DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRLERİN MİNERAL MADDE İÇERİĞİNDEKİ İZ ELEMENTLERİN TESPİTİ

Cenk KARAÇANTA

Ekim, 2016
İZMİR

TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRLERİN MİNERAL MADDE İÇERİĞİNDEKİ İZ ELEMENTLERİN TESPİTİ

Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Cevher Hazırlama Programı

Cenk KARAÇANTA

Ekim, 2016

İZMİR

YÜKSEK LİSANS TEZ SINAV SONUÇ FORMU

CENK KARAÇANTA, tarafından **DOÇ.DR. Ufuk MALAYOĞLU** yönetimde hazırlanan **"TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRLERİN MİNERAL MADDE İÇERİĞİNDEKİ İZ ELEMENTLERİN TESPİTİ"** başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

.....

Doç. Dr. Ufuk MALAYOĞLU

Yönetici

.....

PROF. DR. EROL KAYA

Jüri Üyesi

.....

Doç. Dr. Aylin M. Deliormanlı

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Emine İlknur CÖCEN

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans çalışmamı yaptığım süre boyunca, bana her zaman destek olan mesleki gelişimime bilgi ve tecrübesiyle katkı sağlayan ve daima olumlu yaklaşımlarıyla beni yönlendiren danışmanın Sayın Doç. Dr. Ufuk MALAYOĞLU'na teşekkür ederim.

Çalışmalarımın başından itibaren; hazırlık, analizler, deneylerim sırasında her türlü yardımlarını esirgemeyen Kimyasal ve Çevresel Madencilik sorumlusu Sayın Dr. Erkan GÜLER'e ve Kimya Laboratuarındaki Kimyagerler Fatih TURAN, Ziya ÇOBAN ve Kamil BOSTANCI'ya teşekkür ederim.

Tezin daha kısa sürede bitmesinde ve başarıya ulaşmasında büyük katkı sağlayan sevgili eşime ve oğluma teşekkür ederim.

TERMİK SANTRALLERDE KULLANILAN KÖMÜRLERİN MİNERAL MADDE İÇERİĞİNDEKİ İZ ELEMENTLERİN TESPİTİ

ÖZ

Bu çalışmada, Soma Karanlıkdere Eynez Yeraltı, Soma Işıklar Yeraltı, Soma Doğu Eynez Yeraltı, Yatağan Eskihisar, Seyitömer Kızık, Seyitömer Ayvalı, Seyitömer S-49, Tunçbilek FC 48 panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden alınan kömür ve kül numunelerinin içeriğindeki iz elementler araştırılmıştır. Bu kömür numuneleri içeriğindeki iz elementlerin tespiti ICP-OES cihazıyla, civa tayini için ise Hydra C cihazı kullanılmıştır. Bu çalışmada iz elementler; As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V ve Zn olarak tespit edilmiştir. İz elementler yer yer dünya ve Türkiye Tersiyer ortalamasından yüksektir. Kömür içerisinde bulunan iz elementler insan sağlığına ve büyük çevresel etkilere neden olabilir. Kömür kullanımından dolayı olası çevre etkilerinin saptanmasında kömürdeki iz elementlere ilişkin bilgilerden yararlanılmaktadır. Elektrik üretiminde kullanılan kömür miktarının yüksek olması nedeniyle, havaya karışan partikül miktarı ve insan sağlığına olan etkileri araştırılmalıdır. Bu açıdan termik santrallerde yakılacak olan kömürün özelliklerinin bilinmesi oluşacak problemlerin ve çevresel etkilerinin önlenmesi için önemlidir. Bu çalışma söz konusu sahalardaki iz element varlığını ortaya koymakta ve bunların oluşabilecek etkileri hakkında bilgiler içermektedir.

Anahtar kelimeler: İz elementler, termik santral, kömür

DETERMINATION OF TRACE ELEMENTS IN MINERAL CONTENT OF THE COAL USED IN FIRED POWER PLANTS

ABSTRACT

In this study, the trace elements in the contents of coal and ash samples taken from Soma Karanlıkdere Eynez Underground, Soma Işıklar Underground, Soma East Eynez Underground, Yatağan Eskihisar, Seyitömer Kızık, Seyitömer Ayvalı, Seyitömer S-49, Tunçbilek FC 48 mining section and Tunçbilek coal preparation plant were investigated. The detection of trace elements in these coal samples was carried out by ICP-OES instrument and the Hydra C instrument was used for mercury detection. In this study, trace elements; As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, V and Zn were determined. The trace elements are higher than the average of tertiary in the world and Turkey in some places. Trace elements in coal may cause human health and major environmental impacts. The information on trace elements in coal is used to determine the possible environmental effects by the usage of coal. Due to the high amount of coal used in electricity generation, the amount of particulate matter and the effects on human health should be studied. In this respect, to know the properties of the coal that will be burned in thermal power plants is important to prevent the problems which may occur and their environmental effects. This study reveals the presence of trace elements in the field and contains information about the possible effects of these elements.

Keywords: Trace elements, thermal power plant, coal

İÇİNDEKİLER

Sayfa

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU ii
TEŞEKKÜR iii
ÖZ iv
ABSTRACT v
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
TABLOLAR LİSTESİ xiii

BÖLÜM BİR – GİRİŞ 1

1.1 Genel 1
1.2 Amaç 3

BÖLÜM İKİ – KÖMÜR VE BENZERİ OLUŞUMLAR HAKKINDA BİLGİLER 4

2.1 Kömürle İlgili Genel Bilgiler 4
2.2 Turba 9
2.3 Linyit 13
2.4 Alt Bitimlü Kömür 15
2.5 Taşkömürü 16
2.6 Antrasit 17
2.7 Kok 19
2.8 Asfaltit 19
2.9 Bitümlü Şist 20

BÖLÜM ÜÇ – DÜNYA KÖMÜR POTANSİYELİ – TÜKETİMİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUM 21

3.1 Giriş 21
3.2 Tarihçe 22
3.3 Dünya Kömür Rezervleri 27
3.4 Dünya Kömür Üretimi 29
3.5 Dünya Kömür Tüketimi 33
3.6 Dünya Kömür İhracatı ve İthalatı 35
3.7 Dünyada Kömür Kullanımının Geleceği 36
3.8 Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Politikaları ve Kömürün Yeri 37
3.8.1 Dünya Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi 37
3.8.2 Türkiye'de Enerji Talebi ve Kömürün Yeri 49
3.8.2.1 Türkiye Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi 49
3.8.2.2 Türkiye Enerji Sektöründe Kömür 50
3.8.3 Türkiye'deki Termik Santraller 57
3.8.4 Termik Santral Teknolojileri 61

BÖLÜM DÖRT – TÜRKİYE LİNYİT ÜRETİM SAHALARINDAN ÖRNEKLER 71

4.1 Giriş 71
4.2 Linyitin Kalorifik Güçleri ve Kimyasal Özellikleri 71
4.3 Kömürleşme Dereceleri 72
4.4 Türkiyenin Önemli Linyit Sahaları 72
4.4.1 Afşin Elbistan Linyit Sahası 72
4.4.2 Manisa Soma Havzası 74
4.4.3 Muğla Milas Yöresi Linyit Sahaları 78
4.4.4 Trakya Havzası Linyit Sahaları 79
4.4.5 Yozgat Surgun Sahası 81
4.4.6 Adana Tufanbeyli Linyit Sahası 82
4.5 Türkiye Linyitlerinin İz Element Kapsamları 83
4.5.1 Kütahya Gediz Gökler Sahası İz Elementleri 90
4.5.2 Ankara Beypazarı Sahası İz Elementleri 92

BÖLÜM BEŞ – KÖMÜRÜN KULLANIMINI BELİRLEYEN ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİ 94

5.1 Giriş 94
5.2 Kömürün Fiziksel Özellikleri 94
5.2.1 Yoğunluk 94
5.2.2 Gözeneklilik ve Yüzey Alanı 95
5.2.3 Sertlik 100
5.2.4 Öğütülebilirlik 100
5.2.5 Isıl İletkenlik 101
5.2.6 Özgül Isı 102
5.3 Kömürün Kısa Analizi 103
5.3.1 Nem 103
5.3.2 Uçucu Madde 105
5.3.3 Kül 106
5.4 Kömürün Elementel Analizi 108
5.4.1 Karbon ve Hidrojen İçeriği 108
5.4.2 Azot İçeriği 109
5.4.3 Oksijen İçeriği 110
5.4.4 Kükürt İçeriği 110
5.5 Kömürün Isıl Değeri 111
5.6 Mineral Madde İçeriği 113
5.7 Kömür Külünün Erime Özelliği 114

BÖLÜM ALTI – KÖMÜR İÇERİDİĞİNDEKİ MİNERAL MADDELER..... 118

6.1 Mineraller 118
6.1.1 Kömür İçindeki Kükürt 123
6.1.2 Kömür İçindeki Germenyum 127
6.1.3 Kömür İçindeki Uranyum 129
6.2 İz Elementler 132
6.2.1 Flor (F) 138

6.2.2 Arsenik (As) 141
6.2.3 Selenyum (Se) 146
6.2.4 Civa (Hg) 148
6.2.5 Talyum (Tl) 152
6.2.6 Kadminyum (Cd) 154
6.2.7 İz Elementlerin Bulunuş Şekilleri 155
6.2.8 İz Elementlerin Isı Karşısındaki Davranışları 160
6.3 Kömürün Mineral Maddesi 162
6.4 Kömürdeki Mineral Bileşenlerin Sınıflandırılması 163
6.4.1 Kökenlerine Göre Sınıflandırma 163
6.4.2 Kömüre Katıldıkları Zamana Göre Sınıflandırma 165
6.4.3 Kömürdeki Derişimlerine Göre Sınıflandırma 165
6.5 Kömürün İçerdiği Mineral Bileşenler 166
6.6 Mineral Maddenin Kömür Kullanımına Etkileri 167
6.6.1 Karbonizasyona Etkisi 167
6.6.2 Yanmaya Etkisi ve Yakma Sistemlerinde Yarattığı Sorunlar 169
6.7 Kömürün Yakılması Sırasında Çevreye Olan Olumsuz Etkiler 173
6.7.1 Kükürt Oksitlerinin Yayınımı 175
6.7.2 Azot Oksitlerinin Yayınımı 176
6.7.3 Karbonmonoksit Yayınımı 178
6.7.4 Karbondioksit Yayınımı 179
6.7.5 Hidrokarbon Yayınımı 181
6.7.6 Tanecik Yayınımı 182
6.7.7 Diğer Kirleticiler 184

BÖLÜM YEDİ - KÖMÜR VE ÇEVRE 186

7.1 Giriş 186
7.2 Temiz Kömür Teknolojileri 189
7.2.1 Kömür hazırlama ve İyileştirme Teknolojileri 194
7.2.2 Emisyon Kontrol Teknolojileri 195
7.2.3 Toz Tutucular 195

7.2.4 SOx Kontrol sistemleri 197
7.2.5 NOx Kontrol Sistemleri 199
7.2.6 Bileşik SOx-NOx Kontrol Sistemleri 201
7.2.7 Verimli Yakma Teknolojileri 201
7.2.7.1 AkışkanYataklı Yakma Teknolojileri 201
7.2.7.2 Süper Kritik Kazan Teknolojileri 204
7.2.8. Karbon Tutma ve Depolama 205
7.2.8.1 Karbon Tutma 205
7.2.8.2 Karbon Taşıma 207
7.2.8.3 Karbon Depolama 207
7.2.9 Kömür Gazlaştırma ve Sıvılaştırma 208
7.2.9.1 Kömür Gazlaştırma 208
7.2.9.2 Kömür Sıvılaştırma 209

BÖLÜM SEKİZ - KÖMÜRÜN YAKILMASINDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLER VE EMİSYON DEĞERLERİ 211

8.1 Giriş 211
8.2 Karbonmonoksit 212
8.3 Karbondioksit 213
8.4 Kükürt Oksitler 214
8.5 Azot Oksitler 216
8.6 Hidrokarbonlar 219
8.7 Tanecik Kirleticiler 220
8.8 Diğer Kirleticiler 223
8.9 Kirleticiler için İmisyon Kriteri 224
8.10 Kirleticiler için Emisyon Kriterleri 225
8.10.1 Kütlesel Emisyon Debisi 226
8.10.2 Kütlesel Emisyon Derişimi 226
8.10.3 Spesifik Bölgesel Emisyon 227
8.10.4 Emisyon Faktörü 227
8.11 Ülkemizdeki Durum ve Uygulamalar 228

BÖLÜM DOKUZ - TÜRKİYE'DE KÖMÜR YAKAN TERMİK SANTRALLER VE BU SANTRALLERDE KÖMÜRÜN YANMASI SONUCU OLUŞAN ÜRÜNLER 231

9.1 Türkiye'de Kömürle Çalışan Termik Santraller ve Özellikleri 231
9.1.1 Soma Termik Santralı 236
9.1.2 Yatağan Termik Santralı 238
9.1.3 Seyitömer Termik Santalı 240
9.2 Yanma Sonucu Oluşan Ürünler ve Davranışları 248

BÖLÜM ON - BU KONUDA DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 251

BÖLÜM ONBİR - ÖRNEK SAHALARDA KÖMÜR MİNERAL İÇERİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE BULGULARIN İRDELENMESİ 275

11.1 Malzeme 275
11.1.1 Numune Alma 275
11.1.2 Numune Hazırlama 275
11.2 Metod ve Test Yöntemleri 276
11.3 Mineral Madde Analiz Sonuçları 280

BÖLÜM ONİKİ - SONUÇLAR 283

KAYNAKLAR 292

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 Buhar türbinli santral kesiti 63
Şekil 3.2 Buhar türbinli termik santralin prensip şeması ve bölümleri 64
Şekil 3.3 Termik santral enerji dönüşüm şeması 65
Şekil 3.4 Afşin-Elbistan termik santrali 67
Şekil 3.5 Basit bir buhar santralı çevrimi 68
Şekil 3.6 Türbin-jeneratör sistemi 69
Şekil 3.7 Bir kömür santralinin soğutma kuleleri 70
Şekil 6.1 İz elementlerin ısı karşısındaki davranışlarına göre gruplandırılması 160
Şekil 9.1 Kömür yakan termik santrallerde kazandan çıkan ürünlerin dağılımı 250

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1 Bölgelere göre kesinleşmiş kömür rezervleri 29
Tablo 3.2 Dünyada birincil enerji tüketimleri..... 34
Tablo 3.3 Türkiye, birincil enerji arzı 52
Tablo 3.4 Türkiye, yıllara göre kişi başına enerji ve elektrik tüketimi 53
Tablo 3.5 Ocak 2016 itibariyle inşa halindeki santralar 54
Tablo 3.6 2014 yılı itibariyle Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli 55
Tablo 3.7 Türkiye'de yerli kömüre dayalı büyük ölçekli termik santraller..... 58
Tablo 3.8 Elektrik üretimi amaçlı kullanılabilecek başlıca kömür sahaları..... 60
Tablo 3.9 İşletmedeki büyük kapasiteli ithal kömür santralleri..... 60
Tablo 4.1 Türkiye tersiyer kömürlerinin ortalama iz element tenörleri..... 83
Tablo 4.2 Türkiye tersiyer kömürlerindeki bazı iz element konsantrasyonlarının jeolojik yaşa göre dağılımı 83
Tablo 4.3 İz elementlerin dünya kömürlerinde bulunan Min., Max. ve ortalama değerleri..... 87
Tablo 4.4 Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürlere ait analizler 88
Tablo 4.5 Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürlerin iz element konsantrasyonları..... 89
Tablo 4.6 Kömür külleri içerisinde rastlanılan iz elementler..... 90
Tablo 4.7 Türkiye'nin 100 ppm'den fazla As içeren kömür sahaları 92
Tablo 4.8 Ankara - Beypazarı linyitlerinin iz element kapsamları 93
Tablo 6.1 Kömürlerde bulunan başlıca mineraller..... 119
Tablo 6.2 Çevreye duyarlı 25 iz elementin kömür içinde bulunuş şekilleri 136
Tablo 6.3 Çin ve ABD kömürlerinde bulunan nadir toprak ve iz elementlerin tenörlerinin, dünya ortalama tenörleri ile karşılaştırılması..... 137
Tablo 6.4 Bazı kuruluşlara göre içme sularındaki iz elementlerin sınır değerleri ... 138
Tablo 6.5 Sedimanter kayalar ve Almanya taşkömürlerinin ortalama iz element kapsamlarının karşılaştırması 156

Tablo 6.6 Almanya'nın taşkömürlerine ait kaolinit ve illit minerallerine bağlı iz element birikimleri 157
Tablo 6.7 Almanya'nın taşkömürlerine ait pirit ve karbonatların ortalama iz element kapsamları..... 158
Tablo 9.1 Türkiye'de kömürle çalışan termik santraller ve özellikleri..... 236
Tablo 9.2 Çelikler Seyitömer Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü ruhsat sahaları 244
Tablo 9.3 Seyitömer Linyitleri İşletmesi'nin kuruluşundan (1960) 01.01.2013 tarihine kadar kömür üretimi 244
Tablo 11.1 Civa (Hg) değerlerinin karşılaştırlması..... 281
Tablo 11.2 Kömür analiz sonuçları..... 281
Tablo 11.3 Kömürlerin mineral madde içeriğindeki iz elementlerin analiz sonuçları 282

BÖLÜM BİR
GİRİŞ

1.1 Genel

Enerji ve kömür, dünya ve ülke gündemimizin hep en ön sıralarında yer almıştır. Enerjisiz bir hayat mümkün değildir. Artan nüfus ve endüstrileşmeyle birlikte, enerji tüketimlerinin de hızla artması, dünya genelinde enerji kaynaklarına olan ilgiyi her geçen gün daha da arttırmaktadır. Enerji toplumların temel ihtiyaçlarından birisi olmuştur. Şehirleşme, sanayileşme, hızlı nüfüs artışı ve teknolojik gelişmeler gibi unsurlar toplumları enerjisiz yapamaz hale getirmiştir. Bir ülkede üretilen enerji miktarı ve cinsi, o ülkede gelişme düzeyini gösteren faktörlerden başlıcasıdır (Zorlu, 1987). Ekonomik büyüme ve nüfus artışıyla birlikte Türkiye'de enerjiye olan talep her yıl artmakta olup, artan talebin yerli, kaynaklarla karşılanması ekonomimiz açısından büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin en önemli iki enerji kaynağından biri kömür, diğeri hidrolik enerjidir. Küresel ısınma ve iklim değişikliği nedeniyle kuraklık tehlikeleri hidrolik kaynaklarıda güvenilir olmaktan uzaklaştırmaktadır. Ülkemizin enerji ihtiyacını nitelikli, güvenilir ve düşük maliyetli karşılamak üzere linyit, enerji hammaddelerini bilimsel ve teknolojik yöntemler kullanılarak ve çevresel faktörleri de dikkate almak suretiyle etkin verimli ve sürdürülebilir bir şekilde aramak, üretmek, kullanımlarını sağlanması gerekmektedir.

Dünyadaki elektrik üretiminde, kullanılan enerji kaynakları içerisindeki oranı %41,5 ile kömürdür (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü – [MTA], 2010). Dünya üzerinde yaygın bulunması, üretilmesi, nakliye kolaylığı, fiyat istikrarı, kullanım kolaylığı yönünden emniyetli ve güvenilir olması, diğer yakıtlara göre ucuz ve sürekli oluşu gibi özellikleri içermesi nedeniyle, vazgeçilmez bir enerji kaynağı olma özelliği taşımaktadır (MTA, 2012).

Kömür çok fazla olan rezerv ömrü ve yeryüzündeki geniş dağılımı nedeniyle özellikle 2030 yılından sonra önem kazanacaktır. Dünya kömür rezervlerinin dağılımı; Linyit 377 milyar ton %34 ve taşkömür 723 milyar ton %66 olmak üzere

toplam 1,1 trilyon ton dur (Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu – [TKİ], 2016). Ülkemiz sahip olduğu linyit rezervleriyle ilk 10 içerisinde yer almaktadır (MTA, 2010).

Petrol ve doğal gaz rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması ve fiyatlarındaki değişkenlik, nükleer kaynakların atık sorunu ve kamuoyu baskısı, yenilenebilir kaynakların yüksek maliyetleri, kömür rezervleri bakımından zengin olan ülkelerin, gerek enerji arz güvenliğinin sağlanması gerekse maliyetlerin düşürülmesi bakımından diğer ülkelere göre çok daha avantajlı konumda bulunmaları sonucunu doğurmaktadır (MTA, 2012).

Enerji özellikle sanayi, konut ve ulaştırma sektörlerinde kullanılmaktadır. Temiz enerji için AR-GE çalışmaları yapılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde ucuz hammadde olması kömürü Türkiye'nin en önemli fosil enerji kaynağı haline getirmiştir. Enerjinin üretimi esnasında çevre kirliliğine neden olabilmektedir. Enerji, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan hayat kalitesini iyileştiren en önemli faktördür. Dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi önemli ölçüde arttırmaktadır. Enerji kaynakları açısından incelendiğinde birincil enerji arzında petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı konumunun önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmektedir.

Enerjide dışa bağımlılığı azaltmak, yerli kaynaklarımızın etkin bir şekilde devreye sokmak ve yeni kaynaklar bulmak amacıyla Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü tarafından, enerji hammadde aramalarına gereken önemi vermiştir. 90'lı yıllarda yılda 2.000 m'lere düşen linyit arama sondaj miktarı yılda 200.000 m'lere ulaşmıştır Türkiye Linyit rezervlerimiz 15,5 milyar tona ulaşmıştır (TKİ, 2016). Türkiye'de üretim yapılan veya üretime elverişli olan 175 linyit sahası ile 101 linyit zuhuru bulunmaktadır (MTA, 2010).

Yapılan senaryo analizlerine göre 2030 yılında linyitin elektrik üretimindeki payının artmasıyla ilave tahmini olarak 48.000 ila 57.000 kişilik istihdam yaratacağı

tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, farklı doğalgaz fiyat senaryolarına göre Türkiye'de toplam ithalatta 7,6 milyar dolar ila 13,8 milyar dolar arasında azalma olacağı tahmin edilmektedir (Küçükönder, 2014).

Kaynak çeşitliliği oluşturması ve cari açığa olumlu katkısıyla ekonomiye fayda sağlayacak elektrik üretiminde kullanılan yerli kömür sektörü, ithal kömüre oranla 3, doğalgaza oranla da 18 kat daha fazla istihdam sağlayabilme kapasitesine sahip bulunmaktadır (Sitti, Tanrısever, Derinkuyu ve Külfetoğlu, 2016).

Doğalgaz santrallerinde bir MW başına 0,1 kişi, ithal kömür santrallerinde ise 0,6 kişiye istihdam sağlanabilmektedir. Bu rakam yerli kömür santrallerinde megavat başına 1,83 kişi olarak hesaplanmaktadır (Sitti ve diğer., 2016).

Termik santrallerde kömürün yanma ve yanma sonrası atık ürünler çevre ve insan sağlığı sorunlarına neden olabilir. Ancak kömür birçok gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler için birincil enerji kaynağıdır. Kömür içerisinde bulunan iz elementler insan sağlığına zararları ve çevresel etkilere sahip olabilir. İz elementler organik ya da inorganik formlarda kömür içerisinde mevcuttur.

1.2 Amaç

Termik santrallerde yakılacak olan kömürün özelliklerinin bilinmesi oluşacak problemlerin ve çevresel etkilerinin önlenmesi için gereklidir. Bu sebeple Yüksek Lisans tez çalışması kapsamında, örnek olarak seçilen Soma Karanlıkdere Eynez Yeraltı, Soma Işıklar Yeraltı, Soma Doğu Eynez Yeraltı, Yatağan Eskihisar, Tunçbilek FC Pano, Tunçbilek Lavvar, Seyitömer Kızık, Seyitömer Ayvalı ve Seyitömer S-49 bölgelerindeki kömür iz element içerikleri araştırılmıştır. Termik santrallerde kullanılan kömürlerin mineral madde içeriğindeki iz elementlerin varlıklarının yataklanmadan kaynaklı değişimleri tespit edilmiştir.

BÖLÜM İKİ
KÖMÜR VE BENZERİ OLUŞUMLAR HAKKINDA BİLGİLER

2.1 Kömürle İlgili Genel Bilgiler

Kömür, siyah, koyu gri veya kahverengi-siyah renkli, parlak veya mat bir katı fosil yakıt ve aynı zamanda sedimanter bir kayadır. Ağırlık olarak %50, hacim olarak da %70'ten fazla kömürleşmiş bitki kalıntılarından oluşur. Organik madde yanında, daha az miktarda olmak üzere mineral madde, su ve gaz (CH_4, CO_2 gibi) kapsar. %50'den az organik madde kapsayan kayalar kömür olarak nitelendirilmemekte, bu gibi kayalara, çoğunluğu oluşturan mineral maddenin türüne göre, kömürlü kil, kömürlü şilt gibi isimler verilmektedir (Ünalan, 2010, s. 19)

Yeryüzünde C elementi çok az miktarda bulunur. Dünyanın %0,04'ü kadarı karbondur. 5.000 metre derinliğe kadar olan yeryüzü içerisinde C miktarı %0,1'i geçmez. İnsanlığın en önemli enerji kaynağını da C ve bileşenleri meydana getirmektedir. Bir kayacın yakıt olarak kullanılması için yeterli miktarda karbon içermelidir. %50 veya daha fazla oranlarda yanabilen madde içeren kayaçlar kömür olarak kabul edilmektedir (Köksoy, 1985).

"Kömürler değişik şekillerde gruplandırılmaktadır. Kapsadıkları organik maddenin özelliğine göre, hümik ve sapropelik olmak üzere iki grup kömür bulunmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 19)

1. Hümik kömürler: Bataklıkta bir yığışım oluşturacak şekilde biriken cansız büyük ve küçük boy damarlı bitkilerin önce bakterilerin etkisiyle turbaya dönüşmesi ve sonraki gömülme nedeniyle artan yer sıcaklığının etkisi altında turbanın kömürleşmesi sonucu oluşan ve gömülme miktarına göre sırasıyla linyit, alt bitümlü kömür, taşkömürü, yarı antrasit ve antrasit gibi isimler alan, genellikle parlak ve bantlı kömürlerdir. Bu kömürlerdeki bantlı yapı, litotiplerden kaynaklanmaktadır. Ancak kömürleşme, bataklığın bulunduğu sedimanter

havzanın jeolojik tarihçesine bağlı olarak, antrasite kadar gitmeksizin, yukarıdaki aşamalardan herhangi birinde son bulabilir. Örneğin kömürleşme henüz linyit aşamasında iken havza kapanabilir; çökelleri kıvrımlanarak yükselir ve dolayısıyla kömürleşme bu aşamada son bulur. Hümik kömürlerin ilksel organik maddesi ağırlıklı olarak karada yaşayan büyük boy bitkilerin gövde, dal, kök ve yapraklarından oluşur. Bu kömürlerin kapsadığı organik madde çoğunlukla III. Tip kerojendir. Dolayısıyla hidrojen oranlan düşüktür (perhidros vitrinit kapsayan hümik kömürler hariç). Yeryüzündeki kömürlerin çoğunluğu hümik kömürlerden oluşur (Ünalan, 2010, s. 19).

Turbalardan antrasitlere kadar bütün kömür türlerinin yer aldığı ve karbonhidratça zengin, gelişmiş bitkilerden oluşan kömürlerdir (Kemal ve Arslan, 2010).

Hümik maddeler ve diğer kompleks bileşikler, kömür oluşumu ve iz halindeki metalik elementlerin kömürlerde yeralmasında çok önemli rol oynarlar. Hümik malzemelerin, basit organik bileşikler gibi, özgül fiziksel ve kimyasal karakteristikleri yoktur. Kompleks organik materyal ve yüksek malekül ağırlığına sahiptir. Hümik maddeler genelde bitkisel malzemelerin çürümesiyle oluşurlar ve çoğunlukla halka tipi aramatik yapıcılar içerirler. Hümik maddelerin, kömürlerin asıl yapı taşlarından ayrıldığı noktalarda vardır. Bu noktalardan başlıcaları; farklı element, bileşim, fraksiyonel grup içeriği ve eriyebilirlik özellikleridir. Kömürler içerisinde yeralmaları sonucu, hümik asitler, maserallerin bileşimine girerek kömürlerin bazı iz elementlerce zenginleşmelerine neden olmakta; bataklık demirlerinin, bazı demir ve manganez gibi nodüllerin oluşumuna da yardımcı olmaktadır (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s. 104).

2. Sapropelik kömürler: Deniz, göl, lagün gibi belli bir su derinliği olan havzaların oksijensiz tabanında biriken ve ardından gömülen sapropelin (organik madde kapsayan çamur), yine yer sıcaklığının etkisi altında kömürleşmesi ile oluşan mat ve bantlı yapısı olmayan kömürlerdir. Sapropelik kömürler I. veya II. Tip kerojen kapsar. Bu kömürler için turba aşaması söz konusu değildir. Fazla miktarda alg kapsayanlarına boghead kömürü, spor ve polen bakımından zengin olanlarına ise

cannel kömürü adı verilir. Bu kömürlerin yeryüzündeki rezervleri ve yayılımları hümik kömürlere oranla önemsizdir. Hümik kömürlerle kıyaslandığında, sapropelik kömürlerin hidrojen oranları daha yüksektir. Çökelme ortamının denize göre olan konumuna bağlı olarak kömürler, paralik ve limnik olmak üzere yine iki grupta toplanmaktadır (Ünalan, 2010, s. 19).

Sularda ilkel organizmalar halinde yaşayan ve yapılarında büyük ölçüde yumurta akı ve yağlı maddeler bulunan su organizmaları, "sapropel" adı verilen bir jöle oluştururlar. Bu jölenin bitümleşmesiyle sapropelit adı verilen kömür, bitümler ve petrol oluşmaktadır (Kemal ve Arslan, 2010).

3. Paralik kömürler: Deniz kenarlarında yer alan ve kıyı ovası olarak adlandırılan geniş düzlüklerdeki bataklıklarda, lagün kenarı bataklıklarında, delta düzlüklerinde, yani zaman zaman deniz suyu baskınına uğramış bataklıklarda depolanmış kömürlerdir, Paralik ortamlara ait kömürler, denizel çekellerle ardalanmalıdır. Bu kömürler içinde framboidal pirite sık rastlanır. Hidrojen ve kükürt oranlan genelde limnik kömürlere oranla yüksektir (Ünalan, 2010, s. 20).

4. Limnik kömürler : "Denizden uzakta, kara içinde, göl kenarlarındaki bataklıklarda veya akarsu taşkın ovalarındaki bataklıklarda depolanmış kömürlerdir" (Ünalan, 2010, s. 20).

Sınırlı humik ortamlar

- Depolanma ortamı, bir bar veya eşikle sınırlandırılmıştır.
- Depolanma ortamında hakim çökel organik maddece zengin sapropelitler veya kömürlerdir.
- Ortam pH değeri <7'dir.
- Çökel ortamı herhangi bir sınırlayıcı etken tarafından sınırlandırılmıştır.
- Depolanma ortamı denizlerin kara ile sınırlandırma etkeninin arasında yer alır.
- Organik maddece zengin tortullar derin kısımlarda çökelir.
- Kıyıya daha yakın ve kıyı çizgisi üzerinde bataklık ortamları oluşur.

Hümik kömürler, kömürleşme derecelerine göre düşük ranklı (linyit, alt bitümlü kömür) ve yüksek ranklı kömürler (taşkömürü, yarı antrasit ve antrasit) olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Her iki gruba ait kömürlerin, çıplak gözle görülen özelliklerinden (renk, sertlik, parlaklık gibi) başka kalorifik güçleri, su ve uçucu madde yüzdeleri, organik maddenin C, H, O oranlan ve vitrinit yansıtma dereceleri farklıdır (Ünalan, 2010, s. 20).

Bazı fiziksel özellikleri ve kullanım alanları dikkate alınarak yapılan bir başka sınıflamaya göre hümik kömürler; Kahverengi kömürler ve Sert kömürler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır.

Kahverengi kömürlerin kapsamı ülkelere göre değişmektedir. Avustralya, Belçika, Finlandiya, Fransa, İzlanda, Japonya, G. Kore, Yeni Zelanda, Meksika, Portekiz ve ABD'de (toplam 11 ülke) kahverengi kömür yalnızca linyite karşılık gelmektedir. Linyitin üst ısıl değeri dmmf (kuru ve mineral maddesiz) bazda 4.165 kcal/kg (17.435 kJ/kg)'dan küçüktür. 11 ülke dışındaki diğer ülkelerde kahverengi kömürler, linyitten başka alt bitümlü kömürleri de kapsamaktadır. Alt bitümlü kömürlerin üst ısıl değeri dmmf bazda 4.165 kcal/kg (17.435 kJ/kg) ile 5.700 kcal/kg (23.865 kJ/kg) arasındadır. Kahverengi kömürler elektrik üretiminde kullanılan ancak koklaştırılamayan kömürlerdir (Ünalan, 2010, s. 20).

Sert kömürler, üst ısıl değeri maf (nemli ve külsüz örnek) bazda 5.700 kcal/kg'dan fazla olan hümik kömürler olup taşkömürü ve antrasitleri kapsamaktadır. Sert kömürler ayrıca, koklaşabilir kömür ve buhar kömürü olmak üzere ikiye ayrılır. Koklaşabilir kömür, kok üretimine uygun olan kömürdür. Kok, belli özelliklere sahip olan taşkömüründen üretilir. Buhar kömürleri, yukarıda adı geçen 11 ülkede antrasitleri, koklaşabilen taşkömürleri dışında kalan diğer taşkömürlerini ve ayrıca alt bitümlü kömürleri kapsamaktadır. Diğer ülkelerde ise alt bitümlü kömürler buhar kömürüne dahil edilmemektedir. Buhar kömürleri esas olarak elektrik üretiminde ve ısınmada kullanılır (Ünalan, 2010, s. 20).

"Sert kömürler, taşkömürü ve antrasitleri kapsamaktadır. Ancak bu gruplandırma

Avrupa ülkeleri için geçerlidir. ABD'de sert kömür dendiğinde akla yalnızca antrasitler gelmekte; taşkömürleri ise yumuşak kömür olarak adlandırılmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 21).

