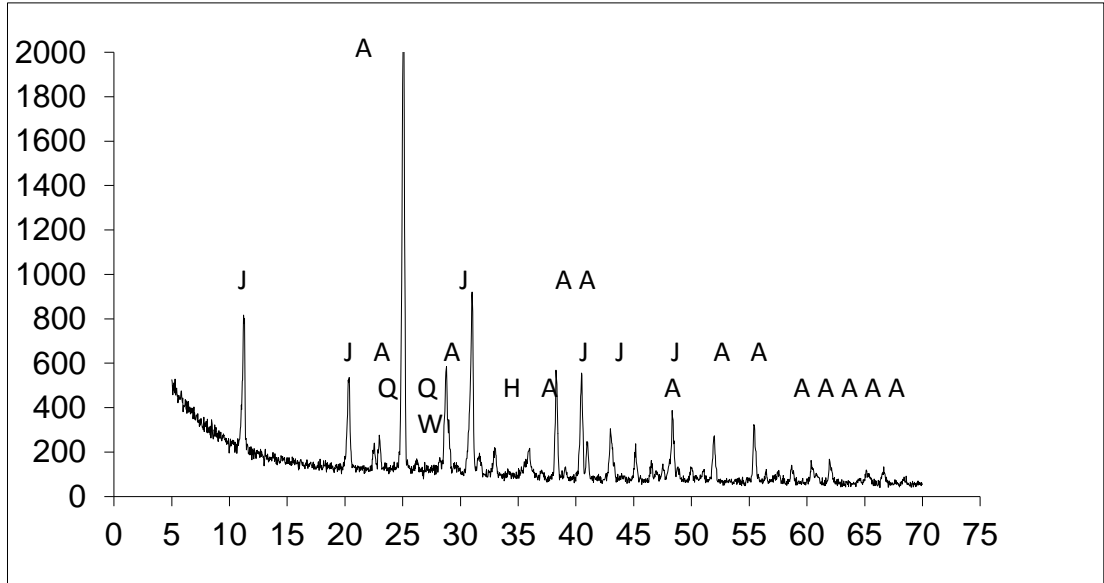
Kemerköy Termik Santrali 56.m RHT dış



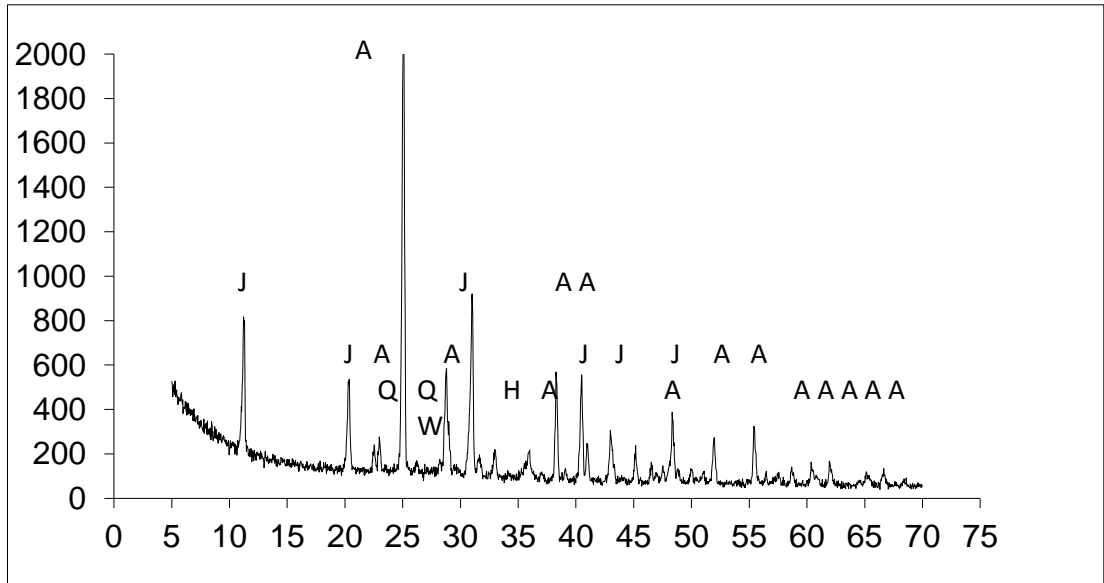
Yeniköy Termik Santrali 43.m RHT iç



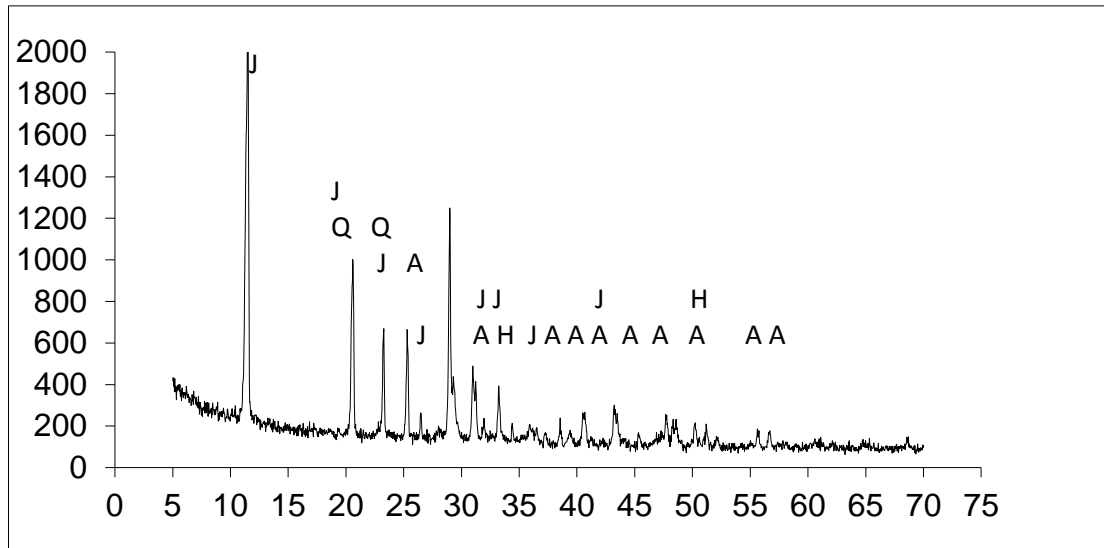
Yeniköy Termik Santrali 43.m RHT dış



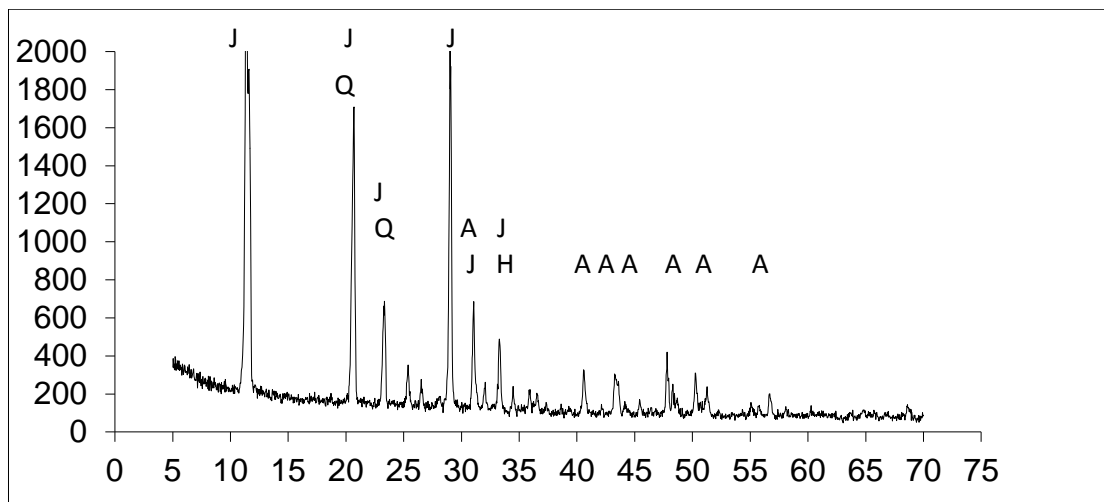
Yeniköy Termik Santrali 48.m RHT iç



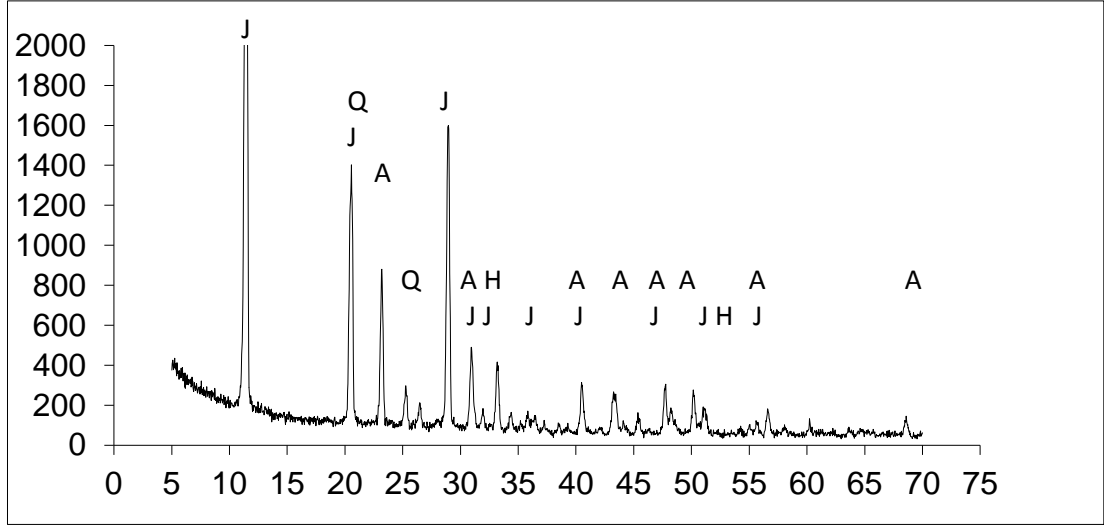
Yeniköy Termik Santrali 48.m RHT dış



Yeniköy Termik Santrali 62.m iç



Yeniköy Termik Santrali 62.m dış



Yeniköy Termik Santrali 62.m orta

A= Anhidrit, W= Wollostonit, G= Gismondin, Q= Kuvars, H= Hematit,  
M=Manyetit, An= Anortit, S= Sanadin, J= Jips