Kömürlerin yoğunlukları, kömürleşme dereceleri (rank) ve kapsadıkları mineral madde miktarına bağlı olarak genellikle 1,1-1,8 g/cm^3 arasında değişir. Ortalama değerler şöyledir: linyit=1,19 g/cm^3, taşkömürü=1,32 g/cm^3, antrasit 1,50 g/cm^3. Kömürleşme derecesi ve mineral madde oranı arttıkça kömürün yoğunluğu da artmaktadır. Sapropelik kömürlerin yoğunluğu hümik kömürlere göre daha düşüktür. Genellikle turbalar Kuvaterner yaşlıdır. Linyit ve alt bitümlü kömürler Tersiyer ve Mesozoyik, taşkömürü ve antrasitler ise Mesozoyik ve Paleozoyik yaşlıdır (Ünalan, 2010, s. 21).

Yeryüzündeki kömürlerin jeolojik yaşlarına göre dağılımına bakıldığında, bunların Geç Karbonifer, Permiyen, Jura, Kretase ve Tersiyer'de yoğunlaştıkları dikkati çekmektedir. Kambriyen, Ordovisiyen, Siluriyen dönemleri tamamen kömürsüzdür. Devoniyen, Erken Karbonifer (Misisipiyen) ve Triyas dönemleri ise kömürsüz gösterilmiş olsa da, tamamen kömürsüz değildir. Erken Paleozoyik'te (Kambriyen, Ordovisiyen ve Siluriyen) karalar üzerinde henüz kömür oluşturacak büyük boy bitkiler yoktur. Büyük boy bitkiler ilk kez Devoniyen'de karalar üzerinde gelişmeye başlamıştır. Yaygın olmasa da Devoniyen yaşlı kömür örneklerine Sibirya, Urallar, Kazakistan, Kuzey Kanada ve Apalaşlar'da (ABD) rastlanır. Meksika'nın güneydoğusunda Erken Karbonifer (Misisipiyen) yaşlı kömür yatakları mevcuttur. Geç Karbonifer (Pensilvaniyen), yeryüzünde bitki örtüsünün en yaygın olduğu dönemdir. Avrupa ve Kuzey Amerika'daki büyük taşkömürü yataklarının çoğunluğu bu döneme aittir. Avustralya'nın doğusunda Clarence-Moreton ve Ipswich havzalarında, Güney Afrika'daki Karo o havzasında Triyas yaşlı kömür yatakları bulunmaktadır. Ayrıca dünyanın birçok bölgesinde Jura, Kretase ve Tersiyer yaşlı çökeller içinde çok sayıda kömür yatağı mevcuttur (Ünalan, 2010, s. 21).

Türkiye kömür rezervlerinin dağılımı; Linyit 15,5 milyar ton %92 ve Taşkömürü

1,3 milyar ton %8 olmak üzere toplam 16,8 milyar ton dur (TKİ, 2016).

Kömür, dünya toplam birincil enerji kaynakları tüketimi içinde %29,2 gibi oldukça önemli bir paya sahiptir. Birincil enerji kaynakları tüketiminin geri kalan %70,8'i petrol, doğal gaz, hidrolik ve nükleer enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Dünyada tüketilen elektriğin de %40'ı yine kömüre dayalı termik santrallerde üretilmektedir (Ünalan, 2010, s. 22).

Kömür, dünya enerji gereksiniminin karşılanmasında büyük bir paya sahip olmakla birlikte önemli çevre sorunlarına neden olabilen bir enerji kaynağıdır. Kömürün yanması ile atmosfere CO_2, SO_x ve NO_x gazları yayılır. Bu gazlardan CO_2 en önemli sera gazıdır. Bu gaz küresel ısınmaya neden olmaktadır. SO_x ve NO_x gazları ise atmosferdeki su ile birleşerek sülfürik asit ve nitrik asite dönüşmektedir. Bunlar da asit yağmurları şeklinde tekrar yeryüzüne inerek çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca kömür içinde iz element şeklinde bulunabilen As, Hg, F, Se vb. elementlerden de çeşitli hastalıklar kaynaklanmaktadır (Ünalan, 2010, s.22).

2.2 Turba

Bataklıkta, yani suya doygun bir zemin üzerinde yetişen değişik bitkilerin ölümlerinden sonra, aynı yerde veya bir miktar taşındıktan sonra, bir yığışım oluşturacak şekilde birikmesi, daha sonra aerobik ve ardından anaerobik bakteriler tarafından kısmen bozundurulması sonucu oluşan, fakat fazla gömülmedikleri için yer sıcaklığının ve litosfatik basıncın etkisi altında kalmamış, dolayısıyla henüz kömürleşmemiş ve katılaşmamış, açık koyu kahve, siyah renkli, gözenekliliği ve su oranı yüksek bir organik çökeldir veya anaerobik ortamda oluşmuş bir çeşit hümüstür. Daha önce belirtildiği gibi, uzun süreli gömülme ile turba, hümik kömürlere, yani önce linyite, ardından sırasıyla alt bitümlü kömüre, taşkömürüne ve antrasite dönüşür. Turba kömürleşme olayının hareket noktasında yer alan organik bir çökeldir. Hümik kömürler turbanın kömürleşmesi sonucu oluşur (Ünalan, 2010, s. 22-23).

Biokimyasal kömürleşmeye uğramış en genç kömür türüdür. Renkleri sarı, kahverengi ve siyah olabilen turbaların sertliği azdır. Turbaların uçucu madde (%60'ın üzerinde) ve orijinal nem (%75'in üzerinde) oranları çok yüksektir. Havada kuruyan turba %20-35 arasında higroskobik nem içerir (Kemal ve Arslan, 2010).

Bir turbanın nem içeriği %90 civarındadır. Havada kurumuş turbanın nem içeriği %12, kül içeriği ise %3 civarındadır. Havada kurmuş turbanın kalori değeri 3.000-4.000 kcal/kg civarındadır. Kuru-külsüz baza göre hidrojen içeriği %6, azot içeriği %2, kükürt içeriği %1, oksijen içeriği %31 civarındadır. Karbon içeriği ise %60'dan küçüktür (Köksoy, 1985, s149).

Bataklık alanlarda yetişen ağaç, funda, saz, kamış, ot, Sphagnum yosunu gibi çeşitli bitkilerden turba oluşabilmektedir. Ayrıca turba içinde mantar, böcek, spor-polen gibi diğer organik kalıntılar da bulunabilmektedir. Turbanın kapsadığı organik madde parçaları çoğu zaman çıplak gözle tanınabilecek kadar az değişiklik geçirmiştir Aşırı derecede bozunmuş turbalar homojen bir yapıya sahiptir. Bu gibi turbalar fazla hümüsleşmeden dolayı çıplak gözle tanınabilecek bitki kalıntısı kapsamaz (Ünalan, 2010, s. 23).

Turbaların mikroskobik incelemeleri bunların amorf bir ortamda yüzen şekilleri ve oldukça iyi muhafaza olunmuş bitkisel kalıntılardan olduklarını gösterir (Zorlu, 1987)

"Bitki artıklarının mikroorganizmalarının etkisinde dekompozisyona uğramaları turbaların bütün derinliğinde aynı hızla olmamaktadır. Buna göre, yüzeyden derin kısımlara doğru bir turbalıkta önce açık kahverengi sarımsı turbaların, daha derinde ise koyu kahverengi ve siyah turbaların bulunduğu bilinmektedir" (Nakoman, 1971, s. 173).

"Bataklıkta yaşayan bitkilerin, su tablasına göre olan konumlarına bağlı olarak turbalar limnik, telmatik ve karasal olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır" (Ünalan,

2010, s. 23).

Limnik turbalar tamamen su içinde yaşayan bitkilerden kaynaklanır. Örneği Phragmites turbasıdır. Telmatik turbalar, en yüksek ve en alçak su tablası seviyesi arasında, yani periyodik olarak su altında kalan ortamda yetişen bitkilerden türer. Örnekleri Cladium ve Sphagnum turbalarıdır. Karasal turbalar ise bataklıkta en yüksek su seviyesinin üstünde yetişen bitkilerden kaynaklanır (Ünalan, 2010, s. 24).

Turba oluşumunda bölgesel iklim ve tektonik koşulların önemi büyüktür. Sıcak ve nemli iklim kuşaklarında bitki üretimi hızlıdır. Ancak bu gibi bölgelerde bataklık ortamındaki bitki kalıntılarının bozunması da hızlıdır. Soğuk ve kurak iklim kuşaklarında ise bitki üretimi ve çökelen organik maddenin bozunması yavaştır. Diğer yandan bitki gelişimine uygun çukur alanların, örneğin graben yapılarının veya çek-ayır havzaların oluşmasına veya zeminin düzenli bir şekilde çökmesine neden olan tektonik olaylar da turba oluşumu üzerinde önemli rol oynamaktadır. Kalın bir turba seviyesinin oluşabilmesi, organik maddenin birikim hızı ile sübsidans arasında uzun süreli bir dengenin varlığına bağlıdır. Örneğin 2 m kalınlığında bir turba birikimi için, zeminin 1.000 yıl gibi bir sürede düzenli olarak toplam 2 m çökmesi gerekir. Sübsidansın, organik madde birikim hızından çok fazla olması durumunda çukur alan, organik madde yerine, çökellerle (kum, şilt gibi) dolar; sonuçta turba oluşmaz. Sübsidansın çok yavaş olması veya olmaması durumunda da oluşan ve biriken organik madde, atmosferle uzun süreli temastan dolayı, zaman içinde oksitlenerek yok olur; turba yine oluşmaz (Ünalan, 2010, s. 24).

"Bir turba bataklığında redoks potansiyeli, hem turba oluşumunda hemde bakteri aktivitesinde birincil öneme sahiptir" (Köksoy, 1985, s. 146).

Turbaların yaşı Kuvaterner'dir. Günümüzde yüksek enlem derecelerine sahip alanlarda (Rusya, İrlanda, iskoçya, Kuzey Almanya, Kuzey Amerika, Kanada gibi) yaygın olarak bulunan turbaların çoğunluğu yaklaşık 12.000 yıl önce sona

eren ve Alpler'de Würm olarak adlandırılan, Kuzey Amerika'daki karşılığı ise Wisconsin olan son buzul çağından sonra, buzulların yerini alan göllerin kenarlarındaki bataklıklarda veya bataklığa dönüşmüş göllerde oluşmuştur (Ünalan, 2010, s. 24).

"Bir turba bataklığındaki, turba yüzeyinde sınırsız oksijen girdisi varken derinlere doğru oksijen girdisi azalmaktadır" (Köksoy, 1985, s. 146).

Dünyada kara alanlarının yaklaşık % 3'ü turba ile kaplıdır. Tropikal bölgelerde 1 m kalınlıktaki turba 500-600 yılda depolanırken, soğuk iklim bölgelerinde 1m turba oluşabilmesi için 1.500-1.700 yıl gerekmektedir. Yani tropikal bölgelerdeki turba birikim hızı daha yüksektir. Diğer yandan 10 m kalınlığa sahip bir turbadan 1 m kalınlıkta kömür oluştuğu hesaplanmaktadır (Ünalan, 2010, s. 24).

"Bir turba kesintisinde tavandan tabana doğru karbon oranı %40-45'ten %55-60'a yükselir. Nem ve boşluklar hızla azalır, sıkışır. Nem oranı turba taşlaşmasının iyi bir göstergesidir" (Özpeker, 1991, s. 20).

Yerindeki saf bir turba (mineral maddesiz) ağırlık olarak %90 su, %10 organik maddeden oluşur. Bu bakımdan yakıt olarak kullanılmadan önce turbanın kurutulması gerekmektedir. Turbanın ısıl gücü oldukça düşüktür. Genelde 1.000 kcal/kg'dan küçüktür. Kurutulmuş turbanın kalorifik gücü ise 4.000-5.000 kcal/kg'a kadar çıkmaktadır. Turbayı oluşturan ana maseral hüminittir. Işık yansıtma derecesi (reftektans) % 0,1- 0,26 arasındadır (Ünalan, 2010, s. 24).

"Kanada, Alaska, ABD, Rusya, Finlandiya, İsveç, Norveç, İngiltere, İrlanda, Almanya, Endonezya gibi ülkelerde büyük turba yatakları bulunmaktadır. Bunlardan yalnızca ABD'de (Alaska dahil) 78 milyar ton turba kaynağı mevcuttur. Dünya yıllık turba üretimi ise 200 milyon tondan fazladır" (Ünalan, 2010, s. 25).

Turbalardan değişik şekillerde yararlanılmaktadır. Termik santrallerde yakıt olarak, tarımda ise saksı ve fide toprağı şeklinde kullanılır. Besin değeri yanında,

toprağın su tutma yeteneğini arttırma özelliğine sahiptir. Rusya Federasyonumda toplam kurulu gücü 5.000 MW olan 18 termik santralde yakıt olarak turba kullanılmaktadır. İrlanda, elektrik gereksiniminin %17'sini turbaya dayalı santrallerden karşılamaktadır. Finlandiya'da da 1972 yılında turbadan elektrik üretimine başlanılmıştır. Türkiye'de birçok turba yatağı mevcuttur (Ünalan, 2010).

Turba yataklarının iz element kapsamı oluştuğu yerin ortamlarından etkilenir. Kuzey Carolina numunelerinde genellikle Ti, Cr ve Pb yüksektir. Anakaya kaynağına yakın buzul yığıntılarındaki yatakların bulunduğu Maine numuneleri daha fazla Zn, Mn, P, Ca, Na ve Fe içerir. Yataklardaki iz elementlerin çeşidi ve miktarları, geniş ölçüde yataklanma yerine, anakayanın çeşitlerine ve turba bataklığına taşınma koşullarına bağlıdır (Cameron, Palmer ve Esterle, 1990).

Rb dağılımı K (potasyum)'u izler, bu karışık tabakalı killer veya illit-mika birlikteliğini düşündürür. Vanadyum orijinal olarak turba içindeki organik bileşikler gibi, kil parçacıklarına bağlı olarak oluşmuş olabilir. Kömürleşme sırasında bu element serbest kalmış olabilir ve killer tarafından adsorbe edilmişlerdir. Stronsiyum, havzanın kenarlarına doğru artar, alümino-silikat elementlerde karole edilmez ve onun dağılımı bataklık içndeki jeokimyasal koşullara yardım eden fosfat mineral aşamasının çökelimine bağlı olabilir. Zirkonyum havza kenarlarına doğru çoğalır, kırıntılı alanlarda zirkon daha yüksek miktarda olabilir. Berilyum ve nikel de havza kenarlarına doğru fazlalaşır. Bu elementler, kömür veya turbanın organik kısımları tarafından havza kenerlarında toplanmış olabilir (Rimmer, 1991).

2.3 Linyit

"Linyit adı, Latince odun anlamına gelen lignum sözcüğünden türetilmiştir. Genellikle taşkömürlerinden daha genç organik çökeller olan linyitler, kahverengi, siyah-kahverengi renklidirler. Dokuları amorf, ağaçsı veya filamanlı olabilir; ihtiva ettikleri su miktarı önemlidir" (Nakoman, 1971, s. 181).

"Linyitlerin yaşı çoğunlukla Tersiyer'dir. Ancak Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı

linyitlerin varlığı bilinmektedir. Örneğin Moskova havzası Karbonifer yaşlı linyitleri ile ünlüdür. Bu havzada, yeterli miktarda gömülme olmadığı için, organik madde ancak linyit aşamasına kadar kömürleşebilmiştir" (Ünalan, 2010, s. 26).

Linyit kömürleri dış görünüşüne göre, yumuşak ve sert linyitler diye ikiye ayrılır. Yumuşak linyitler, %35-75 arasında orijinal neme sahip linyitlerdir. Yumuşak linyitler çok az parça sağlamlığına sahiptir. Ocaktan çıkarılarak depolandıkları takdirde, tamamiyle toz haline gelirler. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar. Sert linyitler yumuşak linyitlere göre daha fazla parça sağlamlığına sahiptir. Orijinal nemi az olan türleri, taşıma ve depolama esnasında fazla tozlanmaz. Orijinal nem oranı arttıkça hem parça sağlamlığı azalır, hemde tozlanma özelliği artar. Bu linyitlerin karbon oranları ve ısı değerleri yumuşak linyitlere göre oldukça fazladır (Kemal ve Arslan, 2010).

Yeraltındaki bir linyitin su (nem) oranı %30-70 dolayındadır. Havada uzun süre bekleyen linyit, suyunu kaybederek kolayca ufalanır hale gelir. Linyitin uçucu madde oranı da yüksektir. Kuru ve külünden arındırılmış örneklerde uçucu madde oranı %45'ten fazla, genellikle %52-64 arasındadır. Bu nedenle kendiliğinden kolayca tutuşabilen bir kömürdür. Dolayısıyla stoklanması, bazı özel önlemlerin alınmasını gerektirir. Uçucu madde oranı yüksek olduğu için fazla duman yayarak, uzun alevle yanan ve çevreyi en çok kirleten kömür çeşididir. Üst ısıl değeri, dmmf bazda, 4.165 kcal/kg'dan (17.435 kJ/kg) küçüktür. Karbon (C) oranı ise %60-70 kadardır. Linyit, koklaşmayan bir kömürdür (Ünalan, 2010).

> Linyitin içinde bulunan kükürt de %1-15 arasında değişebilir. Kömür yandığı zaman bünyesindeki yanıcı kükürt, havanın oksijeni ile birleşerek kükürt dioksit gazı oluşur. Yanmayan kükürtler de sülfat halinde külde kalır. Kömürlerde kükürt oranının fazla olması, bu kömürlerin stoklandıkları zaman kendi kendine ısınma ile yanmalarına neden olur. Kükürde yüksek kömürlerin yakılması çevre kirlenmesi bakımından da büyük önem taşıdığı gibi gazların içindeki su buharı ile sülfürik asit meydana getirerek, kömürün yakıldığı kazanların ızgaralarında ve bacalarında aşınmaya neden olur (Kural, 1988, s. 199).

Tuzlu kömürlerin yakılmasında, düşük ergime sıcaklığına sahip alkali bileşikleri (NaCl, K_2O gibi) yakma zonunda buharlaşmakta ve sıcaklığı daha düşük olan ısıtma yüzeylerinde yoğuşarak, ısı alışverişini düşürmektedir. Diğer taraftan tuzlu kömürler, yakma sisteminde kabuklaşma oluşmasına ve külünde sinterleşerek topaklaşmasına ve dolayısıyla yakma işleminin zorlaşmasına neden olmaktadır. Ayrıca tuzlu kömürlerin yakılmasında, klor ve hidrojenklor gazları oluşabilmektedir. Bu gazlar yakma sistemi için çok aşındırıcı, insan sağlığı içinde çok zararlıdır (Kemal ve Arslan, 2010, s. 17).

"2008 yılı rakamlarına göre dünyanın görünür linyit rezervleri, alt bitümlü kömürlerle birlikte toplam 414 milyar tondur" (Ünalan, 2010, s. 26).

Anadolu'nun hemen her bir köşesinde linyit oluşumuna rastlanmaktadır. Bu özellik, Anadolu'nun jeolejik devrinin linyit oluşumuna uygun olmasından kaynaklanmaktadır. Türkiye'de Zonguldak havzası dışında bulunan tüm kömürler linyit kömürü olarak anılmaktadır (Özdoğan ve Ünver, 1998).

Linyit, Türkiye'de en çok bulunan kömür çeşididir. Toplam linyit rezervimiz, yaklaşık 15,5 milyar tondur (TKİ, 2016).

2.4 Alt Bitümlü Kömür

Alt bitümlü kömür, kömürleşme derecesi bakımından linyit ile taşkömürü arasında yer alır. Koyu kahve-siyah renkli olan bu kömürler, bazı ülkelerde linyitler gibi kahverengi kömür grubuna dahil edilmektedir. Ayrıca alt bitümlü kömürlere siyah linyit adı da verilmektedir. Linyitler ve alt bitümlü kömürler düşük ranklı kömür grubuna dahildir. Alt bitümlü kömürler de kendiliğinden tutuşmaya elverişlidir. Su kapsamları linyitten düşük, % 8-25 arasındadır. Havada kurutulduğunda, linyit kadar olmasa da ufalanır. Karbon (C) oranı %70-80 dolayında, üst ısıl değeri, kuru ve mineral maddesiz örneklerde (dmrmf) 4.165-5.700 kcal/kg arasındadır. Uçucu madde oranı daf (Kuru ve külsüz) bazda

%42'den fazla, genellikle %42-52 arasındadır. Alt bitümlü kömürler de linyitler gibi, koklaşmayan kömürlerdir. Alt bitümlü kömürler ve linyitler, en çok termik santrallerde elektrik üretiminde kullanılır. Türkiye'de önceleri linyit olarak bilinen Eosen ve Miyosen yaşlı kömürlerin bir bölümünün, daha sonra yapılan çalışmalarla, alt bitümlü kömür oldukları belirlenmiştir (Ünalan, 2010, s. 27).

2.5 Taşkömürü

"Taşkömürü, bitümlü kömür şeklinde de adlandırılmaktadır. Koyu grisiyah renkli ve serttir. Birbiriyle ardalanma sunan parlak ve mat bantlardan oluştuğu için bantlı bir yapıya sahiptir. Dokunulduğunda parmakları boyar" (Ünalan, 2010, s. 27).

Taş kömürleri temelde paleozoik ve mesozoikin başında teşekkül etmiş siyah renkli sert kömürler olup, turba ve linytler gibi bitkisel artıklardan meydana gelmiştir (Nakoman, 1971)

Bu kömürlerde birbirine dik iki sistem şeklinde gelişen ve katmanlanmaya dik çatlaklar yaygındır. Bu çatlaklara klit denilmektedir. Bundan dolayı da taşkömürü dikdörtgen prizmalar şeklinde dilimlenir. Taşkömürü, hava ile uzun süre temasta kalsa da, düşük ranklı kömürler (linyit ve alt bitümlü kömür) gibi ufalanmaz. Nem oranı %5-10, C oranı (daf) %80-90, uçucu madde oranı ise, daf (kuru, külsüz) bazda %14-42, vitrinit yansıtma derecesi 0,5-2 arasındadır. Kalorifik gücü ise maf bazda 5.700 kcal/kg'dan büyüktür (Ünalan, 2010, s. 28).

"Genellikle az veya çok bantlı yapıya sahiptir. Bu kömürlerin parlaklığı farklı bantlara göre değişiklik gösterir. Bu bantların rengi parlak ve mat olabilir. Bazı bantlar ele alındığında parmakları boyar" (Köksoy, 1985, s. 151).

Taşkömürleri, uçucu madde (volatile matter) yüzdesine bağlı olarak yüksek uçuculu taşkömürü, orta uçuculu taşkömürü ve düşük uçuculu taşkömürü olmak üzere üç alt gruba ayrılmaktadır. Yüksek uçuculu taşkömürünün uçucu madde oranı, daf bazda, %31'den fazla, %31-42 arasındadır. Orta uçuculu

taşkömürlerininki %22-31, düşük uçuculu olanlarınki ise %14-22 kadardır. Bazı taşkömürleri kok üretimine uygundur. Bunlara koklaşabilir kömür denir. Diğerleri ise bu işlem için uygun olmayıp, ancak termik santrallerde yakıt olarak kullanılmaya elverişlidir. Bu tür taşkömürlerine de buhar kömürü denilir (Ünalan, 2010, s. 28).

Taş kömürleri, az kömürleşmeye uğramış, genç taşkömürüyle (uçucu madde oranı %36'nın üzerinde), ileri kömürleşmeye uğramış taşkömürleri (uçucu madde oranı %18'in altında) koklaşma özelliğine sahip değildir. Uçucu madde oranı %18-36 (saf kömürde) arasında olan taşkömürleri belirli oranda koklaşma özelliğine sahiptir (Kemal ve Arslan, 2010).

"2008 yılı rakamlarına göre yeryüzünde, antrasitlerle birlikte, toplam olarak 411 milyar ton görünür taşkömürü rezervi mevcuttur" (Ünalan, 2010, s. 28).

Dünyadaki taşkömürü kaynak ve rezervlerin büyük bir bölümü kuzey yarımküresinde toplanmıştır.

"Türkiye'nin önemli tek taşkömürü yatağı Zonguldak'tadır. Buradaki yatağın toplam rezervi 1,33 milyar tondur" (Ünalan, 2010, s. 28).

2.6 Antrasit

"Antrasit parlak, siyah renkli, çok sert, kırılgan ve koklaşmayan bir kömürdür. Kömürler içinde en sert olanıdır. Midye kabuğu şeklinde kırıklanması olup metalik bir parlaklığa sahiptir" (Ünalan, 2010, s. 28).

Basıncın kömürün fiziksel yapısı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Basınç, kömürün gözenekliliğini azaltır. Kömürlerin içerisinde gözenek azlığı nedeniyle düşük derecede nem içerir (Köksoy, 1985).

Antrasit, bir sedimanter havzada gömülmeye bağlı kömürleşme olayının en son

aşamasını temsil eder. Metaantrasit ve grafit ise gerçek anlamdaki metamorfizma evresinde oluşur. Normal koşullarda, bir sedimanter havzanın tabanındaki yer sıcaklığı ve litostatik basınç, metaantrasit ve grafit oluşması için yeterli olmamaktadır (Ünalan, 2010, s. 29).

Antrasite elle dokunulduğunda parmakları boyamaz. Yavaş ve duman yaymaksızın yanar. Bu nedenle dumansız yakıt şeklinde de adlandırılır. Sabit karbon oranı çok yüksektir. Kuru ve mineral maddesiz (dmmf) örneklerde %92-98 kadardır. Uçucu madde ve nem oranları ise çok düşüktür (sırasıyla %2-8 ve %2). Kalorifik gücü maf bazda 5.700 kcal/kg'dan büyüktür. 8.600 kcal/kg'a kadar çıkabilmektedir. Vitrinit yansıtma derecesi (R_m) %2,5-4 arasındadır (Ünalan, 2010, s. 29).

"Antrasit, demir-çelik, cam ve kimya sanayinde, ayrıca teshinde kullanılan bir kömürdür. Belli başlı antrasit üreten ülkeler arasında Çin ve Güney Afrika bulunmaktadır. Türkiye'de antrasit yatağı yoktur" (Ünalan, 2010, s. 29).

Kömür çeşitleri içerisinde antrasit en sert olanıdır. Özgül ağırlığı 1,27 gr/cm^3 ile 1,7 gr/cm^3 arasındadır (Kural, 1991).

"Kömürleşme derecesine göre taşkömürü ile antrasit arasında yarı-antrasit yer almaktadır. Yarı-antrasitin sabit karbon oranı dmmf bazda %86-92, uçucu madde oranı ise % 8-14 arasındadır. Vitrinit yansıtma derecesi %2-2,5 kadardır" (Ünalan, 2010, s. 29).

Antrasitin kalori değeri çoğunlukla taşkömüründen azdır.

"Kömürleşme sürecinde antrasitin ötesinde, düşük dereceli metamorfizma koşullarında oluşan metaantrasit bulunur. Metaantrasitin R_o değeri %4-5 dolayındadır. C oranı %98'den fazla, uçucu madde oranı (daf) ise %2'den küçüktür" (Ünalan, 2010, s. 29).

2.7 Kok

Kül ve kükürt oranı düşük taşkömürünün havasız (oksijensiz) ortamda, yaklaşık 1.000 °C'de damıtılarak uçucu maddelerinden arındırılması sonucu elde edilen koyu gri renkli, sert, gözenekli ve C oranı çok yüksek olan kömüre kok denir. Kok üretimi sırasında yan ürün olarak kömür katranı, amonyak, hafif kömür petrolü ve kömür gazı (kokhane gazı, kok gazı) elde edilir (Ünalan, 2010, s. 29).

Koklaşabilen kömürlerde, kimyasal yapı olarak hidrojen ve oksijen arasındaki oran çok önemlidir. Hidrojen/oksijen oranı %58'den büyükse kömür iyi koklaşmaktadır. Oran %55'den küçükse kömürlerin koklaşmadığı kabul edilmektedir. Bundan farklı olarak kömürün koklaşabilmesi için %25-30 oranında uçucu madde içermesi gerekir. %20'den daha az uçucu madde içeren kömürler koklaşma özelliği göstermez (Ateşok, 1991).

"Kok, dumansız ve kokusuz ikincil enerji kaynağıdır. Isıl gücü yaklaşık 29 MJ/kg (7.000 kcal/kg)'dır. Esas olarak demir-çelik sanayinde, demir madeninin ergitilmesinde yakıt olarak kullanılır" (Ünalan, 2010, s. 30).

2.8 Asfaltit

Ham petrolün jeolojik zaman içinde oksitlenmesi ve uçucu maddelerini kaybederek katılaşması sonucu oluşan, sert, siyah renkli bir çeşit bitümdür. Jilsonit, glance zifti, grahamit gibi çeşitleri bulunur. Güneydoğu Anadolu bölgesinde yatakları mevcuttur. Gerçek anlamda bir kömür olmasa da, Türkiye'de kömür gibi, katı yakıt olarak kullanılan enerji kaynağıdır (Ünalan, 2010, s. 31).

Asfaltit maddelerde oksijen ortalama %3 civarındayken, farklı kömür türlerinde bu oran %3-44 arasında değişmektedir. Asfaltitler karbon sülfürde %60-90 oranında çözünür ve 120-315 ^{o}C arasında erir (Kural, 1991).

2.9 Bitümlü Şist

Bitümlü şist; ısıtıldığında önemli miktarda organik yağ elde edilen, petrol çözücülerde çözülmeyen, otokton olarak bulunan ve bitüm veya kerajen adları verilen organik maddeler içeren sedimanter kayaçtır (Köksoy, 1985).

Bitümlü şist, önemli miktarda sapropelik kerojen (I. veya II. Tip kerojen) kapsayan, ince taneli, çoğu zaman laminalı bir sedimanter kayadır. Kerojen kapsadığı için bir enerji kaynağıdır. Bitümlü şistleri bir kömür gibi, termik santrallerde yakıt olarak kullanmak ya da havasız ortamda 500-550 °C'ye kadar ısıtarak bunlardan şist petrolü veya şist gazı üretmek olanaklıdır. Türkiye'de birçok bitümlü şist yatağı bulunmakla birlikte, günümüzde üretim veya tüketimleri söz konusu değildir (Ünalan, 2010, s. 31).

Şoklara dirençleri büyük olup, çoğunlukla fleksibildirler (Nakoman, 1971). Genellikle ince taneli ve yapraklı yapıda olan ve "kerojen" adlı organik madde içeren, ısıtıldığı zaman sentetik petrol ve gaz üretilebilen tortul kayalar için kullanılır. Bitümlü şeyler organik ve inorganik bileşenlerden oluşurlar. Bu bileşenler beraberce çökelir ve tozlaşırlar. Bitümlü şeyllerin rengi siyah-kahvereni, kırmızımsı olabilir. Kırılma yüzeyleri konkoidal, bazen topraksızdır. Özgül ağırlığı içerdikleri inorganik madde oranına göre 1,75 ile 2,25 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Özgül ağırlığı düşük olan bitümlü şeyler organik maddece daha zengindir. Bitümlü Şeyllerin %66-68 karbon, %7-13 hidrojen, %1-24 oksijen, %0,1-3 azot ve %0,1-9 kükürt ile eser elementler olan B, P, Br ve Cr içerdikleri saptanmıştır. Isıl değeri ortalama 1.000 kcal/kg'dır (Kural, 1991, s.849).

BÖLÜM ÜÇ
DÜNYA KÖMÜR POTANSİYELİ – TÜKETİMİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUM

3.1 Giriş

Kömür, 18. yüzyılda Avrupa'da Sanayi Devrimi'nin (Birinci Sanayi Devrimi) doğmasına neden olan enerji kaynağıdır. Önemini 250 yıldır korumuş ve önümüzdeki uzun yıllar boyunca da koruması beklenmektedir. Çünkü kömür, halen dünyada en bol bulunan fosil enerji kaynağıdır. Enerji içeriği de dikkate alındığında, bilinen kömür rezervleri, petrol ve doğal gaz rezervlerinin toplamından çok daha fazladır. Dünya petrol ve doğal gaz rezervlerinin gelecek 50-60 yılsonunda tükenmesi beklenmektedir. Bunun ardından geriye tek fosil enerji kaynağı (bitümlü şistler ve asfaltlı kumlar dışında) olarak kalacak olan kömürün, o tarihten sonra dünyaya en az 70 yıl daha yeterli olacağı hesaplanmaktadır. Rezerv ve coğrafik dağılım yönüyle avantajlarına karşılık kömür, üretiminden tüketimine kadar her aşamada, yerel ya da küresel ölçekli, fakat önemli çevre sorunlarına neden olabilen bir enerji kaynağıdır (Ünalan, 2010, s. 3).

Uluslararası Enerji Ajansı (UEA)'nın farklı senaryolar için yapmış olduğu projeksiyonlara göre 13,5 milyar ton eşdeğer petrol (TEP) olan dünya birincil enerji talebinin 2040 yılında; Mevcut enerji politikaları ile devam senaryosuna göre %45 oranında artışla 19,6 milyar TEP, yeni politikalar senaryosuna göre %32 oranında artış ile 17,9 milyar TEP, 450 ppm senaryosuna göre %12 oranında bir artışla 15,2 milyar TEP'e ulaşması beklenmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı – ETKB, 2016, s.3). Söz konusu senaryoların tamamına göre 2040 yılına kadar olan dönemde kömür ve petrolün paylarının nispeten azalmasına rağmen fosil yakıtlar hâkim kaynaklar olmaya devam edecektir. Dünya birincil enerji kaynaklarının %81'ini oluşturan fosil yakıtların 2040 yılındaki payı, mevcut enerji politikaları ile devam senaryosuna göre %79'a, yeni politikalar senaryosuna göre %75'e ve 450 ppm senaryosuna göre %60'a düşecektir. UEA

projeksiyonlarına göre 2040 yılı birincil enerji talebinde kömürün payı, mevcut politikalar ile devam edilmesi durumunda %28,6, yeni politikalar senaryosuna göre %24,6 ve 450 ppm senaryosuna göre %16,4'tür. Petrol ve doğal gazın payı her iki senaryoda da önemli derecede farklılıklar göstermemekte ve petrolün payının yüzde 27 ve doğal gazın payının yüzde 24, 450 ppm senaryosunda ise petrol ve doğal gazın paylarının yüzde 22 seviyelerinde olacağı tahmin edilmektedir. Nükleer enerjinin birincil enerji kaynakları içinde payı %4,8 iken, 2040 yılında mevcut enerji politikaları ile devam senaryosuna göre %5,3'te olması beklenirken, yeni politikalar senaryosuna göre %6,7'ye ve 450 ppm senaryosuna göre %10,7'e çıkacağı düşünülmektedir. Projeksiyonlar, nükleer enerjinin enerji kaynakları içindeki payının artacağını göstermektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının 2040 yılındaki payının ise mevcut politikalar senaryosuna göre %12,8 oranında, yeni politikalar senaryosuna göre %15,7 ve 450 ppm senaryosuna göre ise %25 olacağı beklenmektedir. Projeksiyonlar, enerji tüketimindeki artışın OECD üyesi olmayan ülkelerden kaynaklanacağını göstermektedir. Elektrik üretimi için kullanılan enerji miktarının 2040 yılına kadar yıllık ortalama %2 olmak üzere %70 oranında artacağı beklenmekte olup bu artış, küresel birincil enerji büyüme oranının %42'sine karşılık gelmektedir. Sanayide kullanılan birincil enerji tüketiminde %81 oranında artış öngörülmekte olup bu oran, dünya birincil enerji büyüme oranının %50'sini oluşturmaktadır. 2040 yılına kadar olan süreçte; yenilenebilir kaynaklar yıllık ortalama %3 büyüme payları ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynaklarıdır. Nükleer enerji yıllık ortalama %3 ve hidroelektrik yıllık ortalama %2,3 büyüme oranına sahip olacaktır. Bu iki kaynağın büyüme oranı, toplam birincil enerjinin büyüme oranından daha fazladır. Fosil yakıtlar arasında en fazla büyüme oranına sahip olan kaynak yıllık ortalama %1,7 büyüme oranı ile doğal gazdır. Doğal gazı sırasıyla yıllık ortalama %0,5 büyüme oranları ile kömür ve petrol izlemektedir (ETKB, 2016, s.5).

3.2 Tarihçe

Çin'de günümüzden 3.000 yıl önce ısınma amaçlı olarak ve de bakır madeninin ergitilmesinde kömür kullanıldığı bilinmektedir. Romalılar MS 4. yüzyılda

İngiltere'de kömür kullanmışlardır. Fransa'da 13. yüzyılda, yüzeydeki kömür mostralarından basit işletme yöntemleri ile kömür üretimi yapılmıştır. 1300'lü yıllarda Kuzey Amerika'da Arizona'da yaşayan Hopi yerlileri ısınma, pişirme ve çömlek kurutma işlerinde kömürden yararlanmışlardır. Illinois vadisinde (ABD) 1679 yılında gezginler tarafından bulunan kömür, 1740'larda üretilmeye başlanmıştır. Türkiye'de ise taşkömürü 1829 yılında Zonguldak'ta bir denizci er olan Uzun Mehmet tarafından keşfedilmiş ve üretimine 1848 yılında başlanmıştır. Ancak 18. yüzyıla kadar olan dönemde dünyada kömür kullanımı oldukça sınırlıdır. Buna karşılık odun en önemli enerji kaynağı konumundadır. Bu dönemde madenlerin ergitilmesinde ve küçük atölyelerde odundan yapılan odun kömürü (mangal kömürü) daha yaygın bir şekilde kullanılmıştır. 1709 yılında İngiliz Abraham Darby (1677-1717), ilk kez Shropshire bölgesindeki Coalbrookdale'de taşkömüründen elde edilen ve daha fazla enerji sağlayan kok kömürünü demir cevherinin ergitilmesinde kullanmış ve o güne kadar bu işlem için kullanılan odun kömürüne oranla çok daha yüksek bir verim elde etmiştir. Ayrıca odun kömürü yerine kokun kullanılmaya başlanmasıyla Avrupa'da ormanlar, aşırı ağaç kesimi nedeniyle yok olmaktan kurtarılmıştır. 1763'te İskoçyalı mühendis ve Avrupa Sanayi Devrimi'nin baş mimarlarından olan James Watt, daha önce T. Newcomen tarafından üretilen bir makineyi geliştirerek, kömürle çalışan, döner hareketli ve kondansörlü ilk buharlı makineyi yapmıştır. Buharlı makinenin icadından sonra küçük atölyelerde insan, su veya hayvan gücüyle yapılan üretimin yerini, fabrikalarda buharlı makinelerle yapılan üretim almaya başlamıştır. İlk buharlı makineler, kömür ocaklarında biriken suyun pompalarla dışarı atılmasında kullanılmıştır (Ünalan, 2010, s. 4).

Kömür kullanan buharlı makine, İngiltere'de Sanayi Devrimi'nin başlangıcı ve aynı zamanda itici gücü olarak kabul edilmektedir. Sanayi Devrimi, İngiltere'den sonra, başta Almanya ve Fransa olmak üzere diğer Avrupa ülkelerine ve Kuzey Amerika'ya yayılmıştır. 1779'da İngiltere'de, yukarıda sözü edilen Coalbrookdale'in yakınından geçen Severn nehri üzerinde, Abraham Darby ili tarafından (Abraham Darby'nin torunu) dünyanın ilk dökme demir köprüsü yapılmıştır. Köprünün yapımında kullanılan demir, kok kömürü kullanılarak

üretilmiştir. The Ironbridge olarak adlandırılan bu köprü, Avrupa Sanayi Devrimi'nin sembolü olarak nitelendirilmektedir. Köprünün bulunduğu Shropshire-Telford bölgesi, kömür dahil olmak üzere önemli yer altı zenginlikleri olan bir sanayi bölgesi olduğundan "Sanayi Devrimi'nin doğum yeri " olarak anılmaktadır. 1792'de İskoçyalı mühendis William Murdock (1754-1839), taşkömürünü ısıtarak elde ettiği metan gazının ev ve sokak aydınlatmasında kullanılmasını sağlamıştır. ABD'de kömür gazının aydınlanmada kullanımı 1796'da Pensilvania'da başlamıştır (Ünalan, 2010, s. 4).

Kömür gazının aydınlanmada kullanılmasıyla, fabrikalarda yalnızca gündüz değil, aynı zamanda geceleri de çalışma olanağı bulunmuş; vardiya şeklinde çalışmaya başlanmış ve sonuçta üretim artmıştır. 1804'te İngiliz Richard Trevithick, demir madeni ve kömür taşımacılığında kullanılmak üzere, ray üzerinde hareket eden, saatte ancak 8 km hız yapabilen ve Penydarren adını taşıyan ilk buharlı lokomotifi yapmıştır (Ünalan, 2010, s. 5).

Bunun ardından 1825 yılında dünyanın ilk demiryolu, yine kömür taşımak amacıyla Ingiltere'de Newcastle dolaylarında, Stockton ve Darlington arasında kurulmuştur. Daha sonra 1828'de Fransa, 1832'de ABD, 1835'te Almanya, 1839'da Hollanda ve İtalya'da ilk demiryolları yapılmıştır. Bunu izleyen yıllarda, demiryollarının gelişmesi ile kömür ve diğer madenlerin taşınmasının yanı sıra, insanların taşınmaya başlamasıyla iletişim ve ticaret gelişmiş ve bunun paralelinde Avrupa'nın çehresi değişmiştir. Thomas Alva Edison, 1879'da elektrik ampulünü keşfetmiş; 1882 yılında ABD'nin kömürle çalışan 125 beygir gücündeki ilk elektrik santralini (Pearl Street termik santrali) New York, Manhattan'da kurmuştur (Dünyanın ilk hidroelektrik santrali ise 1881 yılında Londra'nın güneybatısında Godalming'te faaliyete geçmiştir). 1884 yılında Pearl Street santralinde elde edilen elektrik ve yine Edison tarafından üretilen 10.000 adet ampulle New York'ta sokakların ve evlerin aydınlanması sağlanmıştır. Bu şekilde, o tarihe kadar şehirlerde aydınlatma için kullanılan kömür gazının yerine, elektrik lambaları kullanılmaya başlanmıştır (Edison ayrıca fonografı ve kinetoskopu yapan, 1093 adet patent sahibi olan bir mucittir. Aynı zamanda

General Electric Company'nin kurucusudur) (Ünalan, 2010, s. 6).

Görüldüğü gibi kömür, 18. yüzyılda İngiltere'de başlayan, bir süre sonra Avrupa'ya ve Kuzey Amerika'ya yayılan Sanayi Devrimi'nin en önemli enerji hammaddesidir. 19. yüzyıl sonunda sırasıyla İngiltere ve Almanya, en fazla kömür üreten ve de en fazla sanayileşmiş iki ülkedir. Çelik üretiminde Almanya birinci sıradadır. Çelik üretiminin yaygınlaşmasıyla başta Almanya olmak üzere, İngiltere, Fransa ve ABD'de silah üretimi başlamış ve bunun paralelinde kara ve denizlerde egemenlik yarışına girilmiştir. 1950 yılına kadar olan dönemde, kömür bütün dünyada en önemli enerji kaynağı konumunda iken, 1950'li yıllardan sonra petrol ve doğal gaz kullanımının yaygınlaşması ve nükleer enerjinin devreye girmesiyle, kömürün üretimi ve de tüketimi artmaya devam etmesine rağmen, dünyada toplam birincil enerji kaynakları tüketimi içindeki payı giderek azalmıştır (Ünalan, 2010, s. 7).

Kömür ve kömür ürünlerinin toplam birincil enerji tüketimi içerisindeki payı, 1970'den günümüze kadar çok az artış göstererek %29'a ulaşmıştır. 1971'de payı %16 olan doğal gaz, toplamdaki payını 1990 yılından sonra %19'a çıkarmış, sonraki on yılda %1 daha arttırmış ve bu seviyede devam ettirmiştir. 1971 yılında %43 ile toplam tüketimde önemli bir yer tutan petrolün payı giderek azalmış, günümüzde %29'a kadar düşmüştür. 1971 yılında %61 ile ilk sırada yer alan OECD'nin payı giderek azalarak, 2012 yılına gelindiğinde ise %39'a gerilemiştir. Son 40 yıllık döneme bakıldığında, Çin ve ABD toplam küresel tüketimin yaklaşık %40'ını oluşturmuştur. Ancak, ABD'nin pastadaki payı giderek azalırken, Çin'in payı artmıştır (Maden Mühendisleri Odası– [MMO], 2015, s.20).

1970'li yıllarda yaşanan petrol krizleri (1973 ve 1978) ile birlikte petrol ve doğal gaz fiyatlarında büyük artışların meydana gelmesi ve nükleer enerjinin öngörüldüğü kadar gelişme sağlayamaması, özellikle önemli kömür rezervleri olan ülkelerin kömüre daha fazla yönelmelerine neden olmuştur. Shell, Texaco, Dow Chemical gibi büyük şirketler, çevre kaygılarını da dikkate alarak, kömürün gazlaştırılması ve elde edilecek gazın termik santrallerde kömür yerine

kullanılmasına yönelik araştırma projelerini başlatmıştır. Kömürden elde edilen gazla çalışan ilk termik santral 1984 yılında Eastman Chemical Company tarafından ABD'de Tennessee- Knoxville'de kurulmuştur 1990'1ı yılların başında yine ABD'de, hükümetin de desteği ile IGCC (Entegre Kömür Gazlaştırma Kombine Çevrim) santralleri kurulmaya başlanmış ve bu santraller daha sonra Avrupa'ya yayılmıştır. Yine 1970'1i yıllarda yaşanan petrol krizlerinin ardından, gelişmiş batı ülkeleri yeni enerji kaynaklan arayışı içine girmiş, yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgar, güneş, biyo-kütle ve jeotermal enerji araştırmaları ve kullanımında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Son yıllarda kömür kullanımının çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indirmek amacıyla yapılan yoğun araştırma ve uygulamalara rağmen, gelişmiş Avrupa ülkelerinin birçoğunda kömür üretiminden ve de tüketiminden bir kaçış yaşanmıştır. Örneğin Fransa, 1958 yılında 60 milyon tona varan kömür üretimini 1970 yılından sonra düzenli olarak azaltmış, 2004 yılında Lorraine bölgesinde bulunan son kömür ocağını (La Houve) da kapatarak üretimi tamamen durdurmuştur. Gereksinim duyduğu kömürün tamamını ithal yoluyla karşılamaya başlamış; 2005 yılında 21,5 milyon ton taşkömürü ithal etmiştir. Hollanda kömür üretimine 1974 yılında, Belçika ise 1992'de son vermiştir. Almanya, İngiltere, Polonya gibi önemli kömür rezervleri olan ülkelerin de son yıllardaki üretimlerinde önemli düşüşler kaydedilmiştir. Almanya 2018 yılına kadar kömür ocaklarının tamamını kapatmayı planlamaktadır. Buna karşılık Çin, Hindistan, Avustralya, Güney Afrika gibi bazı büyük rezervlere sahip ülkelerde, Avrupa'daki gidişin tersine, kömür üretim ve tüketiminde hızlı bir artış görülmektedir (Ünalan, 2010, s. 7).

2008 yılı Temmuz ayında ham petrolün varil fiyatı 147 ABD dolarına kadar yükselmiştir. Aynı yılın Ağustos ayında 118 dolara, Eylül ayında 91, Kasım ayında 50, Aralık ayında 40 dolara kadar gerilemiştir. 2010 yılı Mayıs ayı itibarıyla petrolün varil fiyatı 70-80 dolar civarındadır. Fiyatların bu düzeyde kalması ya da önümüzdeki yıllarda yeniden artması durumunda, dünyadaki kömür üretimi ve tüketiminin bundan etkilenmesi, özellikle gelişmekte olan ülkelerde ve de Çin, Hindistan gibi büyük rezervlere sahip olan ülkelerde kömürün toplam enerji tüketimi içindeki payının giderek artması beklenmektedir. Bu arada, 2006

yılında Fransa ve Ingiltere'de yaşanan iki ilginç gelişmeden söz etmekte yarar bulunmaktadır (Ünalan, 2010, s. 7).

2004 yılında son kömür ocağını kapatarak kendi topraklarında kömür üretimine son veren Fransa'da, artan petrol fiyatları ve enerji talebi nedenleriyle, önceki yıllarda keşfedilmiş bir kömür yatağının üretime alınması ve bu kömürün sahada kurulacak 1.000 MW gücündeki akışkan yataklı bir termik santralde kullanılması planlanmıştır. 1981 yılında BRGM tarafından, merkezi Fransa'da Nievre sınırları içinde keşfedilen bu kömür sahasında (Lucenay-les-Aix sahası) açık işletmeye uygun 250 milyon ton taşkömürü bulunmaktadır. Planlanan santral 2011 yılında devreye girecek ve Fransa'nın elektrik ihtiyacının %1'ini karşılayacaktır. Bazı sivil toplum kuruluşlarının karşı çıkmasına rağmen bu proje, Fransa'da "kömürün geri dönüşü" projesi şeklinde değerlendirilmektedir. Benzer şekilde, İngiltere'de South Yorkshire'da bulunan ve 2004 yılında kapatılan Hatfield kömür ocağı artan petrol ve doğal gaz fiyatlarından dolayı 2007 yılı Nisan ayında yeniden üretime alınmıştır. 100 milyon tondan fazla kömür rezervi bulunan bu sahada yıllık olarak 2,5 milyon ton kömür üretimi öngörülmekte ve üretilen kömürün gazlaştırılarak, aynı sahada kurulacak 900 MW gücündeki IGCC (Entegre Kömür Gazlaştırma Kombine Çevrim) tipi bir termik santralde kullanılması planlanmaktadır (Ünalan, 2010, s. 8).

3.3 Dünya Kömür Rezervleri

Dünyanın en büyük kömür yatakları ABD, Rusya, Çin, Avustralya, Hindistan, G. Afrika, Ukrayna, Kazakistan gibi ülkelerde bulunmaktadır. Yeryüzündeki toplam kömür miktarı, araştırmacılar tarafından hem kaynak, hem de rezerv olmak üzere ayrı ayrı hesaplanmaktadır. Ayrıca rakamlar milyon ton kömür, milyon Tep (ton petrol eşdeğeri) veya milyon Tec (ton kömür eşdeğeri) gibi değişik şekillerde verilmektedir (Ünalan, 2010, s. 8).

"Yeryüzündeki kömür kaynakları (ekonomik olup olmadığı dikkate alınmaksızın, yeraltında bulunan kömür miktarı) toplam 10.000 milyar ton kadardır. Bu da 5,508

milyar Tec taşkömürü, 1,160 milyar Tec linyit olmak üzere toplam 6,668 milyar Tec'e karşılık gelmektedir" (Ünalan, 2010, s. 8).

> Dünyanın görünür kömür rezervleri (teknik ve ekonomik bakımdan işletilebilirliği saptanmış olan kaynak) diğer yeraltı kaynaklarında olduğu gibi, bir yazardan diğerine farklılık göstermektedir. Çünkü bazı ülkeler gerçek rezervlerini bildirmek ya da yayımlamak istememekte, diğerleri de mevcut rezervlerini sürekli olarak gözden geçirmedikleri için bir önceki yıla ait rakamları bildirmekle yetinmektedir. Ayrıca son yıllarda İngiltere, Almanya ve Fransa gibi ülkeler, günümüzün ekonomik koşulları ve çevre faktörlerini dikkate alarak mevcut rezervlerini büyük ölçüde düşürmüşlerdir. Tarafından yıllık olarak yayınlanan Statistical Review of World Energy, 2007, 2008 ve 2009 rakamları esas alınmıştır (Ünalan, 2010, s. 8).

Dünya kömür rezervlerinin dağılımı; Linyit 377 milyar ton %34 ve taşkömür 723 milyar ton %66 olmak üzere toplam 1,1 trilyon ton dur (TKİ, 2016).

> Dünyada en fazla rezerve sahip olan ve belirli bir bölgede yoğunlaşmamış bir enerji kaynağı olan kömür en fazla kullanılan enerji kaynağı durumunda olup önümüzdeki yıllarda da stratejik önemini koruyacaktır. UEA'nın yayınlamış olduğu dünya kömür rezerv bilgisine göre yaklaşık 968 milyar ton kesinleşmiş kömür rezervi bulunmaktadır. Bu rezervin %55,7'sine karşılık gelen 539 milyar ton kömür ABD, Rusya ve Çin'de bulunmaktadır. Dünya kömür üretimi incelendiğinde ise 2014 yılında toplam 8,02 milyar ton üretim gerçekleşmiş olup bu üretimin %46,7'sine denk gelen 3,8 milyar ton üretimi Çin tek başına yapmış ve bu ülkeyi ABD, Avusturalya ve Hindistan'ın takip etmiştir. ABD 916,2 milyon ton, Hindistan 668,4 milyon ton ve Avusturalya 491,2 milyon ton üretim yapmışlardır. Bölgelere göre kesinleşmiş kömür rezervleri tablo 3.1 de görüleceği üzere Asya Pasifik, ve Avrupa Avrasya ve Kuzey Amerika'da yaygın olarak bulunmaktadır (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı – [ETKB], 2016, s.13).

Tablo 3.1 Bölgelere göre kesinleşmiş kömür rezervleri (ETKB, 2016).

Bölge	Kanıtlanmış Rezervler (Milyar ton)	Dünya Topmamındaki Payı (%)
Asya Pasifik	364	37,6
Avrupa Avrasya	314	32,4
Kuzey Amerika	263	27,2
Ortadoğu ve Afrika	14	1,5
Güney ve Orta Amerika	13	1,3
Dünya Toplamı	968	100

Dünya genelinde kömür rezervlerinin 310,5 milyar tonu (%34,8) Avrupa-Avrasya ülkelerinde, 288,3 milyar tonu (%32,3) Asya-Pasifik ülkelerinde, 245 milyar tonu (%27,5) Kuzey Amerika ülkelerinde, 33 milyar ton (%3,7) Afrika-Doğu Akdeniz ülkelerinde ve 14,6 milyar ton (%1,6) Orta ve Güney Amerika ülkelerinde bulunmaktadır. Dünya Enerji Konseyi tarafından 75 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinin en büyük kısmı (237,3 milyar ton) ABD'de yer almaktadır. ABD'yi 157 milyar ton ile Rusya Federasyonu ve 114,5 milyar ton ile Çin izlemektedir. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Avustralya (76,4 milyar ton), Hindistan (60,6 milyar ton), Almanya (40,7 milyar ton), Ukrayna (33,9 milyar ton), Kazakistan (33,6 milyar ton) ve Güney Afrika Cumhuriyeti (30,2 milyar ton) bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90'dan fazlası bu 9 ülkenin sınırları içinde yer almaktadır. Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 861 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 405 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 261 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 195 milyar tonu ise linyit kategorisindedir. Dünya 2012 yılı toplam kömür üretimi dikkate alındığında, küresel kömür rezervlerinin yaklaşık 142 yıl ömrü bulunduğu hesaplanmaktadır (ETKB, b.t.b).

3.4 Dünya Kömür Üretimi

Yeryüzünde 2.000'den fazla kömürlü sedimanter havza belirlenmiş olup 60'tan fazla ülkede üretim yapılmaktadır. 2008 yılı dünya toplam üretimi 3.325 milyon

Tep'tir (yaklaşık 6,8 milyar ton kömür). Üretimde en büyük pay 1.414 milyon Tep ile Çin'e aittir. Çin'in dünya kömür üretimindeki payı % 42,5'tir. Bu ülkeyi sırasıyla ABD (597 milyon Tep), Avustralya (220 milyon Tep), Hindistan (194 milyon Tep), Rusya Federasyonu (153 milyon Tep), Güney Afrika (141 milyon Tep) izlemektedir. 1998-2008 arası 10 yıllık dönem esas alındığında, dünya kömür üretimi %49 oranındaki bir artışla 2.227 milyon Tep'ten 3.325 milyon Tep'e yükselmiştir. Aynı dönemde Çin'in üretimi iki kattan fazla artmış; Avustralya, Hindistan, Güney Afrika, Rusya Federasyonu, Endonezya, Kolombiya gibi ülkelerde de önemli üretim artışları gerçekleşmiştir. Bu arada Almanya, Ingiltere, Polonya ve Fransa gibi bazı Avrupa ülkelerinde üretim düşmüştür. Fransa'da kömür üretimi 2004 yılında tamamen durdurulmuştur. Belçika'da ise üretime 1992 yılında son verilmiştir. Günümüzdeki toplam görünür rezervi ve yıllık üretim miktarı dikkate alındığında kömürün dünyaya yeterlilik süresi (rezerv/üretim) 122 yıldır. Petrolün ve doğal gazın yeterlilik süreleri ise sırasıyla 42 ve 60,4 yıldır. Ancak bu rakamlar bugünkü görünür rezerv ve üretim miktarlarına göre hesaplanmıştır. Muhtemel ve mümkün rezervler dikkate alınmamıştır. Gelecek yıllarda yapılacak çalışmalarla muhtemel ve mümkün rezervlerin en azından bir bölümü görünür rezerve dönüştürülecektir. Diğer yandan tüketimde de önemli değişiklikler meydana gelebilecektir. Bu durumda yukarıda adı geçen kaynakların yeterlilik süreleri de değişecektir. 1960'lı yıllarda, geleceğe yönelik olarak yapılan tahminlerde, örneğin petrolün 40-50 yıl içinde tükeneceği öne sürülmekte iken, bugün halen, dünyaya 42 yıl yeterli petrolün bulunduğu belirtilmektedir. Çünkü geçen yıllar içinde yeni rezervler bulunmuş, ayrıca öngörülenden farklı tüketim değerleri ile karşılaşılmıştır. Dünyanın belli bölgelerinde, bugün için ekonomik görülmeyen ve dolayısıyla üretimi söz konusu olmayan kaynaklar, gelecek yıllarda ve gelişen teknoloji ve artan enerji fiyatları paralelinde ekonomik olarak işletilebilir hale gelecektir. Dolayısıyla söz konusu kaynağın ömrü değişecektir. Diğer yandan dünya nüfusundaki ve bireylerin enerji tüketimlerindeki artışlar, enerji tasarrufu uygulamaları ve enerji kaynağı seçimindeki öncelikler (örneğin doğal gaz yerine kömüre öncelik verilmesi gibi), yukarıdaki enerji kaynaklarının ömrü üzerinde rol oynayan diğer önemli parametrelerdir. Milyon ton kömürcinsinden ifade etmek gerekirse, örneğin 2008

yılı dünya kömür üretimi 5.845 milyon tonu taşkömürü ve antrasit, 951 milyon tonu linyit ve alt bitümlü kömür olmak üzere toplam 6.796 milyon ton olarak gerçekleşmiştir (Ünalan, 2010, s. 12).

Dünya kömür üretimi 2007 yılında 6.488 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Bu miktarın 5.543 milyon tonu taşkömürü ve 945 milyon tonu ise linyit üretimidir. Dünya taşkömürü üretiminin yaklaşık %93'ü 11 ülke tarafından yapılmaktadır. Bu ülkeler; Çin, ABD, Hindistan, Avustralya, Güney Afrika Cumhuriyeti, Rusya, Polonya, Endonezya, Ukrayna, Kazakistan ve Kolombiya'dır. 2003 yılında en yüksek üretim, yaklaşık 1,5 milyar ton ile Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu ülkeyi, 890 milyon ton ile ABD, 340 milyon ton ile Hindistan, 275 milyon tonla Avustralya, 240 milyon tonla Güney Afrika Cumhuriyeti ve 190 milyon ton ile Rusya izlemektedir. En önemli linyit üreticisi ise, dünya üretiminin %20'sini karşılayan Almanya'dır. Dünya linyit üretiminin ise %75'i 9 ülke tarafından üretilmektedir. Bu ülkeler; Almanya, Rusya, ABD, Yunanistan, Avustralya, Türkiye, Polonya, Çek Cumhuriyeti ve Kanada'dır (TKİ, 2009, s.34).

"Dünya toplam birincil enerji tüketimi, 2011 yılında 13.113 milyon ton petrol eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Toplam tüketimin kaynaklara göre dağılımında %31,5 ile petrol ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra %28,8 ile kömür ve %21,3 ile doğalgaz sıralanmaktadır" (TKİ, 2014, s.24)

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan tahminlerde, dünya birincil enerji arzının 2030 yılında 17.572 milyon ton petrol eşdeğeri olacağı öngörülmektedir. Buna göre; 2030 yılında en büyük pay %29,3 ile kömürün olacaktır. Kömürü %27,9 ile petrol ve %22,8 ile doğal gaz izleyecektir. Kömürün dünya toplam enerji arzı içerisindeki payı 2030 yılına kadar önemli bir değişim göstermeyecektir. Bu öngörüde, kömür rezervlerinin petrol ve doğalgaz gibi diğer enerji kaynaklarına göre dünya üzerinde daha geniş bir yayılım gösteriyor olması rol oynamaktadır. Söz konusu enerji kaynaklarının kalan ömürleri dikkate alındığında, kömürün, özellikle 2030 yılından sonra çok daha büyük önem kazanacağı anlaşılmaktadır. Diğer kaynaklarla karşılaştırıldığında rezervinin çok

daha uzun ömürlü olması, kömürün uzun vadeli yeterliliğini beraberinde getirmektedir. Mevcut üretim seviyeleri ile, dünya görünür kömür rezervlerinin 135 yılı aşkın bir sürede tüketileceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık görünür petrol ve doğal gaz rezervlerinin tükenme ömürlerinin mevcut üretim seviyeleri ile sırasıyla 40 ve 60 yıl süreceği öngörülmektedir. Kömür, 50'nin üzerinde ülkede üretilmekte ve 70'in üzerinde ülkede tüketilmektedir. Son 13 yıldır kesintisiz artmakta olan küresel kömür üretimi 2012 yılında da bir önceki yıla göre %2,9 oranında artarak 7.831 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Toplam üretimin yaklaşık %88'i taşkömürü ve %12'si ise linyit kategorisindedir. 2013 yılı dünya kömür üretiminin %46,6'sını (3.680 milyon ton) tek başına Çin gerçekleştirmiştir. ABD'nin payı %11,3 (892,6 milyon ton), Hindistan'ın payı %7,7 (605,1 milyon ton) ve Avustralya'nın payı ise %6,1 (478 milyon ton) oranındadır. Bu ülkeleri; Endonezya (421 milyon ton), Rusya Federasyonu (347,1 milyon ton), Güney Afrika Cumhuriyeti (256,7 milyon ton) ve Almanya (190,3 milyon ton) izlemektedir. Bu sekiz ülkenin küresel kömür üretimi içindeki toplam payları %87 düzeyindedir. Dünya linyit üretimi bir önceki yıla göre %5,5 oranında azalarak 2013 yılında 840 milyon ton olmuştur. Bu sınıftaki kömürlerin üretimi 1980'li yıllar boyunca önemli oranda artış göstermekle beraber, neredeyse 20 yılı aşkın bir süredir yaklaşık aynı düzeyde kalmıştır. 2013 yılında ise hemen her ülkede linyit üretimleri 2012 yılına göre gerilemiştir. Gerileme oranları Türkiye'de %15,6; Yunanistan'da %14,9; Avustralya'da %12,3; Çek Cumhuriyeti'nde %7,1 ve Rusya'da %5,4 düzeyindedir. Dünya kömür tüketimi, son otuz yılda iki kattan fazla artmıştır. 2000-2012 arasındaki 12 yılda artış oranı %62 düzeyindedir. Tüketim artışı, büyük ölçüde Çin'in talebinden kaynaklanmıştır. 2012 yılı dünya kömür tüketiminin yaklaşık yarısı Çin tarafından gerçekleştirilmiştir. Söz konusu yılda Çin'in kömür tüketimi 3.666 milyon ton olmuştur. Diğer önemli kömür tüketicileri; sırasıyla, ABD (%10,7), Hindistan (%9,8), Rusya (%3,3), Almanya (%3,1), Güney Afrika Cumhuriyeti (%2,4), Japonya (%2,4), Avustralya (%1,8), Polonya (%1,8) ve Güney Kore (%1,7) şeklindedir. Ülkemizin dünya kömür tüketimindeki payı da azımsanmayacak ölçüdedir. Türkiye'nin, 2012 yılı dünya kömür tüketimi içindeki payı 99,9 milyon ton ile %1,3 düzeyindedir Söz konusu 11 ülkenin küresel kömür tüketimindeki toplam payı %86 oranındadır (TKİ, 2014,

s.25)

Günümüzde, Dünya kömür üretiminin yaklaşık %63'ü elektrik üretimi amacıyla kullanılmakta, %27'si demir-çelik endüstrisi dâhil sanayi sektörlerinde ve geriye kalan %10'luk kısım ise ısınma amaçlı ya da diğer alanlarda tüketilmektedir. Kömür, elektrik üretimi amacıyla kullanılan yakıtlar arasında en yaygın olanıdır. Kömürün elektrik üretiminde en yüksek oranda kullanılan yakıt olma niteliğinin öngörülebilir bir gelecekte de değişmeyeceği tahmin edilmektedir. 1990 yılında dünya toplam elektrik üretiminde %37,5 oranında kullanılan kömür 2011 yılı itibariyle %41,3 oranında kullanılmıştır. Uluslararası Enerji Ajansı tarafından, mevcut politikaların gelecekte de değişmeden devam edeceği varsayımıyla yapılan tahminlere göre kömürün elektrik üretiminde kullanım payı 2030 yılında %40,6 düzeyine yükselecektir (TKİ, 2014, s.25)

3.5 Dünya Kömür Tüketimi

Dünyanın 2008 yılı birincil enerji kaynakları (kömür, petrol, doğal gaz, nükleer ve hidrolik) toplam tüketimi yaklaşık 11 GTep'tir (11.294 milyon ton petrol eşdeğeri). Bu rakama turba, odun, hayvan ve bitki artıkları, rüzgar, jeotermal ve güneşten üretilen elektrik enerjisi dahil değildir. 2008 yılında dünyada tüketilen kömür miktarı 3,304 GTep (3,304 milyon Tep) olup bu da yaklaşık olarak 6,700 milyon ton kömüre (antrasit, taşkömürü, linyit vb.) karşılık gelmektedir. Toplam birincil enerji kaynaklan tüketimi içinde kömür % 29,2 gibi bir paya sahiptir. Petrolün payı %35 (3.928 milyon Tep), doğal gazınki % 24 (2,726 milyon Tep)'dir. Gerisi yaklaşık %6'lık paylarla nükleer ve hidrolik enerjiye aittir. Dünya da tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %88'i (9,958 Gtep) fosil yakıtlara (kömür, petrol, doğal gaz) aittir. Dünya kömür tüketimi de giderek artmaktadır. 1980 yılı tüketimi 1,801 GTep iken, 1998'de 2,261 GTep, 2008 yılında ise 3,304 GTep seviyesine yükselmiştir. Tüketimin giderek artmasına rağmen dünyada son 40 yıldan bu yana kömürün toplam birincil enerji tüketimi içindeki payı (yüz desi) giderek azalmıştır. 1965 yılında bu pay %40, 1985'te %30, 2000'de %25'tir. 2008 yılında bir miktar artışla % 29,2 olmuştur. Kömürün payının giderek

azalması, üretim ve tüketiminin azalması anlamında değildir. Tersine, daha önce belirtildiği gibi, kömürün üretim ve tüketimi her yıl artmaktadır. Ancak son yıllarda petrol, doğal gaz, nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketimindeki daha hızlı artıştan dolayı kömürün payında göreceli bir düşüş söz konusudur (Ünalan, 2010, s. 14).

Dünyada üretilen kömürün; % 49'u elektrik üretiminde, % 20 si ısınmada, % 15'i demir-çelik sanayinde, % 5'i çimento sanayinde ve % 11'i diğer sanayidallarında kullanılmaktadır. Dünya elektrik üretiminde kömürün payı bugün için yaklaşık olarak %41,5'tir. Ancak bu oran bir ülkeden diğerine önemli farklılıklar göstermektedir. Önemli kömür üreticisi ülkelerde kömürün elektrik üretimindeki payı yüksektir. Örneğin Polonya ve Güney Afrika'da % 93, Avustralya'da %80, Çin'de %78, ABD'de %50'dir. Türkiye'de ise bu oran % 29'dur (Ünalan, 2010, s. 14).

Kömür dışındaki diğer kaynakların dünya elektrik üretimindeki payları da şöyledir; doğal gaz %20,9, hidroelektrik %15,6, nükleer enerji % 13,8, petrol % 5,6 ve diğerleri % 2,6 olmuştur.

Dünya toplam birincil enerji tüketimi, 2007 yılında 11.100 milyon ton petrol eşdeğeri olarak gerçekleşmiştir. Toplam tüketimin kaynaklara göre dağılımında %>35,6 ile petrol ilk sırada yer almaktadır. Daha sonra %28,9 ile kömür ve %23,8 ile doğalgaz sıralanmaktadır. Tablo 3.2'de dünya birincil enerji tüketimleri verilmektedir (TKİ, 2009, s.34).

Tablo 3.2 Dünyada birincil enerji tüketimleri (milyar tep) (TKİ, 2009).

Birincil Enerji Kaynağı	2007 Yılı Tüketimi
Petrol	3.950
Doğalğaz	2.640
Kömür	3.180
Nükleer Enerji	622
Hidro-Elektrik	709
Toplam	11.101

“Dünya toplam kömür tüketimi, üretimlere nazaran daha dengeli dağılmaktadır. Yaklaşık 3,2 milyar ton petrol eşdeğeri olan 2007 yılı tüketiminin %41'i Çin'in ve %18'i ise ABD'nin tüketimidir. Bu iki ülkeyi, %6,5 ile Hindistan, %3,9 ile Japonya, %3 ile Rusya izlemektedir” (TKİ, 2009, s.34).

Dünya birincil enerji tüketimi son on yıllık dönemde (2002-2012)yıllık ortalama %2,58 artarak 2012 yılında 13,371 Mtep’e ulaşmıştır. Söz konusu dönemin başındaki ve sonunda yaşanan küresel krizlere rağmen, bu ortalama yıllık artış hızı 1970-1980 döneminde yaşanan %3’lük ortalamadan sonraki en yüksek değer olarak kayda geçecektir (MMO, 2015, s.20)

3.6 Dünya Kömür İhracatı ve İthalatı

Kömür ihraç eden ülkelerin başında Avustralya, Endonezya, Rusya Federasyonu, Güney Afrika, Çin, Kolombiya, ABD, Kanada vb. ülkeler bulunmaktadır. Bu ülkelerin bazıları (Rusya, Çin, ABD gibi) aynı zamanda kömür ithal eden ülkelerdir. Önemli taşkömürü ithalatçısı ülkeler (lEA, 2007). Japonya, Güney Kore ve Tayvan gibi ülkeler kömür ithalatını Çin, Endonezya ve Avustralya’dan yapmaktadır. 2006 yılında Japonya yaklaşık 178 milyon ton kömür ithal etmiştir. Avrupa ülkeleri ise en çok Güney Afrika, Kolombiya, Polonya ve ABD’den kömür satın almaktadır. 2006 yılında dünya toplam kömür ihracatı 815 milyon ton, ithalatı ise 819 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Dünya kömür ticaretinde taşkömürü ve antrasit % 97 gibi önemli bir paya sahiptir. Bunun yanında bir miktar kok alışverişi de söz konusudur. Kömür ticaretinde buhar kömürü ilk sırada yer almakta, bunu koklaşabilir kömür izlemektedir. Linyit ve alt bitümlü kömürlerin dış ticarette önemli bir yeri bulunmamaktadır (Ünalan, 2010, s. 16).

Kömür ithalatında ise Avrupa ülkeleri en büyük payı almaktadır. Ticareti yapılan kömürün yaklaşık %40'ı Avrupa'ya satılmaktadır. Japonya %24,2'sini ve Güney Kore ise %10,5'ini satın almaktadır. Elektrik ya da ısı üretimi amacıyla kömür ithal eden ülkeler arasında; Almanya, Belçika, Danimarka, Finlandiya, Fransa, İrlanda, İtalya, Japonya, Güney Kore, Hollanda ve Portekiz de bulunmaktadır

(TKİ, 2009, s.35).

3.7 Dünya Kömür Kullanımının Geleceği

Yukarıda belirtildiği gibi, bugünkü görünür rezervleri ve tüketimi dikkate alındığında dünyaya en az 122 yıl daha yetecek kadar kömür bulunmaktadır. Petrolün yeterlilik süresi 42 yıl, doğal gazınki ise 60 yıldır. Bu süreler tartışmalı olsa da, yeryüzündeki rezervlerinin büyüklüğü ve düzenli coğrafik dağılımı dikkate alındığında, kömürün bir enerji kaynağı olarak çok uzun bir süre daha kullanılması beklenmektedir. Dünya kömür tüketimi bugün bile sürekli bir artış içindedir. Öngörüldüğü gibi, önümüzdeki 60 yıl sonunda, petrol ve doğal gaz rezervlerinin tamamen tükenmesi halinde ve de söz konusu olan üç fosil yakıtın (kömür, petrol, doğal gaz) yerini alabilecek yeni ve aynı zamanda ucuz bir enerji kaynağı (hidrojen, güneş gibi veya başka bir enerji kaynağı) tam anlamıyla devreye girmediği sürece kömür tüketimi bugüne oranla kat kat artacaktır. Buna paralel olarak kömürün neden olduğu çevre sorunları ($C0_2$ emisyonu vb.) aynı oranda artacaktır. Dolayısıyla gelecekte kömür kullanımı, bugün bilinen ve de önümüzdeki yıllarda geliştirilecek olan yeni temiz kömür teknolojilerinin en etkin bir şekilde uygulanmasını gerektirecektir (Ünalan, 2010, s. 16-17).

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından yapılan tahminlerde, dünya birincil enerji arzının 2030 yılında 16,500 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 doğalgaz, %21,8 ile kömür, %11,3 ile odun, çöp, jeotermal, güneş, rüzgâr vb kaynakların, %4,6 ile nükleerin ve %2,2 ile hidrolik kaynakların izleyeceği tahmin edilmektedir. Kömürün dünya toplam enerji arzı içerisindeki payı 2030 yılına kadar önemli bir değişim göstermeyecektir. Bu öngörüde, kömür rezervlerinin petrol ve doğalgaz gibi diğer enerji kaynaklarına göre dünya üzerinde daha geniş bir yayılım gösteriyor olması rol oynamaktadır. Söz konusu enerji kaynaklarının kalan ömürleri dikkate alındığında, kömürün, özellikle 2030 yılından sonra çok daha büyük önem kazanacağı anlaşılmaktadır. Dünya petrol

rezervleri toplamı 161,9 milyar ton, doğal gaz rezervleri 179,53 trilyon m^3 ve kömür rezervleri ise 478,77 milyar ton taşkömürü ve 430,29 milyar ton linyit şeklindedir (TKİ, 2009, s.34).

Rezerv miktarının çokluğu, kömürün uzun vadeli yeterliliğini beraberinde getirmektedir. Mevcut üretim seviyeleri ile, dünya görünür kömür rezervlerinin 200 yılı aşkın bir sürede tüketileceği tahmin edilmektedir. Buna karşılık görünür petrol ve doğal gaz rezervlerinin tükenme ömürlerinin mevcut üretim seviyeleri ile sırasıyla 40 ve 60 yıl süreceği tahmin edilmektedir. Dünya kömür talebinin, %56 artışla 2025 yılında 8,2 milyar ton düzeyine yükseleceği öngörülmektedir. Söz konusu öngörüye göre, aynı dönemde kömüre olan talep Batı Avrupa ülkelerinde yaklaşık %20 azalırken, Doğu Avrupa ve Eski Sovyet Cumhuriyeti ülkelerinde %14, Kuzey Amerika'da %41 ve Asya-Pasifik ülkelerinde ise %96 artacaktır. Dünya kömür ticaret hacmi, 2007 yılında 917 milyon tona ulaşmıştır. Söz konusu ticaretin %90'dan fazlası 9 ülkenin elinde bulunmaktadır. Dünya kömür üretiminin yaklaşık %69'u elektrik üretimi amacıyla kullanılmaktadır. Diğer kullanımları ise ısınma, demir çelik ve çimento sektörlerinde yoğunlaşmıştır. Elektrik üretimi amaçlı kullanımın 2030 yılında %79 düzeyine yükseleceği tahmin edilmektedir (TKİ, 2009, s.35).

3.8 Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Politikaları ve Kömürün Yeri

3.8.1 Dünya Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi

Dünyada; yaklaşık 6,5 milyarlık nüfusun 4,5 milyarının dünya ortalamasından daha düşük enerji tükettiği; 2,4 milyarının hala ticari olmayan enerji kaynaklarına (odun, bitki-hayvan artıkları) bağlı olduğu; 1,6 milyarına ise elektriğin ulaşmamış olduğu ve gelişmiş ülkelerde kişi başına enerji tüketiminin gelişmekte olan ülkelere göre 7 katı yüksek olduğu bilinmektedir. 2005 yılı itibariyle kişi başına yıllık elektrik tüketimi gelişmiş ülkeler için 8.900 (kWh) iken dünya ortalaması ise 2.500 (kWh)'dir. ABD'de 12.322 kWh olan kişi başına yıllık elektrik tüketimi AB için 6.000 (kWh) iken bu oran

Türkiye için 2.200 (kWh) olmuştur. Dünya elektrik enerjisi üretimi yıllık ortalama %3 artışla, 1990 yılında 11.811 TWh'ten 2007 yılında 18.930 TWh'e çıkmıştır. Fosil yakıtlar dominant özelliğini korumuştur. Kömür ve doğal gazın payı %5 civarında artarken, petrolün payı yarı yarıya azalmıştır. Hidrolik üretimi de düşmüştür. Yapılan araştırmalarda, bu paylaşımın devam edeceği, tüm enerji kaynaklarının üretiminin artacağı, ancak kömür, doğal gaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışın daha fazla olacağı beklenmektedir. Dünya elektrik üretimi bu dönemde %85 artacak ve yaklaşık %80'i çok değişim göstermeden kömür ve doğal gazdan üretilecektir. Enerji, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan, hayat kalitesini iyileştiren en önemli faktördür. Nüfus ve demografik değişiklikler enerji talebinin miktarını ve kompozisyonunu etkileyen önemli parametrelerdir. Dünya nüfusu sürekli artmaktadır ve 2013'te 7,1 milyar olan nüfusun 2040'da 9,0 milyara yükselmesi beklenmektedir. Çin'in nüfusunu geçecek olan Hindistan'ın nüfusu 2040'da 1,6 milyara ulaşacaktır. Dünya nüfusunun kentleşme oranı ise 2013'te %53 iken 2040'ta %63'e yükselecektir. Fakat 2013 rakamlarıyla dünya nüfusunun yaklaşık %17'sini teşkil eden 1,2 milyar insan elektriğe kavuşmuş değildir. Bu insanların %95'inden fazlası sadece gelişmekte olan Asya ülkeleri ve Sahra-altı Afrika'da ve büyük çoğunlukla kırsal bölgelerde hayatlarını sürdürmektedir. Dünya nüfusunun yaklaşık %38'i olan 2,7 milyar insan ise yemek pişirmek için geleneksel yöntemlerle biyokütle enerjisinden yararlanmaktadır. Bu insanların %75'i sadece 10 ülkede yaşamaktadır (Sahra-altı Afrika ve gelişmekte olan Asya ülkelerinde). Uluslararası Enerji Ajansı'nın "Yeni Politikalar Projeksiyonu" bu durumun uzun dönemde de devam edeceğini ve 2030 yılında çoğunluğu kırsal bölgede yaşayan 550 milyon insanın (2040'daki olası dünya nüfusunun %6'sı) elektriksiz yaşamaya, 2,3 milyar insanın da temiz pişirme tekniklerine sahip olmadan hayatlarını idame ettireceklerini göstermektedir. Elektriksiz yaşamaya devam edecek nüfusun büyük kısmı Sahra-altı Afrika, Hindistan, Endonezya ve gelişmekte olan diğer Asya ülkelerinde (Çin hariç) yaşıyor olacaktır (Elektrik Üretim Anonim Şirketi – [EÜAŞ], 2016, s.1).

Uzun dönemde (2013-2040 arası) ortalama %3,5 büyümesi beklenen dünya ekonomisi, dünyadaki nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme, doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi önemli ölçüde arttırmaktadır. Yapılan projeksiyon çalışmaları mevcut enerji politikalarının devamı halinde, 2040 yılında dünya enerji talebinin, ortalama yıllık %1,38'lik artışlarla, 2013 yılına göre % 44,9 (13.559 milyon ton eşdeğeri petrolden (Mtoe) 19.643 Mtoe'ye) daha fazla olacağına işaret etmektedir. Talep artışı miktarının yüzde 90,7'sinin, 2013-2040 döneminde ekonomik büyüme oranları yüksek (yıllık ortalama %4,5) öngörülen ve hızlı nüfus artış oranına (yıllık ortalama %1) sahip OECD-dışı ülkelerde (özellikle Çin ve Hindistan'da), yıllık ortalama %2,0'lik bir değerle, oluşacağı hesaplanmaktadır. Aynı dönemde yıllık gayrisafi yurt içi hasıla (GSYH) artış ortalaması %1,9 olarak öngörülen OECD ülkelerinde ise yıllık ortalama %0,2'lik artışlar beklenmektedir. 2013 yılı itibariyle dünyanın en fazla enerji tüketen ülkesi konumundaki Çin'in, 2040 yılında ikinci sırada olacak olan ABD'nin tüketeceği enerjiden %94 daha fazlasını tüketeceği, yine 2030 sonrası Hindistan'ın Avrupa Birliği'ni de geçerek Çin ve ABD'nin ardından üçüncü büyük enerji tüketicisi olması beklenmektedir. Söz konusu dört büyük tüketici, 2020 yılında dünya toplam enerji arzının %56,0'sını, 2040 yılına gelindiğinde ise %53,9'unu tüketmekte olacaktır. Dünya enerji talebindeki artışın sürdürülebilir koşullarda karşılanabilmesi için ise, 2015-2040 döneminde, enerji sektöründe yaklaşık 68 trilyon ABD Doları (2014 rakamlarıyla) değerinde yatırım yapılmasına ihtiyaç duyulduğu hesaplanmaktadır (EÜAŞ, 2016, s.2).

Türkiye'nin girmeye aday olduğu Avrupa Birliği (AB) ise Çin ve ABD'nin ardından en büyük üçüncü enerji tüketicisi konumundadır. AB genelinde birincil enerji talebi artışı 1990-2013 döneminde neredeyse hiç değişmemiştir (%1,2'lik düşüş). 2013'ten 2040 yılına kadar ise talepte çok düşük bir artış (%0,2) beklenmektedir (EÜAŞ, 2016, s.2).

"28 ülkeli AB genelinde birincil enerji arzında 2005'de %52,2 ve 2013 yılında %53,2 düzeyinde olan ithalat bağımlılığı oranının (doğalgazda %65,3, petrolde %87,4 ve katı yakıtlarda %44,2) 2030 yılına kadar olan dönemde %55,1'e, 2050'de

ise %56,6'ya ulaşması beklenmektedir" (EÜAŞ, 2016, s.2).

Enerji kaynakları açısından incelendiğinde, birincil enerji arzında, petrol, doğal gaz ve kömürden oluşan fosil kaynaklı yakıtların ağırlıklı konumunun önümüzdeki yıllarda da devam etmesi beklenmekte ve enerji talebindeki artışın (2013-2040 dönemi) yüzde 74,4'lük bölümünün bu kaynaklardan karşılanması öngörülmektedir. Biyoenerji için bu oran %7,5, diğer yenilenebilir kaynaklar için %8,7, nükleer için %6,4, hidrolik için ise %3,0'dür. Bu rakamlar biyoenerjideki artışın önceki yıl (2012-2040 dönemi) öngörülerine göre bir miktar daha düşük kalacağını göstermektedir. 2012-2040 döneminde enerji talep artışındaki biyoenerjinin payının %8,7 olacağı öngörülmüştü. 2013 yılında olduğu gibi 2020 yılında da birincil enerji arzındaki en büyük paya (%30,2) sahip olacağı hesaplanan petrolün, 2030 yılından sonra ilk sıradaki yerini kömüre bırakacağı düşünülmektedir (EÜAŞ, 2016, s.2).

Mevcut politikaların devamı halinde, en hızlı artışın hidrolik-dışı yenilenebilir enerji kaynaklarında olacağı öngörülmektedir. Bu kaynakların tüketiminin yıllık %1,85'lik artışlarla 2040 yılında (2013 yılına göre) %64,2 artacağı hesaplanmaktadır. Ardından nükleer enerji kullanımının ortalama yıllık %1,77'lik artışlarla %60,4 ve doğal gaz tüketiminin de %1,73'lük artışlarla %58,9 artması beklenmektedir. Aynı dönemde petrol tüketiminin ortalama %0,88'lik artışlarla toplamda %26,8 olarak artacağı düşünülmektedir (EÜAŞ, 2016, s.2).

2013-2040 döneminde elektrik üretiminde ise sırasıyla kömür ve doğal gazın en önemli kaynaklar olmaya devam edeceği, doğal gazın payının %21,8'den %24,4'e yükseleceği; kömürün payının %41,2'den %38,3'e, petrolün payının %4,5'den %1,4'e, hidroliğin payının %16,3'ten %13,7'ye, nükleerin payının da %10,6'dan %9,2'ye düşeceği öngörülmektedir. En büyük yüzdelik artış ise rüzgarda beklenmektedir. Aynı dönemde rüzgarın %2,7'lik payının %6,4'e yükseleceği öngörülmektedir (EÜAŞ, 2016, s.3).

Dünya genelinde enerji kaynakları olarak 2015 itibariyle petrol ve doğal gaz

rezervlerinin dağılımına bakıldığında, kanıtlanmış petrol rezervlerinin (1.656 milyar varil) %49'unun Ortadoğu'da bulunduğu görülmektedir. 2015 yılında, Venezuela dünyada en büyük petrol rezervi bulunduran ülke konumunu sürdürmüştür. En büyük rezervlere sahip 10 ülkenin, Kanada ve Rusya hariç 8'i OPEC üyesidir. Bu 10 ülke toplam dünya rezervlerinin yaklaşık %85'ine sahiptirler (EÜAŞ, 2016, s.3).

"Doğal gaz rezervlerinin de yaklaşık %65'i Rusya Federasyonu, Eski Sovyet Cumhuriyetleri ve Ortadoğu ülkelerinde bulunmaktadır. Sadece Rusya, İran ve Katar bu rezervlerin %54'ü elinde bulundurmaktadır" (EÜAŞ, 2016, s.3).

Bir önceki yıla göre petrol rezervlerinde Peru'da %17,1, ABD'de %13,5 ve Pakistan'da %8,5'lik artışlar görülürken miktar bazında en büyük artış ise ABD (4,5 milyar varil) ve Irak'ta (3,9 milyar varil) tespit edilmiştir. Doğal gaz rezervlerinde 2014'e göre 2015 yılında Umman'da %39,8, Yeni Zelanda'da %36,0 ve G. Kore'de %23,2'lik artışlar görülürken, miktar bazında en büyük artış ABD'de (30.804 milyar ft^3) belirlenmiştir (EÜAŞ, 2016, s.4).

BP'nin yılda bir yayınladığı çalışmada, 2014 sonu rakamlarıyla dünya genelinde bir değerlendirme yapıldığında, mevcut kanıtlanmış petrol rezervlerinin 52,5, doğal gaz rezervlerinin 54, kömür rezervlerinin de 110 yıllık ömre sahip olduğu hesaplanmaktadır. Bu rakamlar aynı kaynakta, 2013 sonu itibariyle petrol için 53, doğal gaz için 55 ve kömür için 113 yıl olarak ilan edilmiştir (EÜAŞ, 2016, s.4).

2013'te Çin, ABD, Hindistan, Rusya, Japonya ve Güney Afrika Cumhuriyeti dünya kömür tüketiminin %80,2'sini (2012'de %79,9) gerçekleştirmişlerdir. 2013 yılında dünya enerji tüketiminde kömürün payı %29,0 iken, bu payın mevcut politikaların devamı halinde 2040 yılında hafif bir düşüşle %28,6 olması beklenmektedir. Kömür tüketiminde beklenen 1.689 Mtoe'lik artışın önemli bir kısmının sorumlusunun OECD- dışı ülkelerin (Çin, Hindistan ve Güneydoğu Asya ülkeleri) olacağı beklenmektedir. Kömür tüketiminin en fazla düşmesi beklenen yerler; elektrik talep artışı düşük ve nüfus artış hızı yavaş olan Avrupa Birliği

ülkeleridir. Dünyada her ne kadar kömür üretimi geniş alanlarda ve pek çok ülkede (75 ülkede) mümkün olsa da, 2014 sonu itibariyle, toplam kömür rezervlerinin %72'si sadece beş ülkede toplanmıştır. Bunlar ABD (%26,6), Rusya (%17,6), Çin (%12,8), Avustralya (%8,6), Hindistan (%6,8)'dir. Bu ülkeler toplam üretimin de 2014 yılı verilerine göre %77,5'ini (Çin tek başına %46,9) karşılamışlardır (EÜAŞ, 2016, s.4).

2013 itibariyle AB tarafından ithal edilen doğalgazın %39'u Rusya, %29,5'i Norveç, %12,8'i Cezayir tarafından temin edilirken, Katar'ın payı 2011'e göre %11'den %6,7'ye düşmüştür. Ham petrolün ise %33,5'i Rusya, %11,7'si Norveç, %8,6'sı Suudi Arabistan'dan temin edinilmektedir. AB'ye taşkömürü temininde de %28,8 oranıyla Rusya yine ilk sırada yer alırken, onu %22,4 ile Kolombiya, %21,8 ile ABD takip etmektedir. Dikkat çeken husus, 2006 yılından beri Endonezya'dan yapılan kömür ithalatının devamlı düşmesidir. 2006'da %7,2 olan bu ülkeden ithalat oranı 2013'te %3'e gerilemiştir (EÜAŞ, 2016, s.4).

AB üyesi 28 ülkenin net ithalat rakamlarına bakıldığında, 2005-2014 döneminde petrolde %12,1, doğalgazda %9,1 ve katı yakıtlarda %0,5 oranlarında düşüş kaydedilmiştir. Bu dönemde net doğalgaz ithalat rakamlarını, Danimarka %74, İrlanda %19 ve Polonya %13 arttırmıştır. 2001 yılında net ihracatçı olan İngiltere, sonraki yıllarda doğalgaz ithalatçısı ülke konumuna dönüşmüş ve sadece 2005-2014 yılları arasında doğalgaz ithalatını %351 arttırmak zorunda kalmıştır. Son 9 yılda Türkiye'ye ait rakamlar %83,2'yi göstermekte olup oransal açıdan İngiltere dışındaki tüm ithalatçı AB ülkelerini geçmiştir. 2014 yılında Almanya, AB'de miktar olarak en fazla doğalgaz ithal eden ülke konumunu sürdürmüştür. Ardından İtalya, Fransa, İngiltere ve İspanya gelmektedir. Türkiye'nin ithalat rakamı ise İspanya ve İngiltere'nin ardından 2012'de Fransa'yı da geçmiştir. 2005-2014 döneminde Romanya (-%89), Letonya (%46) ve Estonya (-%46) başta olmak üzere 19 ülkede ise azalmalar görülmüştür. Tüm AB ülkeleri arasında sadece Hollanda ve Danimarka net ihracatçı ülke konumundadır (EÜAŞ, 2016, s.5).

Dünyada elektriğin, 2040 yılına kadar en hızlı büyüyen (%2,36) nihai-kullanıcı enerji formu olması, nihai enerji tüketimindeki payının 2013'teki %18,4 düzeyinden 2020'de %19,8'e, 2040'ta ise %23,8'e çıkması beklenmektedir. Elektrik talebinde 2011 ve 2012 yılında olduğu gibi 2013'te de artış oranı yaklaşık %3,0 olarak sınırlı kalmıştır. OECD-dışı ülkelerde bu artış %5,4 seviyesinde oluşurken, OECD ülkelerinde ise %0,5'lik bir artış yaşanmıştır (EÜAŞ, 2016, s.5).

Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan ve mevcut politikaların devamını öngören senaryo çalışmasına göre (WEO 2015) elektrik üretiminin, 2013'e 23.318 TWh'den ortalama %2,3'lük artışlarla 2020'de 27.988 TWh'ye, 2030'da 35.545 TWh'ye ve 2040'da da 43.120 TWh'ye yükselmesi beklenmektedir. Bu rakamlar 2013-2040 döneminde %84,9'luk bir artışa işaret etmektedir. Benzer şekilde, ABD Enerji Bilgi İdaresi olan EIA tarafından en son 2016 yılında hazırlanan Referans Senaryo Çalışmasına (IEO 2016) göre ise 2012'de 21.559 TWh olan elektrik üretiminin 2020'de 25.765 TWh'ye yükselmesi beklenmektedir. 2012-2040 döneminde ise toplam %69,1'lik bir artışla (yıllık %1,9'luk artışlarla), 2040'da üretimin 36.454 TWh'ye yükseleceği hesaplanmaktadır (EÜAŞ, 2016, s.5).

Özellikle gelişmekte olan ülkelerde görülen yüksek ekonomik büyüme rakamları, enerji ve dolayısıyla elektrik talebinin de bu ülkelerde artmasına sebep olmaktadır. Bunun da en önemli parametrelerinden biri olan Gayrisafi Yurtiçi Hasılanın (GDP) ve kişi başına gelirin artmasıyla yaşam standartları yükselmekte, bu da endüstri, aydınlatma ve ev aletleri için olan elektrik talebini arttırmaktadır. Bunun sonucu olarak, WEO 2015 çalışmasındaki elektrik üretiminde öngörülen 19.802 TWh'lik artışın büyük kısmının (%84,3'ünün), 2013-2040 arasında ortalama yıllık %0,94 oranında artış beklenen Türkiye'nin de aralarında bulunduğu OECD üyesi ülkelerden ziyade, %3,2 oranında kuvvetli bir artış beklenen OECD üyesi olmayan ülkelerde gerçekleşeceği hesaplanmaktadır. Tüm dünyada elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesinin de 2013 - 2040 döneminde brüt 4.756 GW artması beklenmektedir. Bu bağlamda elektrik sektörünün, Uluslararası Enerji Ajansı tarafından hazırlanan Yeni Politikalar Senaryosuna göre 2015-2040

döneminde yapılması beklenen 68,0 trilyon dolarlık enerji yatırımlarındaki payının tek başına 19,7 trilyon dolar (2014 dolar değeriyle) olacağı öngörülmektedir. Bu miktarın yaklaşık %58'inin yeni güç santralı yatırımlarına, %42'sinin dağıtım ve iletim altyapı projelerine harcanması planlanmaktadır. Güç sektörü dışında petrol ve doğal gaz sektörüne 25,2, kömür sektörüne 1,4 ve enerji verimliliğine 21,8 trilyon dolarlık yatırımın yapılacağı hesaplanmaktadır. Bu enerji yatırımlarının önemli kısmının ABD, Çin, Hindistan, Avrupa Birliği ve Ortadoğu ile Latin Amerika ülkelerinde gerçekleşeceği beklenmektedir (EÜAŞ, 2016, s.5).

Türkiye 2014'deki yaklaşık 252 milyar kWh'lik değeriyle dünyada 19. sırada yer almaktadır. Kömür yakıtlı elektrik üretiminin 2040 yılına kadar ortalama yılda %2,0 artması beklenmektedir. Ancak uzun dönem için kömürden elektrik üretimi ile ilgili projeksiyonlar; CO_2 emisyonlarını kabul edilebilir sınırlara çekebilecek karbon tutma ve depolama teknolojilerinin geliştirilmesine, sera gazı emisyonlarını azaltmaya veya sınırlamaya yönelik ulusal mevzuatların veya uluslararası anlaşmaların yürürlüğe girmesine ve sabit karbon vergisi veya emisyon ticareti gibi maliyet arttırıcı uygulamalara, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelen ulusal politikalara ve kaya gazı kullanımına yönelik gelişmelere göre önemli ölçüde değişebilir (EÜAŞ, 2016, s.6).

Doğalgaz yakıtlı elektrik üretiminin ise 2040 yılına kadar yıllık %2,7'lik bir oranda artması öngörülmektedir. Bunda önemli bir pay sahibi de yeni ortaya çıkan kaya gazı üretimidir. Eylül 2015 itibariyle, teknik olarak çıkarılabilir en büyük kaya gazı rezervlerine sahip 5 ülke, Çin, Arjantin, Cezayir, ABD ve Kanada olarak sıralanmaktadır. 2035'e gelene kadar ise en önemli kaya gazı üreticileri üretim miktarları açısından sıralandığında; ABD, Çin, Kanada, Arjantin, Hindistan, AB, Cezayir, Meksika ve Endonezya şeklinde olacaktır (EÜAŞ, 2016, s.6).

Diğer üretim teknolojileriyle rekabet etmesi konusunda sağlanan iyileşmeler, gelişen teknolojiler ve buna bağlı olarak düşen maliyetler, yükselen fosil yakıt

fiyatları ve fosil yakıtların çevresel etkileri üzerine duyulan endişeler, karbon fiyatlama mekanizması, ama en önemlisi dünyanın pek çok ülkesinde verilen büyük teşvikler (2014'te 135 milyar dolara ulaştı ki bu değer 2008 yılına göre yaklaşık 3 katlık bir artışı göstermektedir), yenilenebilir enerji kaynaklarının daha geniş oranda kullanımının yolunu açmaya devam etmektedir. 2035-2040 yıllarına kadar dünya genelinde hidroelektrik ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketiminde lEA'ya ve ElA'ya göre %2,9'luk artışlar beklenmektedir. Hidrolik dışında yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güçteki oranı 2013'te %9,6 iken (2012'de %8,7), bu oranın 2020 yılında %15,2'ye, 2030'da %18,5'e, 2040'ta da %20,7'ye yükseleceği, hidroelektriğin ise aynı dönemde %19,3'ten %16,4'e gerileyeceği öngörülmektedir. Yenilenebilir kaynaklardaki artışa en büyük kurulu güç katkısı 786 GW ile rüzgar enerjisinden ve 636 GW ile güneş enerjisinden (PV) gelecektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanım payının %21,9 (2013) seviyesinden 2020 yılında %25,2 ve 2040 yılında da %26,6'ya ulaşacağı düşünülmektedir (EÜAŞ, 2016, s.7).

Yenilenebilir enerji tüketiminde beklenen bu artışın OECD dışındaki ülkelerde, özellikle Çin (193 GW), Hindistan (53 GW), Brezilya'nın (75 GW) yanı sıra Güneydoğu Asya (Vietnam, Endonezya gibi), Güney Amerika ve Afrika ülkelerinde (59 GW) devreye girecek orta ve büyük ölçekli hidroelektrik santrallardan ve AB (162 GW), Çin **(**260 GW), ABD (78 GW) ve Hindistan'da (79 GW) devreye alınması beklenen rüzgar santrallarından kaynaklanması beklenirken, OECD ülkelerinde ve Avrupa Birliğinde ise gelecekte (Kanada haricinde) büyük ölçekli çok az hidroelektrik santral inşa projesi öngörülmektedir. Elektrik üretiminde, petrol, nükleer enerji ve kömürün öneminin azalacağı, doğal gazın ise öneminin artacağı OECD ülkelerinde buna karşın oluşan yenilenebilir enerji kaynaklarındaki artışın rüzgar, güneş, hidrolik ve biyoenerjiden karşılanması beklenmektedir. Rüzgar enerjisine olan yatırımlar, Avrupa'da, ABD'de ve OECD-dışı ülkelerde özellikle Çin'de artmaya devam etmektedir. Güneş uygulamalarından fotovoltaik (PV) olanlarda son yıllarda önemli artışlar görülmektedir. Özellikle Almanya ve İtalya başta olmak üzere Avrupa Birliği'nde (80 GW), PV kullanımı önemli seviyelere ulaşmıştır. Çin (17 GW), Japonya (14

GW) ve ABD (13 GW) de PV kullanımında ilerleme sağlayan ülkelerdir. Fakat odaklanmış güneş enerjisi (CSP) ve dalga enerjisi uygulamalarının 2013 verileriyle günümüzde henüz büyük ölçüde ticarileşmemiş olduğu görülmekte olup, 2040 yılında PV için 1.066 TWh, CSP için 147 TWh ve dalga enerjisi için de 37 TWh'lik elektrik üretim seviyelerine ulaşılması öngörülmektedir (EÜAŞ, 2016, s.7).

Enerji kaynaklarındaki reel bazda fiyat değişimlerine bakıldığında; 2013 yılında en fazla kömürde olmak üzere, petrol ve doğalgaz fiyatlarında düşüş yaşanırken, 2014 yılında bu sefer en fazla doğal gazda olmak üzere petrol ve kömür fiyatlarında düşüş devam etmiştir. Detaylandırmak gerekirse, 2014 yılında petrol fiyatları %8,5, doğal gaz fiyatları (Avrupa için) %12,3 ve kömür fiyatları %9,3 oranında düşmüştür. Mevcut enerji politikalarının devamını öngören projeksiyona göre, 2014-2040 döneminde petrol fiyatlarının %54,6, doğalgaz fiyatlarının %48,4, kömür fiyatlarının ise %57,7 artması öngörülmektedir (EÜAŞ, 2016, s.9).

"Küresel sera gazı emisyonlarına en fazla katkı enerji sektöründen (%34,6) gelmektedir. %34,6'nın %25'lik kısmı elektrik ve ısı üretiminden kaynaklanmaktadır. Bunda en önemli pay, enerji hizmetlerine artan talep ve küresel yakıt kullanımında kömürün artan oranıdır" (EÜAŞ, 2016, s.9).

Bu bakımdan, iklim değişikliği ile mücadelede enerji sektörünün etkin rol oynaması öngörülmektedir. Enerji verimliliği başta olmak üzere teknolojik gelişmelere paralel iyileştirmeler, fosil yakıtlara alternatif olarak nükleer enerji ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında yaygınlaşma, karbon tutma ve depolama, eski kömür santrallarının daha yüksek verimli doğalgaz kullanan kombine çevrim veya kojenerasyon santrallarıyla değiştirilmesi, zararlı CO_2 emisyonlarının azaltılmasına yönelik geliştirilen politikaların temel unsurları görünümündedir. Bu kapsamda elektrik sektöründe alınması düşünülen önlemler arasındaki CO_2 fiyatlandırma mekanizmasının 2020'de Avrupa Birliği ve G.Kore'de 20 $/ton, 2040 yılında da 40 $/ton değerlerinde olacağı hesaplanmaktadır (EÜAŞ, 2016, s.9).

Karbondioksit eşdeğeri veriler açısından bakıldığında, enerji sektöründen kaynaklı ve sera etkisi yapıcı gaz emisyonlarının, 31,6 milyar ton'dan (2013) ortalama yıllık %1,24'lük artışlarla 2040'ta 44,14 milyar ton düzeyine ulaşacağı hesaplanmaktadır. Emisyonlardaki bu artışın tamamının, enerji tüketimlerinde beklenen artışa paralel olarak, gelişmekte olan OECD-dışı ülkelerde (başta sırasıyla Çin, Hindistan ve Ortadoğu ülkelerinde) görüleceği tahmin edilmektedir. 2013 yılında 2012'e göre %0,1'lik artış gösteren karbondioksit emisyonları yeni zirvesine ulaşmıştır. Tahminler 2040 yılında sıcaklık seviyesinin yeni enerji politikalarının devreye girmesi halinde 3.6^{o}C artacağına işaret etmektedir (EÜAŞ, 2016, s.11).

Makroekonomik parametreler arasında 2014 yılında enerji fiyatları hemen hemen her bölgede en fazla belirsizlik yaratan unsur olarak görünmekteydi. Ancak 2015 yılında bu unsurun yerini tüm dünyada terörizm tehdidi almıştır. Enerji fiyatlarının bölgesel politikalar üzerindeki etkisi ise 2014 yılında olduğu gibi 2015'te de güçlü bir şekilde hissedilmektedir (EÜAŞ, 2016, s.11).

Enerji jeopolitiği açısından, ABD'nın ve Rusya'nın politikaları önemli belirsizlik kaynakları olarak ortaya çıkarken, ABD'nin kaya gazı, CO_2 ve kömüre yönelik politikaları pek çok bölgenin enerji politikalarını etkilemektedir. Ticaret engelleri ve yenilikçi düzenlemeler, enerji sektöründe iş ortamı için başta gelen belirsizlik faktörleri görünümünde olup, enerji teşvikleri ve bölgesel bağlantılar bölgesel enerji sektörü politikalarını oldukça etkilemektedir (EÜAŞ, 2016, s.11).

Enerji vizyonu ve teknolojiler açısından sürdürülebilir şehirler, nükleer enerji, karbon tutma ve depolama teknolojileri, akıllı şebekeler ve elektriğin depolanması hususları halen belirsizlik taşıyan önemli hususlar olarak ortaya çıkmaktadır. Enerji verimliliği ve yenilenebilir enerji kaynakları ise vizyon ve teknolojiler bağlamında sektörü en fazla etkileyen parametreler durumundadır (EÜAŞ, 2016, s.11).

Dünya toplam elektrik üretimi, 2006 yılında, 18.930 TWh olarak gerçekleştirilmiştir. Elektrik üretiminde kullanılan kaynaklar içerisinde en büyük pay, %41 ile kömüründür. Kömürü %20,1 ile doğalgaz, %16 ile hidrolik, %14,8 ile nükleer, %5,8 ile petrol ve %2,3 ile diğer kaynaklar izlemektedir (TKİ, 2009, s.35).

Sonuç olarak kömür, elektrik üretimi amacıyla kullanılan yakıtlar arasında en yaygın olanıdır. Gelecekte, elektrik üretiminde kömürün payının azalacağı, doğalgaz payında ise önemli artışların olacağı tahmin edilmektedir. Buna karşın, kömürün, elektrik üretiminde en yüksek oranda kullanılan yakıt olma niteliğinin 2030 yılına kadar değişmeyeceği öngörülmektedir. Yapılan araştırmalara göre, 2030 yılında 11.590 TWh'ye yükselecek, buna karşın kömürün kaynak payı ise sadece %2 azalarak %37'ye inecektir. Gelişmekte olan ülkelerde ise, kömüre dayalı elektrik üretimi 3 katından fazla artacaktır. 2006 yılı itibariyle dünya elektrik enerjisi üretiminde kömür %41 oranında kullanılmıştır. Kömür rezervleri bakımından en zengin 20 ülkenin elektrik üretimindeki kömür kullanımı ise ortalama %46'dır. Söz konusu 20 ülke içerisinde 10'u elektrik üretiminde kaynak kullanımının en az yarısından fazlasını kömür kaynaklarına dayandırmıştır. Bu ülkelerdeki elektrik üretiminde kömür kullanım payları, 2002 yılı itibariyle, Polonya'da %94, Güney Afrika Cumhuriyeti'nde %92, Çin ve Avustralya'da %78, Kazakistan'da %71, Hindistan'da %70, Çek Cumhuriyeti'nde %67, Yunanistan'da %64, Almanya ve ABD'de ise %51 şeklindedir. Petrol ve doğalgaz rezervlerinin belirli bölgelerde toplanmış olması ve fiyatlarındaki yüksek değişkenlik derecesi, nükleer kaynakların atık sorunu ve kamuoyu tepkisi, yenilenebilir kaynakların yüksek maliyetleri, kömürü, günümüz dünyasında elektrik üretiminde en yaygın kullanılan yakıt konumuna getirmiştir. Bir ülkede zengin kömür rezervlerinin bulunması, o ülke için enerji arz güvenliğinin sağlanması bakımından çok büyük bir avantaj anlamına gelmektedir (TKİ, 2009, s.35).

3.8.2 Türkiye'de Enerji Talebi ve Kömürün Yeri

3.8.2.1 Türkiye Enerji Sektörünün Durumu ve Gelişimi

Yerli enerji üretiminin tüketimi giderek daha az oranda karşılayabilmesi sonucunda enerji ithalatının da giderek artması kaçınılmaz olmuştur. 2013 yılı itibariyle ülkemizdeki enerji tüketiminin %26,6'sı yerli enerji kaynaklarından elde edilirken, %73,4 gibi önemli bir kısmı ise ithal kaynaklardan sağlanmıştır. Net enerji ithalatının kaynaklara dağılımı; 36,8 mtep doğal gaz, 33,4 mtep petrol ve 20,1 mtep kömür şeklindedir (TKİ, 2014, s.27).

Türkiye brüt elektrik enerjisi tüketimi 2014 yılında 257,2 milyar kWh olarak gerçekleşirken 2015 yılında bir önceki yıla göre %2,7 artarak 264,1 milyar kWh, elektrik üretimimiz ise bir önceki yıla göre (252,0 milyar kWh) %3,1 oranında artarak 259,7 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir (ETKB, b.t.a).

Elektrik tüketiminin 2020 yılında yüksek senaryoya göre yıllık yaklaşık %6.9 artışla 392 TWh'e, baz senaryoya göre ise yıllık ortalama %5,5 artışla 357,4 TWh'e ulaşması beklenmektedir. 2015 yılında sisteme toplam 4.288 MW'lik yeni santral eklenmiş olup kurulu gücümüz 2015 yılı sonu itibarıyla 73.147 MW seviyelerine ulaşmıştır. 2015 yılında elektrik üretimimizin, %37,8'i doğal gazdan, %28,4'ü kömürden, %25,8'i hidrolikten, %4,4'ü rüzgardan, %1,3'ü jeotermalden ve %2,2'si diğer kaynaklardan elde edilmiştir. 2015 yılı sonu itibariyle Türkiye'nin kurulu gücü içerisinde EÜAŞ %27,8, serbest üretim şirketleri %59,0, yap-işlet santralleri %8,3, yap-işlet-devret santralleri %3,2, işletme hakkı devredilen santraller %1,3, lisanssız santraller %0,4 ve otoprodüktörler %0,04'lük paya sahiptir. Elektrik piyasasının serbestleştirilmesi hedefi doğrultusunda, 4628 sayılı Kanunla ve 6446 sayılı yeni Elektrik Piyasası Kanunu ile yeni üretim yatırımlarının özel sektör tarafından yapılması öngörülmüştür (ETKB, b.t.a).

İşletmeye alınan yeni santraller ve kapasite artışları ile elektrik enerjisi kurulu gücümüz 2015 Yılı sonu itibarıyla 73.147 MW'a yükselmiştir. 2015 Yılı sonu itibarı

ile kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımına bakıldığında; yüzde 35,4'ü hidrolik, yüzde 29,0'ı doğal gaz, yüzde 20,6'sı kömür, yüzde 6,2'si rüzgâr, yüzde 0,9'u jeotermal ve yüzde 8'i ise diğer kaynaklardan oluşmaktadır. Ayrıca Ülkemizde elektrik enerjisi üretim santrali sayısı, 2015 Yılı sonu itibarıyla ise 1.514'e yükselmiştir. Mevcut santrallerin 560 adedi hidrolik, 36 adedi kömür, 113 adedi rüzgâr, 21 adedi jeotermal, 233 adedi doğal gaz, 18 adedi fuel-oil, motorin, asfaltit ve nafta, 69 adedi yenilenebilir ve atık, 23 adedi çok yakıtlı (katı ve sıvı), 46 adedi çok yakıtlı (sıvı ve doğal gaz) santrallarıdır. Ayrıca 362 adedi güneş, 9 adedi rüzgâr ve 24 adedi termik santralı olmak üzere toplam 395 adet de lisanssız santral mevcuttur (ETKB, b.t.a).

Elektrik sektöründe rekabeti esas alan şeffaf bir piyasanın oluşturulması ve bu suretle yatırım ortamının geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda organize toptan elektrik piyasalarının işletilmesi ve bu piyasalarda gerçekleştirilen faaliyetlerin mali uzlaştırma işlemleri ile söz konusu faaliyetlere ilişkin diğer mali işlemlerin yürütüldüğü bir piyasa işletmecisinin kurulması öngörülmüştür. Enerji Piyasaları İşletme Anonim Şirketi (EPİAŞ), 14.03.2013 tarihli ve 6446 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ve 6102 sayılı Türk Ticaret Kanunu hükümlerine tabi olarak, 12 Mart 2015 tarihinde tescil işlemlerinin tamamlanmasının ardından resmen kurulmuştur. 01 Eylül 2015 tarihinde ise EPİAŞ piyasa işletme lisansını almıştır. EPİAŞ, piyasa işletim lisansı kapsamında, Borsa İstanbul Anonim Şirketi ile TEİAŞ tarafından 6446 sayılı Kanun kapsamında işletilen piyasalar dışındaki organize toptan elektrik piyasalarının işletim faaliyetini yürütmektedir (ETKB, b.t.a).

3.8.2.2 Türkiye Enerji Sektöründe Kömür

Türkiye'de varlığı belirlenmiş ve üretimi yapılan birincil enerji kaynakları taşkömürü, linyit, asfaltit, petrol, doğal gaz, hidrolik enerji, jeotermal enerji, rüzgar ve güneş enerjisi olarak sıralanabilir. Ticari enerji kaynağı şeklinde değerlendirilen bu kaynaklardan başka, ticari olmayan enerji kaynağı olarak önemli miktarda odun ve hayvan bitki artıkları da kullanılmaktadır. MTA tarafından yapılan aramalarla varlığı belirlenmiş, ancak değişik nedenlerle bugün Üretimi ve de tüketimi söz

konusu olmayan enerji kaynakları ise turba, bitümlü şist, uranyum ve toryumdur. Türkiye'de önemli sayılabilecek rezervlere sahip turba yatakları mevcut olmakla birlikte, bunlardan bir enerji kaynağı olarak yararlanılmamaktadır.

> Bitümlü şistlerin toplam rezervi 1,6 milyar tonu aşmaktadır. Ancak kalorifik güçlerinin düşük, rezervlerin önemli bir bölümünün derinde olmasından dolayı bugün için üretimleri söz konusu değildir. Öte yandan Türkiye'de enerji kaynakları arama çalışmaları henüz tamamlanmamıştır. Dolayısıyla yukarıda adı geçen kömür, petrol, jeotermal vb. enerji kaynaklarının kesin potansiyeli belirlenmiş değildir. Gelişen teknoloji ve Türkiye'nin jeolojik yapısı ile ilgili olarak ortaya çıkan yeni görüşler doğrultusunda yapılacak aramalarla yeni ve üretime uygun sahaların keşfi olanaklı görülmektedir (Ünalan, 2010, s. 377).

2023 yılı için oluşturulan arz güvenliği ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik başlıca hedefler özetle şöyledir;

- Bilinen linyit ve taşkömürü kaynaklarımızın tamamının elektrik üretiminde kullanılması,
- İki nükleer santralın ilgili ünitelerinin devreye alınması ve üçüncü nükleer santralın inşaatına başlanması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payının %30'a çıkarılması,
- Teknik ve ekonomik olarak değerlendirilebilecek hidroelektrik potansiyelin tamamının elektrik üretiminde kullanılması,
- Rüzgar enerjisi kurulu gücünün 20.000 MW'a çıkarılması,
- Elektrik enerjisi kurulu güç kapasitesinin 110.000 MW'ın üzerine çıkarılması,
- Toplam elektrik üretiminin 414 milyar kWh'ye yükseltilmesi (EÜAŞ, 2016, s.13).

Bu hedeflerin dışında 2019 yılı için ise;

- Jeotermal enerjisinden elektrik üretimi açısından kurulu gücün 600 MW'a çıkarılması,

- Güneş enerjisine dayalı kurulu gücün 3.000 MW'a çıkarılması hedeflenmektedir (EÜAŞ, 2016, s.13).

Ülkemizin yakaladığı yüksek büyüme oranları sonucunda enerji talebi de hızla artmakta ve önümüzdeki yıllarda da bu eğilimin devam edeceği hesaplanmaktadır. 2014 yılında 123,94 milyon ton petrol eşdeğerini (milyon tep) geçen yıllık enerji arzı bir önceki yıla nazaran yaklaşık %3,0'lük bir artış göstermiştir. En son açıklanan verilere göre (2014 yılı) enerji arzında %32,4 ile doğalgaz bir önceki yıla göre yine birinci sırada yer alırken, bunu %31,5 ile kömür, %26,2 ile petrol izlemiş, geri kalan %9,9'luk bölüm ise başta hidrolik olmak üzere yenilenebilir ve diğer kaynaklar (odun) ile elektrikten karşılanmıştır (Tablo 3.3). 2012-2014 dönemi kıyaslandığında, doğalgaz, jeotermal, rüzgar ve biyoyakıtın birincil enerji arzındaki payının sürekli arttığı görülmektedir. Türkiye enerji talebindeki büyüme rakamları oldukça yüksektir. Küçük Avrupa devletleri hariç tutulursa, son 10 yılda Türkiye elektrik, kömür ve doğal gaz talep artış oranları bakımından Avrupa'da ilk sırayı almaktadır. 2014 itibariyle yaklaşık 77,7 milyon nüfusa sahip olan Türkiye'de kişi başına enerji tüketiminin %1,66 artışla 1.595 kep, elektrik tüketiminin ise %3,93 artışla 2.669 kWh olduğu hesaplanmıştır (Tablo 3.4) (EÜAŞ, 2016, s.14).

Tablo 3.3 Türkiye, birincil enerji arzı (EÜAŞ, 2016).

	2012 (bin tep)	2012 (%)	2013 (bin tep)	2013 (%)	2014 (bin tep)	2014 (%)
Doğalgaz	37.373	31,1	37.628	31,3	40.219	32,4
Kömür	39.295	32,7	34.668	28,8	39.049	31,5
Petrol	31.205	26,0	33.896	28,2	32.428	26,2
Jeotermal-Diğ. Isı	2.216	1,8	2.636	2,2	3.524	2,8
Hidrolik	4.976	4,1	5.110	4,2	3.495	2,8
Odun	2.350	2,0	2.707	2,2	2.162	1,7
Hayv. ve Bit. Artık	1.115	0,9	1.616	1,3	1.007	0,8
Güneş	768	0,6	795	0,7	803	0,6
Rüzgar	504	0,4	650	0,5	733	0,6
Elektrik	247	0,2	533	0,4	439	0,4
Biyoyakıt	23	0,02	51	0,04	77	0,06
Toplam	120.093		120.290		123.937	

Tablo 3.4 Türkiye, yıllara göre kişi başına enerji ve elektrik tüketimi (EÜAŞ, 2016).

	2012	2013	2014	2012-2013 (değişim)
Nüfus	75.600.000	76.700.000	77.700.000	+ % 1,30
Enerji tüketimi	1.588 kep	1.569 kep	1.595 kep	+ % 1,66
Elektrik tüketimi (net)	2.577 kWh	2.568 kWh	2.669 kWh	+ % 3,93
Elektrik tüketimi (brüt)	3.205 kWh	3.132 kWh	3.243 kWh	+ % 3,54

"Fosil enerji kaynakları bakımından net ithalatçı ülke konumunda olan Türkiye'de 2014 yılında enerji arzının petrolde %92, doğalgazda %99, taş kömüründe %94 olmak üzere toplamda %74,9'luk (2013'te %73,4) bölümü ithalat (net) ile karşılanmıştır" (EÜAŞ, 2016, s.14).

2015 yılında elektrik tüketimimiz bir önceki yıla (257,2 milyar kWh) göre %2,68 artarak 264,1 milyar kWh, elektrik üretimimiz ise bir önceki yıla göre (251,96 milyar kWh) %2,95 oranında artarak 259,39 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Elektrik talebinin (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığınca belirlenen son elektrik talep serilerine göre); 2024 yılında Yüksek Talep Senaryosunda (yıllık ortalama %6,3 artış öngörülen) 473,10, Düşük Talep Senaryosunda (yıllık ortalama %4,6 artış) ise 400,65 milyar kWh düzeyine ulaşacağı gösterilmektedir. Kaynaklar açısından bakıldığında, 2015 yılı itibariyle, toplam elektrik üretiminin %37,7'si doğalgazdan, %28,2'si kömürden, %25,7'si hidrolik kaynaklardan, %4,5'i rüzgardan, %2,3'ü sıvı yakıt ve asfaltitten, %1,6'sı biyogaz ve jeotermalden karşılanmıştır. 2014 yılı ile kıyaslandığında hidrolik, rüzgar, sıvı yakıtlar ve asfaltit, jeotermal ve biyogazdan yararlanma oranı artarken, doğalgaz ve kömür oranında düşme görülmüştür. EÜAŞ'ın bu üretimde 2013 yılında sahip olduğu pay %33,4'ten, 2014 yılında %28,0'e, 2015 yılında ise %21,3'e düşerken, geri kalan %78,7'lik üretim ise özel sektör tarafından karşılanmıştır (EÜAŞ, 2016, s.15).

Bu bağlamda, Türkiye'deki rüzgar enerjisi kurulu gücü ise 2013 yılında 2.760 MW'a, 2014 yılında 3.627 Mw'a ve 2015 yılında 4.503 MW'a ulaşmış bulunmaktadır. Enerji Piyasası düzenleme Kurulu – [EPDK] verilerine göre Ocak-2016 itibariyle proje fiili gerçekleşme yüzdesi %10'un üzerinde olan inşa halindeki santralların listesi kaynak bazında Tablo 3.5'de yer almaktadır. Buna göre inşa halindeki kapasite değerleri incelendiğinde, yakın zamanda devreye girmesi planlanan kurulu güç kapasitesinin %45,1'inin doğalgaz santrallarına ait olduğu görülmektedir. Ardından hidrolik (%21,8), kömür (%20,2), rüzgar (%11,3) ile jeotermal (%1,3) santralları gelmektedir (EÜAŞ, 2016, s.16).

Tablo 3.5 Ocak 2016 itibariyle inşa halindeki santrallar (EÜAŞ, 2016).

Yakıt/Kaynak Türü	Santral Sayısı	İnşa halindeki kapasite (MW)
Doğalgaz	26	8.090,2
Hidrolik	157	3.903,6
Kömür	3	2.722,7
Rüzgar	87	2.025,6
İthal Kömür	1	625,5
Yerli Kömür	2	280,0
Jeotermal	10	239,0
Biyokütle	6	28,2
Atık Isı	1	5,5
Toplam	293	17.920,3

Devreye alınan santrallar veya yeni santral ünitelerinden en büyük kurulu güce sahip 10 tanesi listelenmiştir. 31.12.2015 itibariyle 151 kamu veya özel sektör santralı aracılığıyla devreye alınan toplam kapasite 4.288 MW'tır. Daha önce de ifade edildiği gibi, Türkiye'de 2023 yılına kadar 2 nükleer güç santralının ilgili ünitelerinin devreye alınması ve 3. santralın inşasına başlanması planlanmaktadır (EÜAŞ, 2016, s.17).

Yerli kömür kaynaklarının ekonomiye kazandırılması amacıyla santral yapma koşuluyla, Bolu-Göynük (270 MW), Eskişehir-Koyunağılı (290 MW), Şırnak-Silopi ve Şırnak-Merkez (toplam 675 MW) sahalarındaki projelerin

tamamlanmasına yönelik çalışmalar 2015 yılında da sürdürülmüştür. Sayılan projelerle birlikte, 2012-2013 yıllarında yapılan diğer sözleşmelerle, rödovans yöntemiyle özel sektöre elektrik üretimi yapılması amacıyla devredilen 9 sahada 3.165 MW kurulu gücünde yerli linyit yakıtlı santral kurulması planlanmaktadır. Ayrıca MTA tarafından 2015 yılında TKİ'ye devredilen Eskişehir-Alpu (3.500 MW), Kırklareli-Pınarhisar-Vize (300 MW) ve Konya- Ilgın (135 MW) sahalarına da belirtilen kapasitelere sahip santralların kurulması öngörülmektedir. Afşin-Elbistan Havzasında C ve D sektörlerinde bulunan linyit kaynaklarının elektrik üretimi amaçlı değerlendirilmesine ilişkin olarak yürütülen çalışmalarda eksik etütlerin tamamlanmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir. 2014 yılı sonu itibariyle tespit edilmiş bulunan yerli enerji kaynakları potansiyelimiz ise aşağıdaki tabloda (Tablo 3.6) verilmektedir (EÜAŞ, 2016, s.18).

Tablo 3.6 2014 yılı itibariyle Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli (EÜAŞ, 2016).

Kaynak	Potansiyel
Linyit	14,8 milyar
Taşkömürü	1,3 milyar ton
Asfaltit	82,0 milyon ton
Ham Petrol	7.123 milyon varil
Bitümler	1,6 milyar ton
Hidrolik	160,0 milyar kWh/yıl
Doğalgaz	24,4 milyar m^3
Rüzgar	48.000 MW
Jeotermal	4,99 btep (2000 MW'ı elektrik üretimine elverişli)
Biyokütle	20 Mtep
Güneş Enerjisi	1.500 kWh/m^2-yıl
Doğal Uranyum	9.100 ton

Türkiye kömür rezervlerinin dağılımı; Linyit 15,5 milyar ton %92 ve Taşkömürü 1,3 milyar ton %8 olmak üzere toplam 16,8 milyar ton dur (TKİ, 2016).

"2015 yılı sonu itibariyle 259,4 milyar kWh olarak gerçekleşen Türkiye elektrik üretimi miktarının 55,3 milyar kWh'i (Türkiye üretiminin %21,3'ü (2014'te %28,0)) EÜAŞ tarafından gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.7'de gösterilmiştir" (EÜAŞ, 2016, s.19).

“Ülkemiz 2013 yılı satılabilir kömür üretimi; 57,5 milyon ton linyit, 2 milyon ton taşkömürü ve 0,9 milyon ton asfaltit olmak üzere bir önceki yıla göre %15,5 azalarak toplam 60,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir” (TKİ, 2014, s.20).

1980'li yıllardan itibaren sürekli bir düşme eğilimine giren taşkömürü üretimleri 2004 yılında 1,9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra tekrar hareketlenen satılabilir taşkömürü üretimi 2012 yılında 2,3 milyon ton düzeyindedir. 2013 yılında 1,9 milyon ton ve 2014 yılında ise bir önceki yıla göre %5 oranında gerileyerek 1,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2013 yılı taşkömürü arzının %41,8 oranındaki en büyük kısmı elektrik üretiminde ve %20,1 oranındaki kısmı ise ısınma amaçlı olarak tüketilmiştir. Kok fabrikalarının payı %19,8 ve diğer sanayinin payı ise %18,3 düzeyindedir. Taşkömürü tüketiminde elektrik santrallerinin payı giderek artmaktadır. On yıl önce %20 düzeyinde olan söz konusu pay 2003 yılı itibariyle %40 düzeyini geçmiştir. Ülkemizde üretilen linyit kömürleri; elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde, sanayi sektörlerinde ve ısınma amaçlı olarak konut ve işyerlerinde tüketilmektedir. Linyitin elektrik üretimi amaçlı tüketim payı, 1970'li yılların başında ısıl değer bazında %20'ler düzeyindeyken bu tarihten itibaren artmaya başlamış ve 2001 yılında %80 ile en yüksek seviyeyi görmüştür. Söz konusu gelişmeye paralel olarak, aynı dönemde konut ve hizmetlerin payı %42'den %7'ye ve sanayi sektörlerinin payı ise %36'dan %13'e gerilemiştir. 2001 yılı sonrasında ise süreç tersine dönmüş ve elektrik üretiminde kullanım payı görece düşerken sanayi sektörleri ile konut ve hizmetlerde kullanım payı tekrar artmıştır 2013 yılında 57,5 milyon ton olan toplam linyit arzının miktar olarak %85,4'ü elektrik üretimi amacıyla termik santrallerde tüketilmiştir. Sanayi sektörlerinde kullanım payı %6,8 ve konut-işyerlerinde kullanım payı ise %7,7 düzeyindedir. Bununla beraber, elektrik üretiminde kullanılan linyitlerin ısıl değerleri sanayi ya da ısınmada kullanılan kömürlere nazaran çok daha düşüktür. Toplam ısıl değer bazında hesaplama yapıldığında; 2013 yılında arz edilen linyit enerjisinin %69,7'si elektrik üretiminde, %12,5'i sanayi sektörlerinde ve %17,6'sı ise konut ve işyerlerinde tüketilmiştir. Aynı yılda, 767 bin ton asfaltit arzının miktar olarak %42,8'i elektrik üretimi ve %33,2'si ısınma amaçlı tüketilmiş, kalan kısmı sanayi amaçlı kullanılmıştır. Petrokok ithalatının tamamı ise önemli kısmı çimento fabrikaları olmak üzere sanayi

sektörlerinde tüketilmiştir (TKİ, 2015).

Ülkemizde 1980'li yıllardan önce son derece düşük miktarlarda başlayan kömür ithalatı, 1990'lı yıllarda 10 milyon tonun ve 2000'li yıllarda ise 20 milyon tonun üzerine çıkmıştır. Kömür ithalatındaki artış oranı 2004-2014 arasındaki on yılda %79 ve son yirmi yılda ise %291 oranındadır. 2012 yılında kömür ithalatımız bir önceki yıla göre yaklaşık %23 artış göstererek 29,6 milyon ton düzeyine yükselmiş, 2013 yılında ise bir önceki yıla göre %8,4 azalarak 27,2 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 2014 yılı kömür ithalatı ise %11 artışla 30,2 milyon ton olmuştur. Son yıllarda kömür ithalatındaki artışın en önemli nedeni, elektrik üretimi amaçlı kullanılacak buhar kömürlerine olan talepteki ciddi artıştır. Söz konusu eğilim dikkate alındığında, ithalatın önümüzdeki yıllarda da artarak süreceği ve kömür ithalat faturasının doğal gaz faturasına yakın düzeylere yükselebileceği anlaşılmaktadır. Özel sektör elinde bulunan linyit sahası işletme ruhsatı sayısı MİGEM verilerine göre 380 adet olup 2012 yılında bu sahalardan sadece 31 adedinde 50.000 tonun üzerinde tüvenan kömür üretimi yapılmıştır. Türkiye toplam linyit rezervinin %25'i ve linyit üretim kapasitesinin ise yaklaşık %30'u TKİ'ye aittir. Üretimlerini tamamen termik santraller ile ısınma ve sanayi talebine bağlı olarak gerçekleştiren TKİ Kurumu, özel sektör tarafından işletilen 3 adet termik santrali beslemektedir (TKİ, 2014, s.29).

3.8.3 Türkiye'deki Termik Santraller

"Ülkemizde yerli kömür kullanan 40 adet elektrik santrali işletmededir. Bunlardan 26 adedi küçük kapasiteli otoprodüktör, 14 adedi büyük ölçekli santrallerdir. 2 adedi taşkömürü, 37 adedi linyit ve 1 adedi ise asfaltit santralidir. Başlıcaları Tablo 3.7'de gösterilmiştir" (TKİ, 2015, s. 28).

Elektrik üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla, "Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesi"nde "Elektrik enerjisi üretiminde yerli kaynakların payının artırılması öncelikli hedeftir." denilmekte ve yerli kömüre ilişkin 2023 hedefi konulmaktadır. Söz konusu belgede; "Bilinen linyit kaynakları

ve taşkömürü kaynakları 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirilmiş olacaktır. Bu amaçla elektrik üretimine uygun yerli linyit ve taşkömürü sahalarının, elektrik üretimi amaçlı projelerle değerlendirilmesi uygulaması sürdürülecektir." ifadesine yer verilmektedir. Enerji ithalatının azaltılması ve başta kömür olmak üzere yerli kaynakların payının arttırılması gereğine vurgu yapan ifadelerin benzerlerini; Kalkınma Planlarında, Orta Vadeli ya da Yıllık Programlarda, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Stratejik Planlarında ve KİT Komisyonu kayıtlarında da izleyebilmek mümkündür (TKİ, 2015, s. 30).

Tablo 3.7 Türkiye'de yerli kömüre dayalı büyük ölçekli termik santraller (TKİ, 2015)

Santralin Adı	Mülkiyeti	Kömür Ruhsatı	Yakıt	Kurulu Güç (MW)
Çanakkale Çan	EÜAŞ	TKİ	Linyit	320
Orhaneli	EÜAŞ	TKİ	Linyit	210
Soma	EÜAŞ	TKİ	Linyit	990
Seyitömer	Çelikler	Çelikler (İHD)	Linyit	600
Tunçbilek B	EÜAŞ	TKİ	Linyit	300
Yatağan	Bereket Elsan	Bereket Elsan (İHD)	Linyit	630
Yeniköy	IC İçtaş	IC İçtaş (İHD)	Linyit	420
Kemerköy	IC İçtaş	IC İçtaş (İHD)	Linyit	630
Afşin-Elbistan A	EÜAŞ	EÜAŞ	Linyit	1.355
Afşin-Elbistan B	EÜAŞ	EÜAŞ	Linyit	1.440
Kangal	Konya Şeker	Konya Şeker	Linyit	457
Çayırhan	EÜAŞ	EÜAŞ	Linyit	620
Çatalağzı	Bereket Elsan	TTK	Taşkömürü	300
Silopi	Park	TKİ	Asfaltit	135

Ancak, yerli kömürlerin elektrik üretiminde kullanımının arttırılması hususunda istenilen mesafe alınamamıştır. Son 14 yıldır yerli kömüre dayalı olarak temeli atılan santral kapasitesi toplam kurulu gücümüzün %1'i düzeyine bile yaklaşamamaktadır. Bunun sonucu olarak, yerli kömürlerimizin toplam elektrik üretimindeki payı %15'lere kadar gerilemiştir. Bununla beraber, ülkemizde elektrik üretimi amaçlı kullanılabilecek önemli kömür rezervleri bulunmaktadır. Söz konusu rezervlerden en yüksek ekonomik yararın elde edilmesini sağlamak amacıyla, kömür üretim faaliyetleri devam etmekte olan sahalarda mevcut proje ve planlamaların güncellenerek geliştirilmesi, henüz herhangi bir işletme projesi bulunmayan sahalarda işletme proje ve planlamalarının ortaya konulması, havza

niteliği taşıyan bölgelerde ise havza madenciliğinin gerektirdiği orta ve uzun dönem planlamaları içeren ana master planlarının hazırlanması uygun olacaktır. Bu kapsamda, ülkemizde 20.000 MW'ın üzerinde kurulu güç yaratabilecek bir linyit/asfaltit potansiyeli bulunmaktadır. Tablo 3.8'de elektrik üretimi amaçlı olarak hızla değerlendirilmesi gereken rezervler listelenmektedir. EPDK verilerine göre, 2015 yılı Mayıs ayı itibariyle yerli kömüre dayalı toplam 51 adet üretim lisansı yürürlükte olup bunların toplamı 11.188 MW'ı bulmaktadır. Ayrıca, yürürlükte olan 8 adet (2.360 MW) ön lisans ve değerlendirmede olan 3 adet (600 MW) ön lisans başvurusu bulunmaktadır. İnşa halinde olan yerli kömür yakıtlı santral sayısı 12 olup toplam gücü 3.446 MW düzeyindedir. Bunlardan 1.078 MW büyüklüğündeki 5 adet santral ise tamamlanma aşamasına gelmiştir (TKİ, 2015, s. 31).

Yerli kömüre dayalı santral yatırımları konusunda beklenen gelişme sağlanamamakla beraber, ithal kömüre dayalı santral kapasitesi giderek artmaktadır. 2000 yılına kadar elektrik sistemimizde ithal kömür santrali bulunmazken 2014 sonu itibariyle söz konusu santrallerin kurulu güç kapasitesi 6.063 MW düzeyine ulaşmıştır. Bu büyüklük, 2014 yılı sonu itibariyle toplam santral kurulu gücümüzün %8,7'sine karşılık gelmektedir. Mevcut gelişmeler, ithal kömür santral yatırımlarının önümüzdeki yıllarda da artarak süreceğini göstermektedir (TKİ, 2015, s. 31).

Yerli kömüre dayalı santral yatırımları konusunda beklenen gelişme sağlanamamakla beraber, ithal kömüre dayalı santral kapasitesi giderek artmaktadır. 2000 yılına kadar elektrik sistemimizde ithal kömür santrali bulunmazken 2014 sonu itibariyle söz konusu santrallerin kurulu güç kapasitesi 6.063 MW düzeyine ulaşmıştır. Bu büyüklük, 2014 yılı sonu itibariyle toplam santral kurulu gücümüzün %8,7'sine karşılık gelmektedir. Mevcut gelişmeler, ithal kömür santral yatırımlarının önümüzdeki yıllarda da artarak süreceğini göstermektedir (TKİ, 2015, s. 31).

Tablo 3.8 Elektrik üretimi amaçlı kullanılabilecek başlıca kömür sahaları (TKİ, 2015)

Saha	Toplam Rezerv (ton)	Kurum
Afşin-Elbistan Havzası	4.831.902.000	EÜAŞ
Çayırhan Havzası	425.896.000	EÜAŞ
Kütahya Seyitömer	160.000.000	Özel sektör
Konya Karapınar	1.833.000.000	EÜAŞ
Afyon Dinar	941.000.000	MTA
Eskişehir Alpu	1.453.000.000	TKİ
Adana Tufanbeyli	323.329.000	TKİ
Bingöl Karlıova	103.662.000	TKİ
Bolu Göynük	37.875.000	TKİ
Manisa Soma	688.000.000	TKİ
Kütahya Tunçbilek	253.000.000	TKİ
Tekirdağ Saray	283.000.000	TKİ
Şırnak Asfaltit	71.000.000	TKİ
Konya Ilgın	143.000.000	Özel
Çankırı Orta	94.390.000	Özel
Adıyaman Gölbaşı	32.000.000	Özel

Ülkemizde işletmede olan 9 adet ithal kömür santrali bulunmaktadır. Toplam kurulu gücü 6.063 MW olan bu santrallerin 2 adedi Çanakkale Biga'da, diğerleri Adana-Yumurtalık, Kahraman Maraş, Kocaeli-Gebze ve Zonguldak-Çatalağzı'nda kuruludur. Başlıcaları Tablo 3.9'da gösterilmiştir (TKİ, 2015, s. 31).

Tablo 3.9 İşletmedeki büyük kapasiteli ithal kömür santralleri (TKİ, 2015)

Santral Mülkiyeti	Yeri	Kurulu Gücü (MWe)	Açıklama
İsken Sugözü Enerji Santrali	Adana-Y umurtalık	1.320	İşletmede
İçdaş Çelik Enerji Ters. ve Ulş. San. AŞ	Biga - ÇANAKKALE	405	İşletmede
İçdaş Elektrik Enerjisi Ürt. ve Yat. AŞ	Biga - ÇANAKKALE	1.200	İşletmede
Çolakoğlu Metalurji AŞ	Gebze - KOCAELİ	190	İşletmede
Eren Enerji Elektrik Üretim AŞ	Catalağzı - ZONGULDAK	2.790	1390 MW'ı işletmede
İzdemir Enerji Termik Santrali	Aliağa-İZMİR	350	İşletmede
Atlas Termik Santrali	Hatay-İSKENDERUN	1.200	İşletmede

İthal kömür yakıtlı elektrik üretim tesislerine ilişkin olarak; 12.059 MW gücünde

17 adet yürürlükte olan ve 11.535 MW gücünde 14 adet değerlendirmede olan üretim lisansı ile 4.788 MW gücünde yürürlükte olan 7 adet ve 5.480 MW gücünde değerlendirmede olan 6 adet ön lisans bulunmaktadır. EPDK verilerine göre, inşaat halindeki ithal kömüre dayalı santral toplam gücü 5.980 MW düzeyindedir (TKİ, 2015. s. 32).

Ülkemizin 2013 sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü 12.563 MW olup toplam kurulu gücün %20'sine karşılık gelmektedir. Yerli kömüre dayalı kurulu güç 8.515 MW (%13,3) ve ithal kömüre dayalı kurulu güç ise 4.048 MW (%6,3) şeklindedir (ETKB, b.t.)

3.8.4 Termik Santral Teknolojileri

Yanmayla ortaya çıkan ısı enerjisinden elektrik enerjisi üreten merkezdir. Yanma, bir kazan yada buhar üretecinde gerçekleştirilir ve suyun buhara dönüştürülmesini, daha sonrada bunun yüksek basınç altında (135 bar), yüksek sıcaklıkta (535 °C) çok ısıtılmasını sağlar. Buhar önce türbinin yüksek basınçlı bölümünde ve daha sonra yeniden çok ısıtıldıktan sonra orta ve alçak basınçlı bölümlerde genişler. Birbirini izleyen bu genişlemeler sırasında ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Konderserde soğutulan buhar tekrar su haline döner; türbinden çektiği buharla çalışan bir yeniden ısıtma bölümüyse suyun ısısını yükseltip kazana gönderir. Buhar ve su bir kapalı devre halinde dolaştıkları için, bu çevrim sonsuza kadar yenilenir (Deneysan, b.t, s. 14).

Duman kazan çıkışında büyük oranda ısı yitirir ve elektro filtreden sonra havaya verilir; Böylece yanma olayı gerçekleşir. Kömürle çalışan santrallerde dumanın daha sonra elektrostatik düzenekler yardımıyla tozu alınır ve bacadan dışarı atılır. Bu arada türbinde yaratılan mekanik enerji bir alternatöre iletilir ve burada elektrik enerjisine dönüştürülür. Türbo-alternatör gurubunun uzunluğu 600 MW bir güç için bazen 50m'yi aşar; verilen elektrik akımıysa 20.000 voltluk bir gerilim altında 19.200 ampere ulaşır. Modern bir termik santralın verimi %40 dolayındadır (Deneysan, b.t, s.14).

Termik santralın bilançosu incelendiğinde, üretilen bir kW için 4.000 kJ'dan fazla bir enerjinin soğutma suyuna harcandığı anlaşılmıştır. Su bir akarsudan alınırsa, bu suyun günümüzde en çok 7-10'C arasında ısıtılmasına izin verilmektedir; bu da büyük bir debi gerektirir. Sözgelimi, 600 MW'lık bir enerji grubunda soğutma için saniyede 22 metreküp su gerekir. Bu nedenlerden ötürü, büyük santraller ancak büyük akarsuların üzerinde ya da deniz kıyısında kurulur. Bununla birlikte, termik santrallerin yol açtığı ısı artışı, su bitkileri ve hayvanları için ciddi sorunlar yaratır. Suyun az, santrallerin çok sayıda bulunduğu bölgelerde, genellikle hiperbol biçiminde büyük kulelerden oluşan havalı (atmosferik) soğutma sistemlerinden yararlanılır (Deneysan, b.t, s.14).

Termik santrallerde kullanılan yakıtlar mazot, gaz ve kömürdür. Mazot için gerekli olan tesisler basit tesislerdir; mazot 30.000-40.000 m hacimli, silindir biçiminde metalik depolarda saklanır. Depolardan alınıp ısıtılan mazot püskürtülerek brülörlere aktarılır. Gaz kullanımı için gerekli olan donanımlar çok az sayıdadır; Gaz brülörlere gönderilmeden önce yalnızca genişletilir, filtreden geçirilir ve ısıtılır (Deneysan, b.t, s.14).

Kömür önce toz haline getirildikten sonra, önceden mazotla 500 °C'a kadar ısıtılmış olan yanma odalarının brülörlerine kuvvetli bir hava akımıyla gönderilir. Bu odaların birkaç yüz m^3 bulan bir hacmi ve birkaç bin m^2 büyüklüğünde bir ısıtma alanı vardır. Büyük bir termik santralin kömür tüketimi günde 5.000 tonu aşar (Deneysan, b.t, s.14).

"Termik santral, kapalı devre halinde dolaşan suyu buharlaştıran bir kazan ve bir türbo alternatör (bir türbinle harekete geçirilen alternatör) grubu içine girer. Bu tür klasik santrallerde buhar, kömür, fuel-oil ve nadiren doğalgaz veya yüksek fırın gazı yakılarak üretilir" (Deneysan, b.t, s.14).

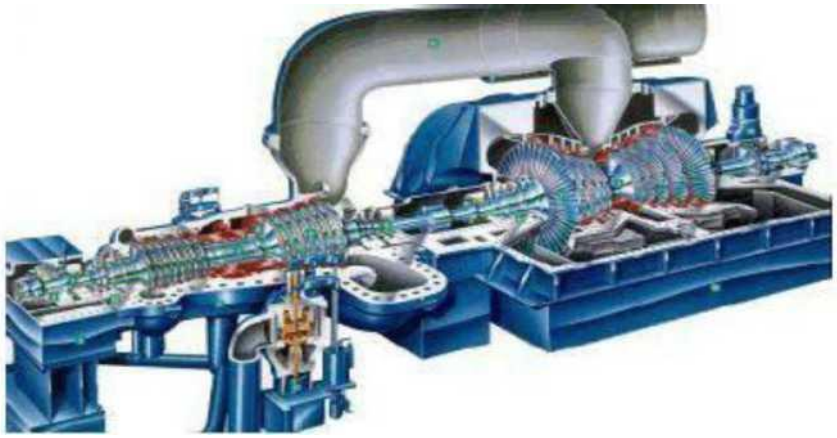
Termik santral bildiğimiz gibi kömür akaryakıtların (fuel-oil,mozot,gaz) yakılması yoluyla mekanik enerji elde edilen bir merkezdir. Burada kazan

bölümünde dolaşan su kızgın buhar haline dönüşür ve bu buhar yüksek basınç altında (135 bar) yüksek sıcaklıkta (535 derece) türbinin yüksek basınç bölümüne daha sonra da tekrar kızdırılarak orta ve alçak basınç bölümüne gönderilir. Bu devam eden olaylar sonrasında ısı enerjisi mekanik enerjiye döndürülmüş olur (Deneysan, b.t, s.15).

Burada elde ettiğimiz mekanik enerji türbin miline bağlı elektrik jeneratörü döndürülmüş olur. Elektrik jeneratörünün çalışma prensibi, bakır gibi iletken bir telin manyetik bir alan içinde hareket ettirilmesi ile sistemine göre çalışır. Elektrik jeneratörü, bir mıknatıs içinde dönen (ROTOR) sarılı iletken tellerin bulunduğu (STADOR), ve bu tellerin mıknatıs içinde dönmesiyle elektrik akımı üreten bir makinedir (Deneysan, b.t, s.15)

Buhar Türbinli Linyit Santralleri

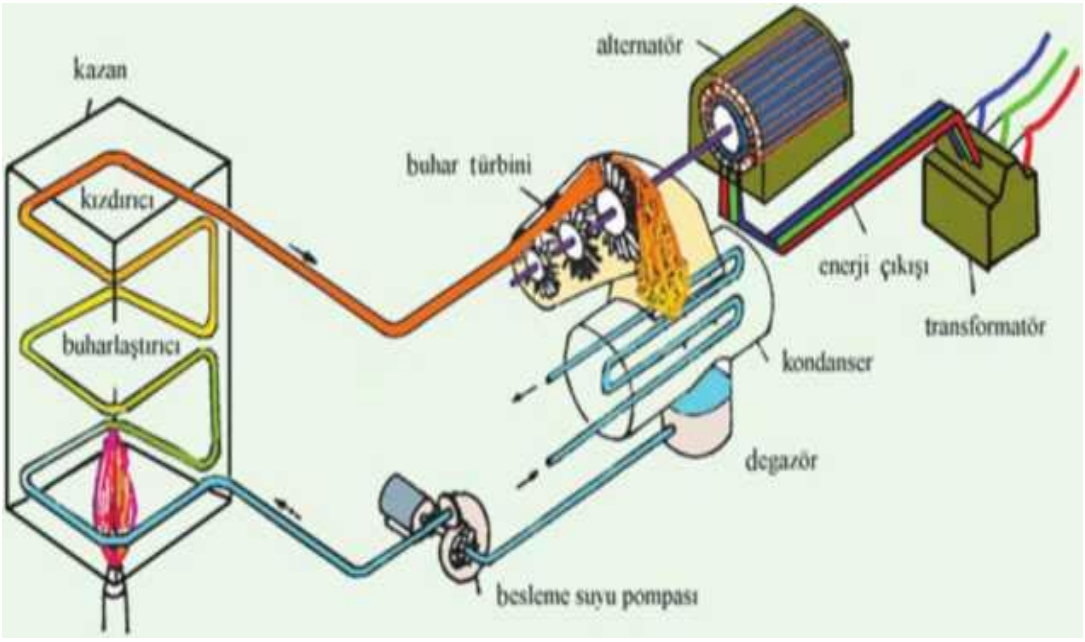
Termik santrallerde buhar kazanlarında yakıt ve hava karışımı uygun şartlarda yakılır. Bu esnada kazanda bulunan sudan, yüksek sıcaklıkta yüksek basınçlı buhar elde edilir. Elde edilen yüksek basınçlı buhar, buhar türbinine gönderilerek mekanik enerji elde edilir. Buhar türbinine akuple olan alternatörde bu enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu prensiple çalışan termik santrallere buhar türbinli santraller denir (Deneysan, b.t, s.17).



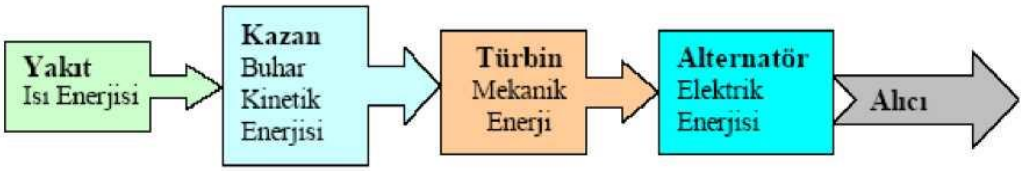
Şekil 3.1 Buhar türbinli santral kesiti (Deneysan, b.t).

“Buhar türbinli santrallerde yakıt olarak linyit kömürü, fuel-oil, doğal gaz ve büyük şehirlerin çöp atıkları vb. kullanılır. Termik santraller, üretilen elektrik enerjisinin maliyetini daha fazla artırmamak için kullanılan yakıtın bulunduğu yerin yakınına kurulur” (Deneysan, b.t, s.17).

Prensip olarak bir buhar türbinli termik santralin çalışmasını Şekil 3.1’deki şemaya göre anlatacak olursak; besleme suyu pompasından basılan su kazana gönderilir. Kazanda ısıtılan su ilk önce buharlaşır, sonra kızdırıcılardan geçerek kızdırılır (nemi alınır). Elde edilen kızgın buhar, buhar türbinine gönderilir. Buhar türbininin kanatlarına çarpan buhar, türbini döndürür. Buhar türbinine bağlı alternatör bu dönme şeklindeki mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Alternatör çıkışı bir yükseltici trafo ile enerji nakil hatlarına verilir. Buhar türbininde işi biten çürük buhar, kondenser denilen yoğunlaştırıcılara gelerek tekrar su haline dönüştürülür ve besleme suyu pompası ile tekrar kazana girer. Bu işlem bir döngü içerisinde devam ederek termik yolla elektrik enerjisi üretimi gerçekleşmiş olur (Deneysan, b.t, s.17).



Şekil 3.2 Buhar türbinli termik santralin prensip şeması ve bölümleri (Deneysan, b.t).



Şekil 3.3 Termik santral enerji dönüşüm şeması (Deneysan, b.t.).

Buhar Türbinli Santral Bölümleri ve Görevleri

1. **Ham kömür silosu (Bunker):** Vagonlarla getirilen işlenmemiş kömürün depolandığı yerdir.

2. **Besleyici**: Öğütücü makine için, uygun miktarda kömürü otomatik olarak ayarlayan makinedir.

3. **Öğütücü (Değirmen):** Kömürü çok ince toz haline getirir.

4. Ocak (Yakıcı): Yakıtın yakıldığı kısımdır.

5. **Kazan:** Boru demetinde, sudan ayrılan buharın ve ekonomizörden gelen düşük yoğunluklu buharın toplandığı kısımdır.

6. **Kızdırıcı:** Kazandan gelen, düşük ısılı buharın sıcaklığını ve dolayısıyla basıncını artıran kısımdır.

7. **Ekonomizör:** Kazan boru demetini terk eden, gaz halindeki yanma ürünleri yüksek sıcaklıktadır. Bunların, bacadan direkt olarak atılması fazlaca enerji (ısı) kaybına neden olur. Atılmak üzere giden sıcak gazların, bir kısmından faydalanmak için ekonomizör kullanılır. Besleme suyunu bir miktar ısıtır.

8. **Dom:** Ekonomizör ve buharlaştırıcı borulardan gelen suyun toplandığı yarısı buhar yarısı su olan tanktır.

9. **Toz tutucu (Elektro Filtre):** Atılmak üzere bacaya giden, çevreye zararlı tozların tutulduğu yerdir.

10. **Emme fanı:** Yanmış gazları, kazanın ısı transfer yüzeyinden, kızdırıcıdan, ekonomizör ve hava ısıtıcısından çekerek ocak basıncını atmosfer basıncının biraz altında tutan elemandır.

11. **Hava ısıtıcı:** Bacaya giden, yüksek ısıdaki yanmış gazların ısısını bir miktar düşüren, yanma için gerekli havayı ısıtan bununla birlikte öğütücüdeki kömürün kurutulması için sıcaklık temin eden kısımdır.

12. **Türbin:** Yüksek basınçlı buharın kinetik enerjisini, mekanik enerjiye dönüştüren makine düzeneğidir. Buhar türbinlerinde, enerji doğrudan türbin miline geçtiğinden verimleri yüksektir. Türbinler yüksek devirler elde etmek için, yatay milli olarak yapılmışlardır. Enerji üretmede kullanılan buhar sıcaklığı 600°C ile 950°C arasındadır. Verimi, türbinin büyüklüğüne buhar basıncına ve sıcaklığına göre değişir.

13. **Kondenser (Yoğunlaştırıcı):** Türbinden çıkan kullanılmış buhar, kondensere gönderilir. Buharın tekrar suya dönüştürülmesi (yoğunlaştırılması) işlemini yapan kısımdır. Kondenser, içinden soğuk suların pompalandığı borulardan oluşan büyük bir odadır.

14. **Degazör:** Kondenserden gelen yoğunlaşmış buharın su haline gelerek toplandığı su tankı ve aynı zamanda kazan tasfiye sisteminden gelen saf suyun da depolandığı su tankıdır.

15. **Kondenser pompası**: Kondenserde elde edilen yoğunlaştırılmış buhar ortalama 20°C-40°C arasındadır. Yoğunlaşan buharı, tekrar ısıtıcılara pompalayan elemandır.

16. **Kazan suyu besleme pompası:** Alçak ve yüksek basınç ısıtıcılarında ısıtılan suyu, ekonomizöre gönderen elemandır.

17. **Alçak basınç-Yüksek basınç ısıtıcıları:** Besleme suyunu, türbinden aldığı buharla ısıtan kısımdır.

18. **Yumuşatıcı:** Buhar elde etmek için kullanılan su içerisinde bulunan, kireç maddelerinin sistemde kabuk-tortu oluşturmamasını temin için kullanılan elemandır.

19. **Baca:** Kazan içindeki işi biten duman gazının dışarı atıldığı kısımdır.

20. **Jeneratör (Alternatör):** Türbin mekanik enerjisini, elektrik enerjisine dönüştüren makinedir.

21. **Külhan:** Yakılan kömürün küllerinin toplandığı kısımdır (Deneysan, b.t, s.18-20).



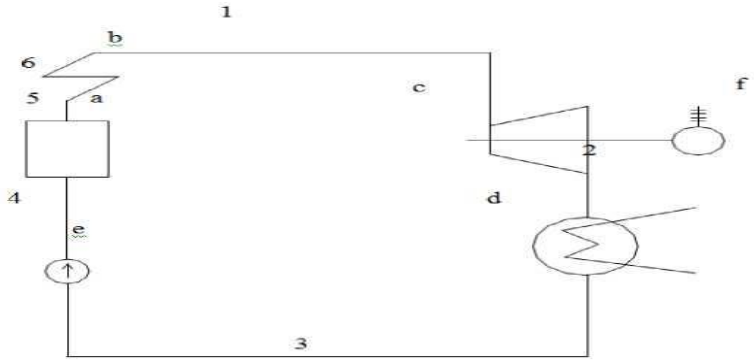
Şekil 3.4 Afşin-Elbistan termik santrali (Deneysan, b.t).

Termik Santral Çevrimi

Şekil-3.5'de bir buhar santrali en basit şekliyle gösterilmiştir. Kazanın buharlaştırıcı bölümünde (a) yüksek basınç altında (kazan basıncı) bulunan besleme suyu, düşük bir sıcaklıktan (kondensat sıcaklığı) buharlaşma sıcaklığına kadar izobarik olarak ısıtılır ve buharlaştırılır. Doymuş buhar, daha sonra kızdırıcılarda (b) kızdırılır. Buradan çıkan kızgın buharın sıcaklığına "taze buhar sıcaklığı" denir. Kızgın buhar daha sonra türbinde (c) adyabatik olarak kondenser basıncına kadar genişler. Bu genişleme sırasında buhar sıcaklığı da kondensat sıcaklığına kadar düşer. Türbinden çıkan çürük buhar kondenserde (d) izobarik ve izotermal olarak yoğuşturulur. Bu yoğuşmanın sağlanabilmesi için, soğutma suyu ile buharın kondensasyon ısısının alınması gerekir. Son olarak kondensat besleme suyu pompası (e) ile tekrar adyabatik olarak kazan basıncına çıkartılır. Borulardaki sürtünme ve ısı kayıplarını dikkate almazsak, bu çevrimde besleme suyu pompası çıkışından türbin girişine kadar devam eden sabit basınca kazan basıncı, türbin çıkışından besleme suyu pompası girişine kadar devam eden sabit basınca da kondenser basıncı denir (Deneysan, b.t, s.20).

Taze buhar sıcaklığı kızdırıcı çıkışından türbin girişine kadar, kondensat sıcaklığı ise türbin çıkışından kazan girişine kadar sabit olarak devam eder. Yani yüksek basınç besleme suyu pompasında, yüksek sıcaklık ise kazanda elde edilir. Her

ikisi de türbinde düşüşe uğrar. Bu çevrime Clausius-Rankine çevrimi denir. (Deneysan, b.t, s.21).



Şekil 3.5 Basit bir buhar santralı çevrimi (Deneysan, b.t)

Buhar Kazanları

Yakıtın çeşitli ateşleme sistemleri ile yakılıp ısının elde edildiği bölümdür. Kazan sıcaklığı kazanın türüne göre 800-1.300°C arasında değişir. Isı kazan etrafındaki ve içindeki borulardaki suyu buhar haline getirerek uygun sistemlerle türbine gönderir. Termik santral kazanlarının birçok çeşidi vardır. Bunlardan bazıları: (Deneysan, b.t, s.26).

- Pulverize Kazanlar
- Sürüklemeli Kazanlar
- Akışkan Yataklı Kazanlar
- Atık Isı Kazanları

"Ülkemizde en fazla Pulverize Kazan teknolojisi kullanılmaktadır. Bu sistemde kömür değirmenlerde öğütülerek mikron boyutunda parçalara ayrılır. Bu şekilde yanmanın homojen bir şekilde gerçekleşmesi sağlanır bu da verimi artırır" (Deneysan, b.t, s.26).

Türbin-jeneratör

Sıcak ve basınçlandırılmış buhar (genelde 500°-600°C ve 80-100 bar) izole boru sistemleri ile türbine gönderilir. Buhar bünyesinde barındırdığı büyük miktardaki

enerjiyle türbin kanatlarını döndürmeye başlar. Türbin miline akuple edilmiş jeneratör rotoru türbinle aynı hızda döner türbin hızı belirli bir hıza ulaştığında (Çatalağzı T.S 'de 3000 dev/dak) jeneratör rotuna ikaz verilir ve jeneratör çıkışından elektrik enerjisi elde edilmiş olur, böylece santralin nihai amacı olan elektrik enerjisi elde edilmiş olur. Şekil 3.6'da gösterilmiştir (Deneysan, b.t, s.27).



Şekil 3.6 Türbin-jeneratör sistemi (Deneysan, b.t).

Kondenser ve Soğutma Kulesi

Türbinden çıkan, buhar enerjisi diğer bir deyişle basınç ve sıcaklığı azalmış buhar yoğunlaştırıcı (kondenser) denilen bölümde soğutulup su haline dönüştürülür. Bu işlemin sebebi buharın depolanamamasına karşılık suyun depolanabilme özelliğinin olmasıdır. Oluşan su sonra, tekrar kullanılmak üzere santralın ısı üretilen bölümüne geri gönderilir. Yoğunlaştırıcıda soğutma işini sağlayabilmek için deniz, göl veya ırmaklarda bulunan su kullanılır. Su kaynaklarından uzak bölgelerde ise santralın hemen yanında bulunan soğutma kuleleri kullanılır. Bu kulelerin üzerinde görülen beyaz duman su buharıdır. Bu suyu sisteme geri

gönderen soğutma suyu pompaları ile bu işlem kapalı çevrim şeklinde sürekli devam etmektedir Şekil 3.7 de gösterilmiştir (Deneysan, b.t, s.27).



Şekil 3.7 Bir kömür santralinin soğutma kuleleri (Deneysan, b.t).

BÖLÜM DÖRT
TÜRKİYENİN LİNYİT ÜRETİM SAHALARINDAN ÖRNEKLER

4.1 Giriş

2008 yılı birincil enerji kaynakları üretiminde %52 gibi çok önemli bir payla ilk sırada yer almaktadır. Linyiti sırasıyla odun (%12,6), hidrolik enerji (%9,8), petrol (%7,8) izlemektedir. Toplam 15,5 milyar tonu aşan rezervi ile linyitin (TKİ, 2016), önümüzdeki uzun yıllar boyunca Türkiye'nin enerji ihtiyacının karşılanmasında önemli rolünü koruması beklenmektedir. Bununla birlikte genelde kömür (linyit, taşkömürü vb.), üretimden tüketime, her aşamada önemli çevre sorunlarına neden olabilen bir enerji kaynağıdır. Bu bölümde ise Türkiye linyitlerinin genel özelliklerinin tanıtımı yanında, gerek linyitlerde ve gerekse taşkömürlerinde bulunan ve çevre açısından büyük önem taşıyan iz elementlere de yer verilmiştir (Ünalan, 2010, s. 341).

4.2 Linyitin Kalorifik Güçleri ve Kimyasal Özellikleri

"Linyit rezervlerimizin önemli bir özelliği kalorifik güçlerinin genelde düşük olmasıdır. Alt ısıl değerlerine göre bir sınıflama yapıldığında 15,5 milyar tonluk (TKİ, 2016) toplam rezervin yüzde olarak dağılımı aşağıdaki gibidir" (Ünalan, 2010, s. 342).

1.000-1.500 : % 56
1.500-2.000 : % 12
2.000-3.000 : % 23,5
3.000-4.000 : % 5,1
>4.000 kcal/kg : % 3,4

Toplam rezervin % 68'i 2.000 kcal/kg'dan düşük bir ısıl güce sahip olup bunun da en büyük bölümünü 3,357 milyar tonluk rezervi ile Afşin-Elbistan sahasının kömürleri oluşturmaktadır (Elbistan kömürlerinin kalorifik gücü ortalama 1.050 kcal/kg'dır). 4.000 kcal/kg'dan daha yüksek ısıl güce sahip kömürler % 3,4 gibi

çok düşük bir paya sahiptir. Yukarı da açıklanan nedenlerle toplam rezervin büyük bölümü, ancak termik santrallerde yakıt olarak kullanıma uygundur. Türkiye'de 2003 yılında üretilen 46,2 milyon ton linyitin (TKİ: 25,6 milyon ton, EÜAŞ: 15,7 milyon ton, özel sektör: 5 milyon ton) % 76'sı termik santrallerde, geri kalan % 24'ü ise ısınmada ve sanayide kullanılmıştır (Ünalan, 2010, s. 342).

4.3 Kömürleşme Dereceleri

Türkiye'nin Tersiyer yaşlı (Eosen, Oligosen, Miyosen ve Pliyosen) kömürlerinin tamamı önceki yıllara ait değişik yayınlar ve raporlarda linyit olarak gösterilmiştir. Bu kömürlerin bir bölümü gerçekten linyittir. Ancak diğer bölümünün, son yıllarda yapılan çalışmalarla (vitrinit yansıtması, uçucu madde ve sabit karbon ölçümleri gibi) linyit olmayıp, alt bitümlü kömür, hatta bazılarının taşkömürü olduğu belirlenmiştir. Örneğin önceki yıllarda kayıtlara linyit olarak geçen Manisa- Soma sahasındaki k_1 kömürü alt bitümlü kömür, Kütahya-Gediz-Gökler sahasındaki kömür ise taşkömürüdür (Ünalan, 2010, s. 342).

4.4 Türkiye'nin Önemli Linyit Sahaları

"Türkiye'de değişik boyutlu ve değişik jeolojik yaşta olmak üzere 120'den fazla linyit sahası ve çok sayıda linyit belirtisi (zuhuru) bulunmaktadır. Sahaların birçoğunda üretim yapılmaktadır. Aşağıda, önemli görülen linyit sahalarından 6'sı hakkında özet jeolojik bilgi sunulmuştur" (Ünalan, 2010, s. 346).

4.4.1 Afşin Elbistan Linyit Sahası

Kahramanmaraş il sınırları içinde, il merkezinin 75 km kuzeyinde yer alır. Alanı yaklaşık 120 km^2'dir. Karmaşık bir jeolojik yapıya sahip olan temel kayaları üzerine açısal uyumsuzlukla gelen, göl ve akarsu ortamını yansıtan genç çökellerin kalınlığı yaklaşık 150 m'dir. Kömür bu çökeller içinde yer almaktadır. Kömür seviyesinin kalınlığı 80 m'ye kadar çıkmakla birlikte, ortalaması 40 m'dir. Eski çalışmalarda; Pliyosen-Pleyistosen olarak belirtilen yaşı, Çenet (2006)'ya

göre Pliyosen'dir. Kömür üzerinde, kalınlığı değişken ve karbonat oranı yüksek bir gitya seviyesi bulunmaktadır. Kömürün alt ısıl değeri, MTA kaynaklarına göre ortalama 1.050 kcal/kg TKİ kaynaklarına göre ise 1.128 kcal/kg' dır. Orijinal kömürde nem oranı yaklaşık %50, kül oranı ise %20'dir. Maseral olarak hüminit çoğunluktadır. Hüminitin yansıtma derecesi ise ortalama %0,3'tür. Bu da olgunlaşmamış bir linyiti göstermektedir. 2003 yılından önceki verilere göre sahanın toplam görünür rezervi 3,357 milyar tondur. Ancak 2005, 2006, 2007 ve 2008 yıllarında gerek EÜAŞ sahalarında gerekse MTA'ya ait ruhsat sahalarında MTA tarafından yapılan ilave sondajlarla, sırasıyla 1.285 milyon ton ve 515 milyon ton olmak üzere toplam 1,8 milyar tonluk rezerv katkısı sağlanmış ve sahanın toplam rezervi 5,157 milyar ton seviyesine yükselmiştir (Ünalan, 2010, s. 348).

Kömür kalınlıkları 4m ile 58 m arasındadır. Derinlikleri ise 10m ile 150 m arasındadır. Kimyasal özellikleri ise %58 su, %19 kül, %2 kükürt, 1.143 kcal/kg ve kömürün yoğunluğu 1,20 ton/m^3 tür (MTA, 2010).

Düşük kalorifik gücüne rağmen Afşin-Elbistan sahası, linyit rezervi yönüyle Türkiye'nin en büyük sahasıdır. Sahadaki linyit açık işletmeye uygundur. Örtü kalınlığı (dekapaj kalınlığı) 60-100 m kadardır. Dekapaj-linyit (kalınlık) oranı ise 2,2-4 arasında değişmektedir. Saha, Kışlaköy (A sektörü), Çöllolar (B sektörü), Afşin (C sektörü), Kuşkayası (D sektörü), E ve F sektörü olmak üzere 6 sektöre ayrılmıştır (Ünalan, 2010, s. 348).

Kışlaköy sektörüne (A sektörü) ait rezervi kullanmak üzere 1.360 MW (4x340 MW) gücündeki ilk termik santral (Elbistan A santrali) 1973 yılında projelendirilmiş, 1984 yılında işletmeye alınmıştır. Santralin, proje yıllık ortalama elektrik üretim kapasitesi 8.840 GWh, yıllık kömür tüketim kapasitesi 18 milyon tondur (Ünalan, 2010, s. 349).

"Çöllolar sektörünün (B sektörü) kömürünü kullanmak üzere 1.440 MW gücündeki 2. santral (Elbistan B santrali) 1993 yılında projelendirilmiş olup 2005 yılı

sonunda üretime geçmiştir. Elbistan B santralinin yıllık ortalama elektrik üretim kapasitesi 9.360 GWh, kömür tüketim kapasitesi ise 20 milyon ton/yıldır" (Ünalan, 2010, s. 349).

"Afşin-Elbistan sahasındaki toplam linyit rezervinin 9.400 MW gücündeki santralleri besleyebileceği hesaplanmıştır. Buna göre gelecek yıllarda sahada ilk iki santrale (1.360+1.440 MW) ilave olarak toplam 6.600 MW güce sahip santraller kurulabilecektir. EÜAŞ verilerine göre ise sahanın toplam kapasitesi 6.800 MW'tır" (Ünalan, 2010, s. 350).

Afşin-Elbistan Kömür havzasının 2015 sonu itibariyle görünür rezerv miktarı 4.825,4 milyon ton, ortalama alt ısıl değeri 1.136 kcal/kg dır. Üretim miktarı ise 2013 yılında 11,23 milyon ton, 2014 yılında 13,48 milyon ton ve 2015 yılında 6.46 milyon ton dur (EÜAŞ, 2016).

4.4.2 Manisa Soma Havzası

Soma havzası, Türkiye'nin en kaliteli kömürlerinin (linyit+alt bitümlü kömür) bulunduğu Neojen havzalarındandır. Havzanın temeli, yer yer olistostromal özellikli fliş (Bornova flişi) veya Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşlarından oluşmakta, bu temel üzerine açısal uyumsuzlukla Neojen yaşlı Soma ve Deniş formasyonları gelmektedir. Miyosen yaşlı Soma formasyonu önceki çalışmalarda, tabandan tavana m_1 m_2, ve m_3 olarak adlandırılan 3 üyeye ayrılmıştır. Bazal Seri olarak adlandırılan m_1 çakıltaşı ve kumtaşlarından oluşan bir akarsu çökelidir. Kalınlığı en fazla 100 m'dir (Ünalan, 2010, s. 350).

"m_1 üyesinin üzerine kalınlığı 1-40 m arasında değişen ve k_1 olarak adlandırılan "Alt Linyit Zonu" gelmektedir. Bu zona ait kömürlerin kalorifik gücü 1.000-4.500 kcal/kg arasındadır. Havada kuru kömürde bu değer 5.500-6.000 kcal/kg'a kadar çıkmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 350).

"m_2 üyesi, yaprak fosilleri kapsayan marnlardan oluşur. Kalınlığı en fazla 160

m'dir" (Ünalan, 2010, s. 350).

"m_3 üyesi, kumlu, çörtlü ve karstik boşluklu, bej kireçtaşları ile temsil edilir. Bol miktarda Planorbis fosilleri kapsar. Kalınlığı 175 m'ye kadar çıkmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 350).

m_3 üyesinin üstünde k_2 olarak adlandırılan "Orta Linyit Zonu" yer alır. Bu zonun kalınlığı 0,5-32 m arasında değişir. Ortalama 5 m'dir. Ancak bu zon, sahanın her tarafında mevcut değildir. k_2 kömürünün ısıl gücü 700-2.500 kcal/kg arasındadır (Ünalan, 2010, s. 351).

Soma formasyonunun yaşı, bitki fosilleri (yaprak), gastropod, spor-pollenlerden yararlanarak belirlenmiştir. Nebert (1978) birimin yaşını Alt-Orta Miyosen, Akgün ve diğerleri (1986) ise Orta Miyosen olarak belirtmektedir (Ünalan, 2010, s. 351).

Soma formasyonunun üzerine, açısız bir uyumsuzlukla Deniş formasyonu gelmektedir. Bu formasyon da alttan üste doğru p_1, p_2 ve p_3 üyelerinden oluşur (Ünalan, 2010, s. 351).

P_1 çakıllı kumtaşı, kumtaşı, alacalı kil ve çamurtaşı ardalanması şeklindedir. Kalınlığı 200 m'ye kadar çıkabilmektedir. p_2, marn, tüf, kireçtaşı, üste doğru aglomera ve varvlı killerden meydana gelen volkano-tortul bir istif şeklindedir (Ünalan, 2010, s. 351).

P_1 ve p_2 üyeleri arasında k_3 olarak adlandırılan "Üst Linyit Zonu" bulunur. Zon kalınlığı en fazla 31 m'dir. Bunun içinde ekonomik kömür kalınlığı 9 m'yi bulmaktadır. Bu kömürlerin kalorifik gücü ise 550-2.600 kcal/kg arasındadır (Ünalan, 2010, s. 351).

P_3, çörtleşmiş kireçtaşı ve tüflerden oluşur. Kalınlığı 30-300 m arasında değişir (Ünalan, 2010, s. 351).

Deniş formasyonunun kalınlığı yaklaşık 600 m'dir. Yaşı, önceki çalışmalarda gastropod, spor-pollen ve ostrakodlara dayanarak Erken Pliyosen olarak verilmiştir Bu nedenle formasyona ait üyeler için, Pliyosen'i ifade eden p_1 p_2, p_3 gibi rumuzlar kullanılmıştır. Ancak daha sonraki çalışmalarda formasyonun yaşı Genç Miyosen olarak kabul edilmiştir (Ünalan, 2010, s. 351).

"Deniş formasyonunun üzerine uyumsuzlukla Pleyistosen yaşlı karasal kırıntılılar, tüf, andezitik aglomera, andezit ve bazaltlar gelmektedir" (Ünalan, 2010, s. 352).

Soma yöresinde k_1 ve k_2 kömürlerini kapsayan Soma formasyonu, genel gidişi KKD-GGB olan 5x40 km boyutlu bir alanda yaygındır. Söz konusu alanda KKD-GGB doğrultulu ve ayrıca bu doğrultuya dik ve verev uzanan çok sayıda normal faylar (tansiyon fayları) yer almaktadır. Bu faylara bağlı olarak küçük boyutlu birçok yükselim (horst) ve çöküntü alanı (graben) oluşmuştur. Yükselimlerin olduğu alanlarda, Neojen'in temelini oluşturan Mesozoyik yaşlı kristalize kireçtaşları ve fliş (Bornova flişi) mostra verir (Ünalan, 2010, s. 352).

Soma formasyonunun grabenler içinde depolandığı, yani yayılımının grabenlerle sınırlı olduğu, Deniş formasyonunun ise grabenleri aşarak çok daha geniş bir alanda depolandığı düşünülmektedir (Ünalan, 2010, s. 352).

Yukarıda açıklanan jeolojik yapıya bağlı olarak görülen birçok kömür alt sahası (sektör) ortaya çıkmıştır. Her alt sahada mevcut kömür seviyeleri (k_1 k_2, k_3), bunların işletme şekilleri (kapalı, açık) ve kullanım alanları (termik santral, teshin) belirtilmiştir. Şu anda Soma'da kömür kullanan iki termik santral işletmededir. Soma A santrali 2 x 22 MW = 44 MW, Soma B santrali ise 6 x 165 MW = 990 MW güçte olup işletmeleri EÜAŞ'a bağlı ortaklık tarafından yapılmaktadır (Ünalan, 2010, s. 352).

"Soma havzasının en kaliteli kömürleri Miyosen yaşlı k_1 kömürleridir (Alt Linyit Zonu) k_1 kömürlerinin alt bitümlü kömür sınıfına dahil olduğunu göstermektedir. Kükürt yüzdeleri 0,57-2,54 arasında değişmekte, kalorifik güçleri de, havada kuru

bazda 6.028 kcal/kg'a kadar çıkabilmektedir" (Ünalan, 2010, s. 353).

"TKİ verilerine göre, 2005 yılı itibarıyla Soma havzasının toplam kömür rezervi (hazır + görünür + muhtemel + mümkün) 572 milyon tondur. Bu rezervin 361 milyon tonu kapalı işletmeye, geri kalan 211 milyon tonu açık işletmeye uygundur" (Ünalan, 2010, s. 353).

Soma-Eynez sahası kömür kalınlıkları; KP_1 Kömür kalınlığı 0,75 m ile 8,86 m arasında olup ortalaması ise 3m, KM_3 Kömür kalınlığı 0,35 m ile 7,75 m arasında olup ortalaması ise 3,5m, KM_2 Kömür kalınlığı 0,30 m ile 30,60 m arasında olup ortalaması ise 15 m dir. Kömür derinlikleri 21,80 m ile 498,85 m arasında olup ortalama derinlik 150 m ve kömür yayılım alanı 16 km^2 dir (MTA, 2010).

Soma-Eynez sahası orijinal kömürde kimyasal özellikler:

Su; KP_1 kömürü %15, KM_3 kömürü %12,24, KM_2 kömürü %13,41, ortalama %13,40

Kül; KP_1 kömürü %46,54, KM_3 kömürü %43,65, KM_2 kömürü %30,34, ortalama %32,98

Kükürt; KP_1 kömürü %1,30, KM_3 kömürü %1,46, KM_2 kömürü %1,44, ortalama %1,29

AID (Kcal/kg); KP_1 kömürü 2.146, KM_3 kömürü 1.731, KM_2 kömürü 3.428, ortalama 3.147

Kömürün yoğunluğu; KP_1 kömürü 1,70 ton/m^3, KM_3 kömürü 1,63 ton/m^3, KM_2 kömürü 1,56 ton/m^3 (MTA, 2010).

Soma-Eynez sahası 2009 yılı itibariyle 380.603.000 ton görünür rezerv, 39.000.000 ton muhtemel rezerv olmak üzere toplam 419.603.000 ton toplam rezerv vardır (MTA, 2010)

Soma Işıklar sahası kömür kalınlıkları; KM_2 Kömür kalınlığı 2 m ile 57 m arasında olup ortalaması ise 17,19 m, KM_3 Kömür kalınlığı 1 m ile 10 m arasında olup ortalaması ise 6,15 m, KP_1 Kömür kalınlığı 2,85 m ile 12,70 m arasında olup ortalaması ise 7,40 m dir. Kömür derinlikleri KM_2, 18,50 m ile 535 m arasında olup ortalama derinlik 205,90 m, KM_3, 9,60 m ile 426,05 m arasında olup ortalama derinlik 208,60 m, KP_1, 40,45 m ile 420,75 m arasında olup ortalama derinlik 188,65 m ve kömürün yayılım alanı 50 km^2 dir. Soma Işıklar sahası orijinal kömürde kimyasal özellikler: Su; açık işletmede %18,36 ve kapalı işletmede %12,62, Kül; Açık işletmede %36,14 ve kapalı işletmede %30, AID (Kcal/kg); açık işletmede 2.408 Kcal/kg ve kapalı işletmede 2938 Kcal/kg, Kömürün yoğunlu; 1,56-1,70 ton/m^3 tür (MTA, 2010).

4.4.3 Muğla Milas Yöresi Linyit Sahaları

Gökova körfezi ile Muğla-Yatağan-Milas hattı arasında kalan alanda ortak jeolojik özelliklere sahip olan toplam 11 adet linyit sahası bulunmaktadır. Yukarıda adı geçen sahalardaki görünür linyit rezervlerinin toplamı 650 milyon tonu aşmaktadır. Bu nedenle Muğla yöresi, linyit rezervleri bakımından önemli yörelerimizden biridir. Jeolojik istif, temelde Menderes masifine ait gnays, mikaşist ve kristalize kireçtaşları ile bunların üzerine açısal uyumsuzlukla gelen Miyosen yaşlı çökellerden oluşmaktadır. Kömür Miyosen yaşındadır. Yörenin Neojen istifi, alttan üste doğru sırasıyla Turgut, Sekköy, Yatağan ve Milet formasyonları ile temsil edilmektedir. Turgut formasyonu menderesli akarsu çökellerinden oluşmaktadır. Tabanında çakıltaşı ve onun üzerinde gri-mavimsi renkli kumtaşı, silttaşı ve çamurtaşları bulunmaktadır. Formasyon en fazla 200 m kalınlık göstermektedir. Yaşı Orta Miyosen'dir. Sekköy formasyonu, Turgut formasyonu ile geçişli olup altta bataklık ortamını simgeleyen alacalı mam, çamurtaşı ve kömür, üstte ise göl ortamında çökelmiş beyazımsı-gri plaket kireçtaşlarından oluşur. Formasyonun kalınlığı 140 m, yaşı ise yine Orta Miyosen'dir. Yatağan formasyonu Geç Miyosen yaşlıdır, Kırmızı renkli, yer yer yeşîlimsi-gri çakıltaşı, kumtaşı, silttaşı mam ve tüfitlerden oluşmaktadır. Alüvyon

yelpazesi ortamında depolanmış olan formasyonun kalınlığı 800 m'ye kadar çıkmaktadır. Geç Miyosen-Erken Pliyosen yaşlı Miiet formasyonu, tatlı su ortamında çökelmiş olan kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Kuvaterner, alüvyon ve yamaç molozlarından oluşur. Sunulan jeoloji haritalarında Turgut, Sekköy, Yatağan ve Milet formasyonları birleştirilerek yalınlaştırma yoluna gidilmiştir (Ünalan, 2010, s. 355).

Yöredeki kömür seviyesinin kalınlığı 0,75-35 m arasında değişmektedir. Sahalara göre, orijinal kömür örneklerinin ortalama kalorifik güç değerleri (alt ısıl değer =AID) 1.673 kcal/kg'dan (Hüsamlar) 2.787 kcal/kg'a (Çakıralan) kadar çıkmaktadır. Ortalama kükürt oranları ise yine orijinal bazda %2,35 (Bağyaka) ile %5 (Alatepe) arasında değişmektedir (Ünalan, 2010, s. 355).

Saha bazında hesaplanan rezervler toplam görünür rezerv 650 milyon tonu aşmaktadır (Tuncalı ve diğer., 2002). Bu rezervin yaklaşık olarak yarısı açık işletmeye, diğer yarısı da kapalı işletmeye uygundur. Rezerv hesaplamaları MTA tarafından 1979-1989 yılları arasında, değişik aşamalarda yapıldığından, bugünkü rezervi belirlemek için, o yıllardan bu yana yapılan üretimin toplam rezervden düşülmesi gerekmektedir. Üretilen kömür, ağırlıklı olarak Yatağan (3x210 MW), Yeniköy (2x210 MW) ve Kemerköy (3x210 MW) termik santrallerinde kullanılmaktadır (Ünalan, 2010, s. 355).

Yatağan Eskihisar sahası kömür kalınlığı 1,20 m ile 18,14 m arasında olup ortalama kalınlık 10,15 m dir. Kömür derinlikleri mostra ile 109 m arasında olup ortalama derinlik ise 42 m dir. Kömür yayılım alanı 8,90 km^2 dir. Yatağan Eskihisar sahası orijinal kömürde kimyasal özellikleri; Su %34, Kül %2, Kükürt %3, AID (Kcal/kg) 2.185 Kcal/kg ve kömür yoğunluğu 1,50 ton/m^3 tür (MTA, 2010).

4.4.4 Trakya Havzası Linyit Sahaları

Trakya Havzası, Marmara Denizi'nin kuzeyinde, Istranca Dağları'nın (Yıldız Dağlan) güneyinde yer alır. Havza, toplam kalınlığı 9.000 m'yi bulan Eosen,

Oligosen ve Neojen yaşlı çökeller kapsamaktadır. Eosen, denizel ve karasal çökellerle, Oligosen ise delta çökelleri ile temsil edilmektedir.; Oligosen çökelleri üzerine açısal uyumsuzlukla Miyosen ve Pliyosen yaşlı karasal çökeller gelmektedir. Oligosen çökelleri Yenimuhacir grubu olarak ayırtlanmış olup alttan üste doğru Mezardere, Osmancık ve Danişmen formasyonlarını kapsamaktadır (Ünalan, 2010, s. 356).

Mezardere formasyonu delta ilerisi fasiyesini temsil eden şeyi, marn ve bunlarla arakatkılı olarak tüfit ve kumtaşlarından oluşur. Altta bulunan ve türbiditlerden oluşan Ceylan veya Keşan; formasyonları ile olan dokanağı geçişlidir. Formasyonun tip kesitindeki kalınlığı 1.540 m'dir. Osmancık formasyonu, esas olarak kumtaşı şeyl ardalanması şeklindeki delta önü çökellerinden oluşmaktadır. İnce kömür seviyeleri ve lamellibranş kavkıları kapsar. Kalınlığı 800 m; kadardır. Danişmen formasyonu, delta düzlüğü fasiyesini temsil eden şeyi, kumtaşı, çakıltaşı ve kömür ardalanması şeklindedir. Seyrek olarak tüffit ve kireçtaşı seviyeleri de görülür. Birimin kalınlığı 1.000 m kadardır. Danişmen formasyonu içinde kalın ve yanal olarak süreklilik sunan çakıltaşları Armutburnu üyesi adı altında ayırtlanmıştır. Havzada önceki yıllarda yapılan jeolojik incelemelerde "linyitli kum taşları" adı altında tanımlanan çökeller, yukarıda açıklanan Osmancık ve onun üstünde yer alan Danişmen formasyonlarına karşılık gelmektedir. Trakya havzası petrol ve doğal gaz yataklarından başka Oligosen yaşlı kömürleri ile de ünlüdür. Ekonomik olarak işletilebilecek kömürler, Danişmen formasyonu içinde 10 seviye şeklinde bulunmaktadır. Bu seviyelerin kalınlıkları bir sahadan diğerine değişmektedir. Tekirdağ-Saray'da 0,2-4 m, İstanbul-Ağaçlı'da 1,7-3 m, Kırklareli-Vize-Topçuköy'de 1,2-3,4 m, Edirne-Demirhanlı-Geçkinli'de 0,1-3 m arasındadır. Kömürlerin kalorifik gücü çoğunlukla 2.000-2.500 kcal/kg kadardır. Istanbul-Ağaçlı'da 3.400, Edirne-Uzunköprü-Harmanlıda 3.500 kcal/kg'a kadar çıkan değerler ölçülmüştür. Havzanın toplam rezervi 520 milyon ton olarak hesaplanmıştır. Türkiye'de Oligosen yaşlı diğer bir kömür sahası örneği olarak Erzurum-Oltu- Sütkans sahası gösterilebilir (Ünalan, 2010, s. 357).

Tekirdağ ili kömür sahaları 2009 yılı itibariyle rezervleri; Saray- Küçükyoncalı 73.579.000 ton, Saray Safaalan Sahası 50.050.000 ton, Saray-Edirköy 14.331.000 ton dur. (MTA, 2010).

İstanbul/Çatalca Kömür Havzası 2015 sonu itibariyle Görünür rezerv miktarı 228,5 milyon ton, ortalama alt ısıl miktarı 2.018 kcal/kg dır. Tekirdağ Kömür Havzası 2015 sonu itibariyle Görünür rezerv miktarı 160,6 milyon ton, ortalama alt ısıl miktarı 2.140 kcal/kg dır (EÜAŞ, 2016)

4.4.5 Yozgat Surgun Sahası

Yozgat'ın 30 km doğusundadır. Havzanın temelinde Eosen öncesine ait granodiyoritler yer almaktadır. Bu temel üzerine Eosen yaşlı Çeltek ve Çekerek formasyonları gelir. Çeltek formasyonu kömürlüdür. Çekerek formasyonu üzerinde, tektonik dokanaklı olarak Artova ofiyolitli melanjı yer almakta; Neojen yaşlı karasal çekeller ise diğer birimleri açısal uyumsuzlukla örtmektedir. Kömür, Erken Eosen yaşlı ve göl-akarsu ortamında çökelmiş Çeltek formasyonunun alt kesiminde yer almakta ve bir bitümlü şeyi seviyesi tarafından üzerlenmektedir. Yeniçeltek açık işletme sahasında kömür seviyesinin kalınlığı 6 m'ye kadar çıkmaktadır. Küçükköhne ve Ayrıdam işletmelerindeki kalınlıklar sırasıyla 1,5 ve 2m'dir. Sahadan derlenen 35 örnek üzerinde yapılan analizlere göre, havada kuru bazda su, kül, kükürt, ve kalorifik güç değerleri aşağıdaki gibidir (Ünalan, 2010, s. 359).

Su	: % 0,69-7,55
Kül	: % 2,4-53,1
Kükürt	: % 0,55-7,6
Kalorifik güç	: 2.706-7.364 kcal/kg

Örneklerdeki ülminit maserallerinin ışık yansıtma dereceleri %0,46-0,60 arasında değişmektedir. Ortalaması ise %0,53 olarak hesaplanmıştır. Bu verilere dayanarak Sorgun kömürleri alt bitümlü kömür grubuna dahil edilmiştir. MTA verilerine

göre sahanın toplam kömür rezervi yaklaşık 17 milyon tondur. Türkiye'de Eosen yaşlı kömürlerin bulunduğu diğer saha örnekleri olarak Amasya- Suluova ve Bolu-Mengen sahaları gösterilebilir (Ünalan, 2010, s. 360).

4.4.6 Adana Tufanbeyli Linyit Sahası

Adana'nın 150 km kuzeydoğusunda yer alan bu saha MTA tarafından 1989 yılında keşfedilmiştir. Pliyosen yaşlı kömür havzasının temelinde, Paleozoyik-Mesozoyik yaşlı kaya toplulukları bulunmaktadır. Kömürlü Pliyosen, yaklaşık 250 m kalınlık sunar. Tabanında çakıltaşı, çamurtaşı ve pale-otoprak seviyeleri yer alır. Bunun üzerine kalınlığı 100 m'yi bulan kömür zonu gelmektedir. Kömür birçok yerde killi olup bej-kahve renkli, yer yer gidya ara katkıları kapsamaktadır. Toplam kömür kalınlığı 29 m'ye kadar çıkmaktadır. Kömürlü zonun üzerinde gri-yeşil renkli ve çakıllı çamurtaşları yer almaktadır. Daha üstte, bazı çalışanlar tarafından Pleyistosen'e dahil edilen kötü boylanmalı çakıltaşları ve onun da üzerinde bir tüfit seviyesi yer alır. Sahada MTA tarafından 1989-1990 yıllarında toplam 22 adet sondaj yapılmıştır. Kömür zonunun derinliği yüzeyden itibaren 57 m ile 169 m arasında değişmektedir. Örtü/kömür oranı 7,43 m^3/ton olarak hesaplanmıştır (Bir kıyaslama yapabilmek için bu oran Afşin-Elbistan sahasında 2,3 m^3/ton'dur). Dolayısıyla bu kömürün açık ocak şeklinde işletilebilmesi için önemli miktarda hafriyat yapılması gerekmektedir (Ünalan, 2010, s. 360).

Orijinal kömürde kimyasal özellikler: Su %41, Kül %28, AID (Kcal/kg) 1.298 ve kömürün yoğunluğu ise 1,4 ton/m^3 tür (MTA, 2010).

Sahanın rezervi 284 milyon ton görünür, 50 milyon ton muhtemel olmak üzere toplam 334 milyon tondur. Toplam rezervin 177 milyon tonunun işletilebilir olduğu belirlenmiştir. 25 Mart 2016 tarihinde 450 MW gücünde EnerjiSA tarafından termik santral üretime başladı (Ünalan, 2010, s. 362).

4.5 Türkiye Linyitlerinin İz Element Kapsamları

Türkiye genelinde yürütülen bir proje kapsamında (Tuncalı ve diğer., 2002) Tersiyer yaşlı değişik kömür sahalarından ve bazı sahalarda değişik kömür sektörlerinden derlenen birer örnekteki (toplam 187 örnek) As, Be, Cd, Co, Cr, Hg, Mn, Ni, Pb, Se, Th, U, V gibi, çevre ve insan sağlığı açısından önem taşıyan iz elementlerin ortalama tenörleri ve aynı iz elementlerin dünya kömürlerindeki ortalama tenörleri ppm olarak Tablo 4.1'de verilmiştir (Ünalan, 2010, s. 362).

Tablo 4.1'de de görüldüğü gibi, seçilmiş 13 iz elementten Be ve Pb dışında kalanların tamamının Türkiye Tersiyer kömürlerindeki konsantrasyonları dünya ortalama değerlerinin üzerindedir Örneğin arsenik (As) konsantrasyonu ortalaması (53 ppm) dünya ortalamasından 5,3 kat fazladır. Uranyumun ortalaması (13 ppm) da dünya ortalamasının 8,5 kat üzerindedir. Türkiye Tersiyer kömürlerinin yaşlarına göre (Eosen, Oligosen, Miyosen ve Pliyosen) iz element konsantrasyonlarının dağılımı ise Tablo 4.2 deki gibidir. (Ünalan, 2010, s. 363).

Tablo 4.1 Türkiye tersiyer kömürlerinin ortalama iz element tenörleri (Tuncalı ve diğer., 2002)

Element (ppm)	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Th	U	V
Dünya ortalaması	10	2	0,5	5	20	0,12	70	20	20	1	4	2	40
Türkiye Tersiyer ort.	53	1	1	9,4	109	0,1	123	126	12	2	6	13	87

.

Tablo 4.2 Türkiye tersiyer kömürlerindeki bazı iz element konsantrasyonlarının (ppm) jeolojik yaşa göre dağılımı (Tuncalı ve diğer., 2002).

Yaş	Ortalama	As	Be	Cd	Co	Cr	Hg	Mn	Ni	Pb	Se	Th	U	V
	Dünya ort.	10	2	0,5	5	20	0,12	70	20	20	1	4	2	40
PLİYOSEN	Türkiye ort.	52	0,9	0,95	6	187	0,07	71	48	13	5	7	12	146
MİYOSEN	Türkiye ort.	53	1	0,9	11	74	0,1	140	151	12	2	7	15	81
OLİGOSEN	Türkiye ort.	28	1	3	13	59	0,05	49	42	10	3	4	2	43
EOSEN	Türkiye ort.	100	0,6	0,1	7	32	0,08	140	114	5	4	3	3	54

Tablo 4.2'de yine değişik yaş gruplarına dahil kömürlerin iz element konsantrasyonlarının (Be, Pb dışında) dünya ortalamasının üzerinde olduğu

görülmektedir. Burada şunu da belirtmek gerekir ki, iz elementlerin dünya kömürlerindeki ortalama değerleri bir yazardan diğerine farklılık göstermektedir, örneğin Tablo 4.2 de kömürdeki As, Se ve U konsantrasyonlarının dünya ortalamaları sırasıyla 10, 1 ve 2 ppm olarak kabul edilirken, Ren ve diğerleri (1999)'ne göre bu değerler yine sırasıyla 5, 3 ve 1 ppm' dir. Diğer yandan, Türkiye Tersiyer kömürleri için verilen değerler, her kömür sahasından veya sektöründen alınan bir kömür örneği üzerinde yapılan analizlere dayalıdır. Saha başına alınan bir örneğin, o sahayı güvenilir bir şekilde temsil etmediği bilinmektedir. Aşağıdaki değerlendirmeler bunun bilinciyle yapılmıştır (Ünalan, 2010, s. 363).

Tablo 4.2 de belirtilen dünya ortalama değerlerinden hareket edildiğinde Türkiye Pliyosen kömürlerinin As ortalamasının, dünya ortalamasından 5,2 kat, Se ortalamasının 5 kat, U ortalamasının ise 6 kat fazla olduğu görülmektedir. Miyosen kömürlerinde de As 5,3 kat, U ise 7,5 kat fazladır. Oligosen kömürlerinde Se 3 kat fazladır. Eosen kömürlerinin As tenörü ortalaması 100 ppm olup dünya ortalamasının 10 katı, Se tenörü de (4 ppm) 4 katıdır. Kömür içinde bulunan As ve Se, belli bir konsantrasyondan sonra sırasıyla arsenozis ve selenozis hastalıklarına neden olan iz elementlerdir. Çin kömürlerinin As ortalaması 276 ppm'dir. Adı geçen ülkede, Guizhou eyaletinde arsenozis hastalığı yaygındır. Arsenozis görülen alandaki, As ortalaması ise 524 ppm olup 35.000 ppm'e varan değerler ölçülmüştür. Ortalama değerler kıyaslandığında, Türkiye'de As ortalaması en yüksek olan kömürler (100 ppm) Eosen yaşlı olup bunların arsenozis vakalarının görüldüğü Çin-Guizhou kömürlerine oranla yaklaşık 5 kat daha az As kapsadığı anlaşılmaktadır. Ancak, yukarıda As ve benzeri iz elementler için verilen değerler, daha önce değinildiği gibi, Türkiye yüzeyine yayılmış tüm Tersiyer kömürleri için toplam 187 örneğin ortalamalarıdır. Saha bazına inildiğinde, daha sonra görülecek olan Kütahya-Gediz-Gökler sahasında olduğu gibi, As değerlerinde yukarıdaki ortalama değerlerden önemli sapmalar olmaktadır (Ünalan, 2010, s. 364).

Yine Çin'de selonozis vakalarına neden olan kömürlerin Se konsantrasyonu

ortalaması 6,22 ppm'dir. Yer yer 8.390 ppm'e kadar çıkan değerler ölçülmüştür. Türkiye'de ise en yüksek selenyum birikimi Pliyosen kömürlerinde bulunmaktadır. Ortalaması 5 ppm'dir. Bu değer Çin kömürlerindeki ortalamaya yakındır. Afşin-Elbistan-Kışlaköy sektöründen alınan Pliyosen yaşlı bir kömür örneğinde 18,8 ppm, Muğla-Eskihisar sahasından alınan Miyosen yaşlı örnekte de 26 ppm Se değerleri bulunmuştur. Yukarıdaki rakamlar Tersiyer yaşlı kömürlerimizdeki Se, As vb. iz elementlerin sistematik örnekleme ile özel bir etüt kapsamında ele alınmasının yararlı olacağını göstermektedir (Ünalan, 2010, s. 364).

İz elementlerin daha önce yapılan çalışmalarda dünya kömürlerinde bulunan minimum, maximum ve ortalama değerleri tablo 4.3'de gösterilmiştir.

Yapılan çalışmalar sonucu iz elementler arasında;

- Ge, B ve Be gibi bazı elemetlerin kömürle birlikte,
- As, Cd, Hg, Mn, Mo, Pb, Zn ve Zr elementlerinin inorganik maddeler ile bulunma eğilimlidirler.
- Bazı elementler organik maddeler ile birlikte bulunma eğilimlerine karşın, çok değişik eğilimler de göstermektedirler. Örneğin Ga, P, Sb, Ti ve V elementleri tercihen birinci grup elementleri ile birlikte bulunmakta, Co, Cr, Ni ve Se elementleri daha ziyade ikinci grup elemtleri ile bulunma eğilimindedirler ve diğer elementler ile de beraber bulunulabilmektedirler (Toprak, 2000, s.18).

İz elementlere yönelik bir başka çalışma, Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek (A3), Tunçbilek (B4-5), Orhaneli, Soma (A), Soma (B1-4), Soma (B5-6), Yatağan, Yeni köy, Elbistan, Kangal ve Çatalağzı termik santrallerinde yakıt olarak kullanılan kömür örnekleri üzerinde yapılmıştır. Bu çalışmada, her santral sahasından bir örnek olmak üzere, toplam 13 kömür örneği incelenmiştir, örnekler, santral girişinde parça haldeki kömürlerden alınmıştır. Çatalağzı santralinde yakıt olarak taşkömürü, diğerlerinde ise linyit veya alt bitümlü kömür kullanılmaktadır. Tablo 4.4'de yapılan kömür analizlerinin (nem, kül, uçucu madde vb.) sonuçları görülmektedir. Örneklerin kül oranları oldukça yüksektir (%23-64). En fazla kül

(%64) Soma (B5-6) santralinde kullanılan kömürlerde bulunmaktadır. XR Difraktometre ile saptanan mineraller, kil (smektit, illit, kaolinit/klorit), analsim, klinoptilolit/heulandit, kuvars, feldispat, kalsit, dolomit, aragonit, siderit, pirit, markasit ve jips olup bunlar arasında kalsit, kuvars, kaolinit/klorit ve pirit en yaygın olanlardır (Ünalan, 2010, s. 364).

Zeolit yalnızca Çayırhan kömürlerinde saptanmıştır. Analsim oranı % 1,7 ve klinoptilolit/ heulandit oranı ise % 13'tür. Bu sahadaki zeolitlerin, çökelimle yaşıt volkanizmadan kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı örnekler üzerinde yapılan iz element analiz sonuçları, kuru kömürde ppm (tonda gram) olarak Tablo 4.5 te verilmiştir (Ünalan, 2010, s. 364).

"Tablo 4.5 incelendiğinde Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek (A3) ve Soma (B1 -4) ve (B5-6) kömürlerindeki bor değerlerinin 100 ppm'den fazla olduğu dikkati çekmektedir. Bu değer Çayırhan'da 244 ppm'dir. Çayırhan kömüründeki bor birikimi yine büyük olasılıkla Neojen volkanizmasından kaynaklanmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 367).

Ülkemizde çeşitli kömür külleri içerisinde rastlanılan iz element düzeyleri Tablo 4.6'da gösterilmiştir.

Dünya kömürleri ile kıyaslandığında krom, nikel ve uranyum tenörleri de yüksek görülmektedir. Tunçbilek (A3)'te 308 ppm krom, Seyitömer'de 678 ppm nikel ve Yatağan'da 82 ppm uranyum varlığı belirlenmiştir. Kangal, Soma (B5-6), Elbistan ve Seyitömer'de vanadyum, Tunçbilek (B4-5), Soma (B5-6), Yatağan ve Çatalağzı'nda toryum değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Türkiye'de saha bazında ve daha çok örnekle yapılmış iz element etütlerine örnek olarak Kütahya-Gediz-Gökler, Ankara-Beypazarı, Yozgat-Sorgun, Muğla ve Konya-llgın sahaları gösterilebilir. Aşağıda bu sahalardan yalnızca Kütahya-Gediz-Gökler ve Ankara-Beypazarı sahaları ile ilgili özet bilgi verilmiştir (Ünalan, 2010, s. 367).

Tablo 4.3 İz elementlerin dünya kömürlerinde bulunan Min., Max. ve ortalama değerleri (Toprak, 2000).

Elementler	Clarke+Sloss'a göre (ppm)	Swaine'ye göre (Max. Değer, ppm)	Swaine'ye göre Min. Değer, ppm)
As	10	80	0,5
B	50	400	5
Ba	200	1000	20
Be	2	15	0,1
Bi	-	0,1	0,01
Cd	0,5	3	0,1
Co	5	30	0,5
Cr	20	60	0,5
Cs	1	5	0,3
Cu	15	50	0,5
Ga	5	20	1
Ge	5	50	0,5
Hf	1	5	0,4
Li	20	80	1
Mn	70	300	5
Mo	3	10	0,01
Nb	5	20	1
Ni	20	50	0,5
P	150	3000	10
Pb	40	80	2
Rb	15	50	2
Sb	1	10	0,05
Sc	4	10	1
Se	1	10	0,2
Sn	2	10	1
Sr	200	500	15
Ta	0,2	1	0,1
Th	4	10	0,5
Ti	600	2000	10
Tl	1	-	-
U	2	10	0,5
V	40	100	2
W	1	5	0,5
Zn	50	300	5
Zr	50	200	5
La	10	40	1
Ce	20	70	2
Pr	3	10	1
Nd	10	30	3
Sm	2	6	0,5
Eu	0,5	2	0,1
Gd	1	4	0,4
Tb	0,2	1	0,1
Dy	3	4	0,5
Er	1	3	0,5
Yb	1	3	0,3

Tablo 4.4 Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürlere ait analizler (Ünalan, 2010)

Kömür Analizleri	Çayırhan	Seyitömer	Tunçbilek (A3)	Tunçbilek (B4-5)	Orhaneli	Soma (A)	Soma (B1-4)	Soma (B5-6)	Yatağan	Yeni köy	Elbistan	Kangal	Çatalağzı
Kömür Analizleri (Havada kuru örnekler)													
Nem% (ocak çık.)	27	32	23	21	33	14	17	21	32	25	47	33	14
Nem % (ad)	5,7	10	6,4	9,6	10,8	6,3	6	6,9	10,6	6,1	8,9	10,3	0,7
Kül %	50	50	23	53	41	26	44	64	39	56	35	37	56
Uçucu madde %	28	24	32	20	31	33	29	21	33	31	40	38	17
Sabit karbon %	16	16	39	18	17	35	21	8	18	6	16	15	25
Toplam S %	3,3	1,4	2,4	1,3	1,2	1,1	0,7	0,8	2,6	3,5	3,2	4,8	0,4
Isıl güç, kcal/kg	2905	2403	4977	2381	2580	4588	2490	1368	3048	1835	2670	3503	4141
Karbon %	25,1	20,5	33,9	14,7	25,9	35,6	31,1	10,4	33,8	25	35,9	32	19
Hidrojen %	1,9	1,6	3,1	2,6	2,6	3,5	2,4	0,8	2,1	2,1	2,3	3,6	1,9
Azot %	0,9	0,8	1,2	0,5	0,4	0,7	0,7	0,3	0,8	0,6	1	1	0,4
Oksijen %	19,1	25,5	36,3	28	28,6	33,1	21,1	23,8	22	12,6	26	21,9	22
Mineral kapsamı (Kuru kömürde %, XRD)													
Smektit		2,8	4,4	28,4	2,5		0,6	2,7					
İllit		7,1	0,4	0,7			0,8	2,7	2,3	7,2	2,6	4,7	7,5
Kaolinit / klorit	0,6	9,3	5,7	4,6	1,3	5,8	7,6	26,6	5	3,3	0,5		23,9
Analsim	1,7												
Klinoptiiolit / Hölandit	13												
Kuvars	5,6	17,4	6,5	6,7	2,5	7,9	12,6	10,2	16,3	15,8	4,8	5,7	20,9
Feldispat	6,5	3,7	0,2	0,7	0,2	0,3		0,7		0,4		1,3	0,7
Dolomit	7,8		1,2	0,5				2,7					1,5
Kalsit	3,2	2,3			28	10,7	21,7	11,9	11	25,7	27,4	18,4	0,6
Aragonit											0,5		
Siderit		2,3	0,9					0,5					
Pirit	3,1	2,8	2,6	1,6	2,9	1	1,2	1,6	1,6	2	1,6	3,6	1,2
Markasit										0,2			
Jips	3,5	2,5			0,8		3,2		0,3	1,6		0,7	
Mineral Toplamı	44,8	50,3	21,9	43,1	38,3	25,7	47,7	59,4	36,6	56,3	37,5	34,4	56,4

Tablo 4.5 Türkiye'de termik santrallerde kullanılan kömürlerin iz element konsantrasyonları **(**ppm**),** (Ünalan, 2010)

Element	Çayırdan	Seyiiömer	Tunchilek A3	Tunchilek B4-5	Orhaneli	Soma A	Soma B1-4	Soma B5-6	Yatağan	Yeni köy	Elbistan	Kangal	Çatalağzı	Dünya
ICP-AES														
B	244	108	150	51	55	81	116	175	51	35	27	67	1,7	5-400
Ba	337	454	106	740	226	206	304	391	189	224	162	413	438	20-1000
Cr	108	242	308	410	263	45	51	80	72	112	146	83	76	0.5-60
Cıı	33	60	27	31	15	22	25	29	39	30	12	16	46	0.5-50
Mn	260	399	162	343	511	140	127	206	130	389	78	110	287	5-300
Sr	265	99	83	137	226	106	150	161	140	430	162	397	118	15-500
V	87	128	80	83	65	131	107	188	106	126	161	219	106	2-100
ICP-MS														
As	93	23	39	68	60	67	33	23	62	6,8	10	43	49	0.5-80
Be	1,7	1,2	2,1	2,5	0,5	1,2	1,6	3,2	2	1,5	0,4	0.7	4.2	0.1-15
Bi	0,5	0,3	0,2	0,5	0,2	0,3	0,4	0,9	0,3	0,2 '	0,1	0,1	0,7	
Co	15	26	33	41	18	4	6	14	7,8	11	3,9	6,4	18	0.5-30
Cs	6,5	5,3	4,2	6,8	4.1	17	16	15	5,2	5,1	1,2	18	21	0,3-5
Ga	12	12	5,9	12	5,2	9,7	13	20	13	13	4,5	6,4	23	
Ge	1,9	0,9	1.7	36	0,6	30	12	17	21	1	2,7	2,9	29	0.5-50
Li	18	27	8,4	7,8	11	43	47	50	120	35	2,9	11	77	
Mo	5,8	3	11	22	2,3	14	3,1	6,6	40	7,9	4,8	126	27	0.1-10
Nb	11	7,1	6,8	10	3	5,8	8,1	15	8,1	8,4	3,5	5,1	13	
Ni	188	678	622	510	536	40	13	46	112	53	16	97	90	0.5-50
P	659	229	131	268	201	358	436	549	407	334	823	473	393	
Pb	30	35	21	55	21	16	25	50	37	18	6	10	48	
Rb	34	60	26	54	29	36	53	61	57	62	10	30	109	
Sc	8,1	12	4,4	6,5	3,9	5,9	9,6	12	8	9,3	5	7,3	17	
Sn	2,7	2,9	2,3	7,6	2	1,6	7,3	3,3	17	2,6	1,4	12	9,4	
Ta	0,7	0,6	0,4	0,9	0,3	0,5	0,6	1,2	0,7	0,8	0,3	1	1	0,1-1
Th	9,4	13	12	49	8,8	12	15	30	24	6,8	1,5	1,3	27	0.5-10
Ti	0,5	0,6	0,7	0,9	0,4	0,4	0,5	1,1	0,5	0,5	0,3	5,7	1,2	0,2-1
U	6,5	5,9	10	19	10	41	31	21	82	20	12	25	20	0.5-10
W	4,2	1.2	3,3	2,2	1,2	1,2	1,6	3,1	2,9	1,4	0,5	1,3	3,8	0,5-5
Y	10	11	8,1	13	4,8	11	14	27	29	9,7	5,5	7,1	25	
Zn	85	78	42	73	36	79	60	118	75	82	27	170	86	5-300
La	19	19	14	39	10	18	23	57	26	18	7,4	10	36	
Ce	34	36	29	77	16	30	39	101	55	34	14	18	71	
Pr	4	4,2	3,3	8,7	2	3,8	4,8	12	6,8	4,3	1,7	2,1	8,6	
Nd	14	15	12	32	7	13	17	41	26	15	6,4	7,7	31	
Sm	2,5	2,8	2,2	5,4	1,2	2.6	3,1	7,2	5,4	3,1	1,3	1,5	6,2	0.5-6
Eu	0,7	0,8	0,5	1,3	0,4	0,6	0,8	1,7	1,1	0,7	0,3	0,4	1,5	0,1-2
Gd	2,4	2,7	2	4,6	1,2	2,4	3	6,8	5,5	2,8	1,2	1,6	5,8	0,4-4
Tb	0,4	0,4	0,3	0,6	0.2	0,4	0,4	0,9	0,9	0,4	0,2	0,2	0,9	0,1-1
Dv	2	2,2	1,5	3	1	2	2,4	5,1	5,2	2	1	1,3	4,9	0,5-4
Ho	0,4	0,4	0,3	0,5	0,2	0,4	0,5	0,9	1,1	0,4	0,2	0,3	1	0,1-2
Er	1,1	1,2	0.8	1,5	0,5	1,2	1,4	2,8	3,2	1	0.6	0,7	2,8	0,5-3
Tm	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4	0,55	0,2	0,1	0,1	0,4	-
Yb	1	1,3	0,8	1,4	0,5	1,2	1,4	2,7	3	1	0,6	0,8	2,7	0,3-3
Lu	0,2 | 0,2		0,1	0.2	0.1	0,2	0.2	0,4	0,5	0,1	0,1	0,1	0,4	0,03-1

Tablo 4.6 Kömür külleri içerisinde rastlanılan iz elementler (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991).

Element	Co	Ni	Ge	V	W	Ga	Bi	Ag	Zn	Pb	Cr	Cu	U
Şile (Trakya)	867	214	23	283	20	10	11	6	443	31	-	20	4
Ağaçlı (Trakya)	747	52	12	81	10	6	21	3	164	11	-	10	3
Keşan (Trakya)	75	450	18	115	1075	54	15	15	32	175	-	11	75
Saray (Trakya)	29	73	4	71	16	12	3	4	40	3	-	3	8
Orhaneli (Trakya)	12	361	26	523	191	78	4	23	34	117	2063	5	36
Keles	18	33	19	304	467	90	6	20	36	173	1300	7	23
Çan	58	60	19	220	152	131	18	20	107	80	1603	8	36
Seyitömer	65	2053	28	320	119	44	4	20	60	98	2625	11	25
Tunçbilek	45	1823	26	1068	247	71	6	29	86	134	1800	10	23
Değirmisaz	25	1070	26	313	3	15	9	19	86	136	340	10	36
Gediz	65	1120	28	560	49	70	10	15	84	135	6	11	49
Soma	9	384	13	13	80	22	4,2	13	119	103	1222	29	41
Yatağan	20	1300	20	927	63	17	9	32	141	85	86	14	265

4.5.1 Kütahya Gediz Gökler Sahası İz Elementleri

Bu sahada önceleri linyit olduğu sanılan Orta Miyosen yaşlı kömürler, daha sonra belirlenen aşağıdaki niteliklerinden dolayı taşkömürü sınıfına dahil edilmiştir (Ünalan, 2010, s. 367).

R_r (%) : 0,5-0,95

Uçucu madde (ortalama) : %34

Su (ortalama) : %1,2

Sabit Karbon (ortalama) : %41

Isıl güç (ortalama) : 5.842 kcal/kg.

Gökler kömürlerinin, iz element olarak As ve Sb tenörleri ve ayrıca S yüzdeleri çok yüksektir. As konsantrasyonu 3.854 ppm'e kadar çıkmaktadır. Saha ortalaması (45 örnek) 833 ppm olarak hesaplanmıştır. Yapılan analizlerin doğru olduğu varsayılırsa, Gökler kömürlerindeki As ortalamasının (833 ppm) dünya ortalamasından (9,0 ± 0,8 ppm) 92 kat fazla olduğu sonucuna varılmaktadır. Ayrıca Çin'in Guizhou bölgesinde bulunan ve arsenozis hastalığına neden olduğu bilinen kömürlerin ortalama As oranından (524 ppm) daha büyüktür. Söz konusu kömürlerin Sb oranları ise 8,3-2.347 ppm arasında değişmektedir. Ortalaması 134 ppm'dir. Sb, kömürün çatlak ve mikro gözeneklerini dolduran epijenetik stibnit (Sb_2S_3) şeklinde bulunmaktadır. Gökler sahasına ait kömürlerin bir başka özelliği, S oranlarının da çok yüksek olmasıdır. Toplam kükürt yüzdesi 4,46-11,36 arasında değişmekte olup ortalaması % 7,94'tür. Gökler sahası Türkiye'nin As konsantrasyonu en yüksek olan kömür sahasıdır. Ancak bu sahadan başka diğer birçok sahada, tehlike sınırı olarak kabul edilen 100-300 ppm aralığında, hatta 300 ppm'den daha fazla As kapsayan kömürler mevcuttur. Bu sahalar ve kömürlerin As içerikleri Tablo 4.7'daki gibidir. Tablo 4.7 de toplam 26 sahadan 6'sında 300 ppm'den fazla As bulunmaktadır. 26 saha içinde en yüksek As konsantrasyonu (675 ppm) Manisa-Akhisar-Dağdere sahasına aittir. Burada tekrar belirtmek gerekir ki, Gediz-Gökier sahası dışında, Tablo 4.7'de 26 sahaya ait As değerleri, her sahadan alınan bir ya da birkaç örnek üzerinde yapılan analizlere dayalıdır (Gediz-Gökler sahasında ise 45 kömür örneğinin analizleri yapılmıştır). Bulunan As değerinin, o sahayı temsil ettiği söylenemez. Bu bakımdan yukarıdaki değerleri ışık tutucu veriler olarak ele almak ve her sahayı temsil edecek ortalama As değerinin belirlenmesi için ölçülü kesitler üzerinden alınacak çok sayıda örneğin As analizlerinin yapılmasından sonra bir sonuca varmak yararlı olacaktır (Ünalan, 2010, s. 368).

Tablo 4.7 Türkiye'nin 100 ppm'den fazla As içeren kömür sahaları (Tuncalı ve diğer., 2002).

Saha Adı	As Konsantrasyonu (ppm)
Tekirdağ-Saray-Edi rköy	154
Balıkesir-Kepsut-Seçdere	108
Balıkesir-Gönen-Sebepli	346
Bursa-MKP-Alpagut	117,7
Çanakkale-Yenice-Kalkım-Örencik	121,5
Çanakkale-Çan-Durali	266,8
Aydın-Köşk	127,6
Aydın-Söke	219,2
Kütahya-Ged iz-Sazköy	485,4
Kütahya-Seyitömer-Çobanköy	133,4
Kütahya-Tavşanlı-Opanöz	150
Kütahya-Tavşanlı-Değirmisaz	548,5
Kütahya-Hisarcık-Çatak	215
Kütahya-Altıntaş-Oysu	109,4
Manisa-Akhisar-Dağdere	675
Manisa-Akhisar-Kavakalan	387
Manisa-Gördes-Çstak	251
Manisa-Gördes-Kalemoğlu	296
Bolu-Mengen-Merkeşler	170
Bolu-Mengen-Gökçesu	228,3
Kastamonu-Tosya-Karhın	154,7
Konya-Seydişehir-Beyavşar	126,3
Nevşehir-Gülşehir-Dadağı	509,9
Adana-Tufanbeyli-Yamanlar	194
Içel-Namrun-Çamlıyayla	189,3
Erzumm-Aşkale-Kükürtlü	174

4.5.2 Ankara Beypazarı Sahası İz Elementleri

Yukarıda belirtildiği gibi, Miyosen yaşlı Beypazarı linyitlerinin en önemli özelliklerinden biri, mineral bileşenleri arasında zeolitlerin (klinoptilolit/heulandit ve analsim) önemli bir yer tutmasıdır. Zeolit zenginleşmesi sahadaki eşzamanlı Miyosen volkanizmasına bağlanmaktadır (Ünalan, 2010, s. 369)

Tablo 4.8 Ankara - Beypazarı linyitlerinin iz element kapsamları (ppm), (Ünalan, 2010).

İz Element	Tenor Aralığı	Tenor Aralığı (Dünya)
As	32-148	1,5-15
B	107-477	30-60
Cr	13-352	10-30
Ni	51-418	15-20
Zr	43-210	20-40

Derlenen 12 kömür örneğinde volkanizmadan kaynaklanan As, B, Cr, Ni, ve Zr zenginleşmeleri saptanmıştır. Bu elementlerin kömür içindeki tenor aralıkları ppm olarak Tablo 4.8'de verilmiştir (Ünalan, 2010, s. 369).

BÖLÜM BEŞ
KÖMÜRÜN ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİ

5.1 Giriş

Kömürün çeşitli alanlarda, en verimli şekilde kullanımım sağlamak, önemli teknolojik özelliklerinin bilinmesi ile mümkündür. Kömürün özellikleri; bileşimine, kömürleşme derecesine ve oluşum şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Yapısı, bileşimi ve kökeni tamamen aynı olan iki kömür yoktur. Kömür analiz sonuçları değerlendirilirken, analiz numunesinin seçiliş ve hazırlanışı ile havayla temas süresi de göz önünde bulundurulmalıdır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.149).

Ülkemizde, rezervi en yüksek, fosil yakıt olan kömürün; üretim, hazırlama, taşıma, dönüşüm ve yakma prosesleri, sahip olduğu fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Ayrıca, kömürün, yakma sistemlerinde yarattığı sorunları ve çevreye olan olumsuz etkilerini azaltmak amacıyla yapılan çalışmaların da verimli olabilmesi için, bu fosil yakıtın özellikleri ile ilgili bilgilere ihtiyaç vardır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.149).

5.2 Kömürün Fiziksel Özellikleri

5.2.1 Yoğunluk

Kömürün kullanımını etkileyen özelliklerden biri olan yoğunluk; yığın yoğunluğu, görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk olmak üzere üç farklı şekilde ifade edilmektedir. Yığın yoğunluğu, belirli bir hacmi dolduran kömürün ağırlığından yararlanılarak hesaplanmaktadır. Bu yoğunluk, ağırlığı bilinen bir kömür yığınının depolanacağı alanın büyüklüğünü veya belirli hacimdeki tepkime kabına konulabilecek kömür miktarını belirlemektedir. Ağırlığın, görünür hacme bölünmesiyle bulunan görünür yoğunluk, belirli bir ağırlığa sahip kömürün hacmi

kadar yer değiştiren sıvı hacmi ölçülerek saptanmaktadır. Görünür yoğunluk; kömürün tane boyutuna, kullanılan sıvının molekül büyüklüğüne, sıvı ile kömürün etkileşimine ve sıvının gözeneklere nüfuz etme derecesine göre değişmektedir. Kömürün karbon içeriğine bağlı olarak değişen görünür yoğunluk, karbon içeriğinin %80'den %90'a çıkmasıyla, yaklaşık 1.4 g/cm^3 değerinden 1.3 g/cm^3 değerine düşerken; %95 oranında karbon içeren kömür için yaklaşık 1.6 g/cm^3 olarak saptanmıştır. Gözeneksiz katının birim hacminin ağırlığı olarak tanımlanan gerçek yoğunluk, kömürün ağırlığının gerçek hacmine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Kömürün gerçek hacmi ise, görünür hacminden gözenek hacminin çıkarılmasıyla belirlenmektedir. Kömürün gerçek yoğunluğu, yaşına bağlı olarak değişmektedir. Yapılan araştırmalar, saf kömürdeki vitrinit ve inertinitin gerçek yoğunluğunun, kömürün karbon içeriği %82-88 arasında olduğunda en düşük değerini (yaklaşık 1,3 g/cm^3) aldığını ve kömürün yaşı arttıkça hızla yükselerek, antrasitlerde 1,80-1,85 g/cm^3'e ulaştığını göstermiştir. Kömürleşme derecesinin düşmesiyle; yani, kömürün karbon içeriğinin %82'nin altına inmesiyle (linyit, turba ve oduna doğru), vitrinit ve inertinitin gerçek yoğunluğu tekrar artmaktadır. Eksinit grubunun gerçek yoğunluğu ise kömürleşme derecesi arttıkça devamlı yükselmektedir. Linyitlerin gerçek yoğunluğu, 1,3-1,5 g/cm^3 arasında değişmektedir. Kömürleşme derecesi aynı olan kömürlerin yoğunlukları arasındaki farkın nedeni, içerdikleri mineral madde miktar ve türlerindeki farklılıklardır. Örneğin; alüminyum oranı yüksek mineral madde içeren kömürlerin yoğunluğu, demir oranı yüksek mineral madde içeren kömürlerinkinden daha düşüktür. Yoğunluk, kömür hazırlama işlemlerinin gerçekleştirildiği yıkama tesislerinin tasarımında önemli bir parametredir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.150).

5.2.2 Gözeneklilik ve Yüzey Alanı

Katı bir maddenin gözenekliliği; sahip olduğu boşluk veya gözenek hacminin yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. Kömür oldukça gözenekli bir maddedir ve toplam gözenek hacminin önemli bir kısmı çok küçük gözenekler tarafından oluşturulmuştur. Kömür için geçerli olduğu genellikle kabul edilen gözenek

sınıflaması şöyledir:

- Makrogözenekler : Çapları 200 Â'den büyük olan gözenekler
- Geçiş gözenekleri : Çapları 20-200 Â arasında olan gözenekler
- Mikrogözenekler : Çapları 20 Â'den küçük olan gözenekler

Karbon içeriği %75'in altında olan kömürlerin gözenekliliği, öncelikle makro gözeneklerin; karbon içeriği %75-84 arasında olan kömürlerin gözenekliliği daha çok makro ve geçiş gözeneklerinin; karbon içeriği %85-91 arasında olan kömürlerin gözenekliliği ise öncelikle mikro gözeneklerin varlığından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, kömürde kapilerler ve çatlaklar da vardır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.150).

Gözenekliliği saptanacak olan katı maddenin, sahip olduğu boşluklar dahil görünür hacmi ile gözenek içermeyen katı kısmının hacmi bilinmelidir. Kömürün gerçek ve görünür yoğunluklarmdan yararlanılarak gözenekliliğini hesaplamak mümkündür. Kömürün görünür yoğunluğu, atmosferik basınçta cıva içindeki yoğunluğuna (bu şartlarda, cıva kömürün gözeneklerine girmez); gerçek yoğunluğu ise, aynı şartlarda bütün gözeneklerine giren helyum içinde ölçülen yoğunluğuna eşittir. Helyum gazı kullanılarak saptanan hacim, sadece kömürün; cıva kullanılarak saptanan hacim ise kömür ile gözeneklerin toplam hacmine eşittir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.150).

Orijinal nemi yüksek olan kömürlerin gözenekliliği de fazladır; yani genç kömürlerin gözenekliliği yüksektir. Linyitlerin gözenekliliği, genellikle %27-37 arasında değişmektedir. Gözeneklilik, yaklaşık %85 oranında karbon içeren kömürlerde minimum göstermekte ve karbon içeriği artınca gözeneklilik tekrar artmaktadır. Kömürün; üretimi, hazırlanması ve kullanımı sırasındaki davranımlarma, gözenekliliğinin büyük etkisi vardır. Kömürün gözenek hacmi ve gözenek boyut dağılımı, kömür üretimi sırasında metanın iç gözeneklerden dışarı yayılma özelliklerini belirler. Kömürün satış için hazırlanması sırasında, içerdiği mineral maddenin azaltılmasına yönelik olarak uygulanan işlemler, mineral

madde ile kömürün özgül ağırlığı arasındaki farktan yararlanılarak gerçekleştirilmekte ve kömürün organik kısmının özgül ağırlığı, gözenekliliğinden önemli ölçüde etkilenmektedir. Kömürün gözenekliliği ve gözenek boyut dağılımı, kömürün kullanıldığı birçok proses için çok önemlidir; kömürün, gaz ve buhar adsorpsiyon kapasitesi, buhar ve sıvıların içinde şişme ve ıslanınca ısı oluşturma gibi bazı önemli özellikleri gözenekliliğine bağlıdır. Gaz ve su arıtılmasında yaygın olarak kullanılan karbonlu adsorbanların bazıları, kömürün havasız ortamda ısıtılması sonucu oluşan char'ın oksitleyici bir ortamda aktive edilmesi yoluyla hazırlanmaktadır. Bu amaçlarla kullanılan kömürlerin gözenekliliğini bilmek, amaca uygun bir char oluşup oluşmayacağını önceden tahmin etme olanağını sağlar. Gazlaştırma ve sıvılaştırma prosesleri ile metalurjik kok kullanılarak gerçekleştirilen tepkimeler, reaktanlarla katı yüzey arasında gerçekleşir. Söz konusu katı yüzeyinin büyük kısmı, gözenekler tarafından oluşturulmaktadır. Kömürün bu proseslere uygunluğu gözenekliliğinden yararlanılarak değerlendirilebilir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.150).

Bilindiği gibi, gözenekli bir katı taneciğin sahip olduğu yüzey sadece dış yüzeyle sınırlı olmayıp, gözenek duvarlarının yarattığı yüzeyin de göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Gözenekli katıların iç yüzey alanı, dış yüzey alanından büyüktür. Gözenek boyutu, reaktanın tepkime yüzeyine ulaşmasını ve oluşan ürünün uzaklaşmasını etkileyen önemli bir parametredir. Ayrıca, gözenekler kolay kırılmanın gerçekleşebildiği noktalar oluşturabildiğinden kömürün dayanıklılığını da etkilemektedir. Gözeneklilik, gözenek boyutu ve gözenekler tarafından yaratılan yüzey alanı kadar önemli değildir. Gözenek boyutu, kömür içine nüfuz ederek tepkimeye giren moleküllerin boyutunu sınırlar. Gözenekliliği fazla, gözenek boyutu küçük olan bir kömür taneciği; gözenekliliği az, ancak gözenek boyutu daha büyük olan tanecik kadar kolay tepkimeye girememektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.151).

Kömürlerin gözenek yapısını nicel olarak belirlemek için, gözenek hacmi ile yüzeyinin ve gözenek boyut dağılımının ölçülmesi gerekir. Gözenek hacmi ve

boyut dağılımı ölçümleri, cıva veya helyum kullanılan porozimetreler yardımıyla yapılmaktadır. Katıların gözenekliliğinin ve gözenek çap dağılımlarının, cıva porozimetresi kullanılarak ölçülmesi, cıvanın yüksek yüzey gerilimi nedeniyle katı yüzeylerini ıslatmaması prensibine dayanmaktadır. Islatma açısı 90°'den büyük olan bir sıvı, küçük gözeneklere yüzey gerilimi nedeniyle kendiliğinden giremez; sıvının gözeneğin içine girmesi ancak bir dış basınç etkisiyle gerçekleşebilmekte ve gerekli basıncın büyüklüğü gözenek çapına bağlı olmaktadır. Gözenek çapı küçüldükçe, uygulanması gereken basınç artmaktadır. Gözenekli bir yapıya sahip olan kömürün, adsorpsiyon ve reaktivite gibi önemli özellikleri yüzey alanından etkilenmektedir. Kömürün yüzey alanı, kömürleşme derecesiyle değişmekte ve koklaşabilen taş kömürlerinde en düşük seviyesine inmektedir. Linyitlere doğru artan yüzey alanı, antrasitlerde de, koklaşabilen taşkömürlerine oranla biraz daha yüksektir. Kömürün yüzey alanını saptamak amacıyla çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.151).

Gazı çıkarılmış katı bir numune, yüzeyini ıslatabilen bir sıvı içerisine daldırılırsa, sistemin sıcaklığı yükselir. Sıcaklık yükselişi, sıvı tarafından ıslatılan yüzeyin büyüklüğüne ve sorbentin birim yüzeyinin ıslatılmasıyla açığa çıkan ısının miktarına bağlıdır. İyi bir ıslatıcının şu özelliklere sahip olması gerekir: (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.151).

- Küçük gözeneklere de girebilmesi için molekülleri küçük olmalıdır.
- Islatma özelliği iyi olmalıdır.
- Oda sıcaklığındaki uçuculuğu çok az olmalıdır.

Bu üç özellik, polar organik sıvılar için geçerlidir. Moleküllerin küçüklüğü nedeniyle ıslatma sıvısı olarak en çok metanol kullanılmaktadır. Ancak, metanolün hidroksil grubu ile kömür yüzeyindeki oksijen içeren fonksiyonel gruplar arasında özel bir etkileşim söz konusudur. Bu durumda, ıslatılan birim alan için yayılan ısı, ıslanmanın fiziksel ısısı ile metanol-kömür etkileşimi sonucu oluşan ısıların toplamına eşittir; birim alan için açığa çıkan ısı, kömürdeki oksijen

içeren fonksiyonel grupların derişimine, yani kömürün yaşına bağlıdır. Metanol kullanılarak ıslatma ısısı ölçülmesi yöntemiyle kömürlerin yüzey alanlarını saptama işlemi geçmişte çok yaygın olarak kullanılmıştır. Çeşitli gazların kömür tarafından adsorpsiyonundan yararlanmak suretiyle de yüzey alanını bulmaya yönelik çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemlerden yararlanılarak, yüzey alanını saptamak için; önce sorbentin yüzeyini tek bir tabaka ile kaplamak için gereken molekül sayısının bulunması gerekmektedir. Eğer bu büyüklük, tek bir molekülün adsorpsiyonu ile işgal edilen alanla çarpılırsa yüzey alanı bulunur. Bu amaçla genellikle BET denklemi kullanılmış ve -196°C'taki azot adsorpsiyon izotermlerinden yararlanılmıştır. Ancak, kömürlerin azot kullanılarak saptanmış olan yüzey alanları beklenilenden çok daha düşüktür. Bunun nedeni, yapılan ölçümde çok düşük sıcaklıklarda çalışılması sonucu gaz moleküllerinin çok yavaş hareket etmeleri ve gözeneklere ulaşamamalarıdır. Bu sıcaklıkta gerçekleştirilen adsorpsiyonla, kömürün makro, geçiş ve nispeten büyük olan mikro gözeneklerinin yüzey alanı ölçülebilmektedir. -78°C'ta adsorban olarak karbondioksit kullanmışlar ve azot ile bulunandan çok daha büyük yüzey alanları saptamışlardır. Çeşitli sıcaklıklarda karbondioksit kullanarak ölçüm yapmışlar ve bu gazın -78°C'ta büyük bir olasılıkla kömürün tüm gözeneklerine girdiği; 25°C'da ise tüm yüzeye kesin olarak girebildiği sonucuna varmışlardır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.152).

Genellikle karbondioksit gazı kullanılarak bulunan yüzey alan diğerinden on kat daha büyük olmaktadır. Yüzey alanı ölçüm sonuçlarındaki bu sapmalara rağmen, kömürle ilgili konularda araştırma yapan bilim adamları düşük ranklı kömürlerin yüzey alanlarının daha büyük olduğu konusunda birleşmektedirler. Kömürleşme derecesinin, linyitten bitümlü kömüre yükselmesi, yüzey alanında azalmaya neden olurken, antrasitte yüzey alanı tekrar artmaktadır. Linyitin yaklaşık yüzey alanı 150 m^2/g seviyesindedir ve bu alanın %90'ı gözeneklerden kaynaklanmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.152).

5.2.3 Sertlik

Kömürün sertliğini ölçmek için en yaygın olarak kullanılan yöntem, yüzeye konik veya yuvarlak bir uç yardımıyla, bilinen standart bir kuvvet uygulamaktır. Bu işlem sonucunda, kömürün yüzeyinde bir iz oluşmakta ve oluşan izin çapı, yüzey sertliğini veren bir ölçü olarak kabul edilmektedir. Kömürün heterojen bir yapıya sahip olması, farklı büyüklüklerde gözenek ve çatlaklar içermesi nedeniyle kömüre uygulanan mekanik ölçümler, kesin bir güvenilirliğe sahip değildir. Örneğin; kırma ve öğütme işlemleri sırasında kömürün parçalanma şeklini, sahip olduğu sertlik derecesinin belirlediği düşünülmektedir. Oysa, kömürün parçalanma davranımmı, sahip olduğu çatlaklar veya büyük gözenekler daha fazla etkilemektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.152).

Kömürleşme dereceleri farklı olan kömürlerin, Mohs sertlik ölçeğinde aldıkları yaklaşık değerler şöyledir :

- Linyitler için 1 ile 3 arasında
- Bitümlü kömürler için 2.5 ile 3.0 arasında
- Antrasitler için 3 ile 4 arasında

Sertlik derecesi, özellikle kömür taneciklerinin askıda tutulduğu kömür-su karışımı yakıtlar veya sıvılaştırma prosesinde söz konusu olan kömür süspansiyonları için çok önemlidir. Bu uygulamalarda, kömür tanecikleri, valf veya pompaların içinde parçalanıp, burada bulunan elemanların yıpranmasına yol açarak önemli işletme problemlerine neden olabileceğinden, kömürün sahip olduğu sertlik derecesi göz önünde bulundurulmalıdır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.152).

5.2.4 Öğütülebilirlik

Kömürün öğütülme kolaylığım saptamaya yönelik, yaygın olarak uygulanan yöntem, kömür numunesinin standart yük ve devir altında, sekiz çelik küre ile

öğütülmesi prensibine dayanmaktadır. Öğütülebilirliğin hesaplanmasında 200 mesh'lik (0.074 mm) delik açıklığına sahip eleğin altına geçen kömürün ağırlığı kullanılmaktadır. Öğütülebilirlik, bu testi öneren Ralph Hardgrove'â atfen, Hardgrove indeksi olarak tanımlanmaktadır. En kolay öğütülebilen kömür cinsi olan bitümlü kömürler, en yüksek Hardgrove indeksine sahiptir. Antrasit ve linyitlerin öğütülmesi daha zordur. Aynı kömürden alınan farklı örneklerin Hardgrove indeksi, numunenin nem içeriği ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklık ve nem içeriğindeki değişikliklerden kaynaklanan belirsizliklere rağmen, Hardgrove indeks değeri, kömürü işlemek için gerekli öğütme cihazlarının tasarımı için bilinmesi gereken önemli bir büyüklüktür (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153).

5.2.5 Isıl İletkenlik

Bir maddenin ısıl iletkenliği, ısı enerjisini sıcak bir bölgeden daha soğuk bir bölgeye iletme özelliğidir ve birim alandan, birim zamanda, birim kalınlıktaki bir derecelik sıcaklık farkı nedeniyle iletilen ısı birimini gösteren bir katsayı ile ifade edilir. Bu sayı, Fourier'in birinci kanunundaki orantı sabiti olup, bir maddenin içindeki denge hali ısı akışıyla (q), sıcaklık dağılımı (ΔT) arasında bir bağıntı oluşturmaktadır. Isıl iletkenlik katsayısı, q ve ΔT'nin, uygun bir deney düzeneğiyle ölçülmesi sonucunda saptanabilir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153).

"ASTM 177 (1976), maddelerin ısıl iletkenlik katsayılarını ölçmek için geliştirilmiş standart bir yöntemdir; ancak, kömüre uygulanması oldukça zordur, çünkü bu yönteme göre ölçüm yapabilmek için tamamen düz bir yüzeye sahip, büyük kömür örneklerine gereksinim vardır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153)

Kömürün ısıl iletkenliğinin ölçülmesinde uygulanabilecek diğer bir yöntem ise ASTM C 518 (1976)'de anlatılmıştır. Bu yöntemde; numunenin ısıl iletkenliği, içinden aynı kararlılıkta ısı akışı olan bir ısı akım metresininki ile kıyaslanmak suretiyle saptanmaktadır. Isı akımmetresi, iletkenliği bilinen bir madde içermekte

ve kesiti boyunca çeşitli noktalarındaki sıcaklıklar ölçülmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153).

"Uçucu maddesinin, nem içeriğinin ve yoğunluğunun artmasıyla, kömürün ısıl iletkenliği artmaktadır. Sıcaklığın yükselmesi de ısıl iletkenliğinin artmasına neden olmaktadır ki bu artış, gözeneklerin kaybolmasından ötürü, kömürün yumuşama sıcaklığı olan 400-600°C'ta hızlanmaktadır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153).

5.2.6 Özgül Isı

Özgül ısı, birim kütlenin ısıl kapasitesi olarak tanımlanabilir. Kömürün özgül ısısının en çok kullanıldığı yer, koklaştırma prosesi için gereken ısının hesaplanmasıdır. Özgül ısı, kömürün özelliklerine bağlı olarak, genellikle 0,2-0,4 kcal/kg°C arasında değişir. Kömürün karbonizasyon derecesi, özgül ısısını önemli ölçüde etkilemektedir. Suyun özgül ısısı kömürünkinin yaklaşık dört katı kadar olduğundan, kömürün nem içeriğinin artması, özgül ısısında büyük ölçüde artışa neden olmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153).

"Kömürün uçucu madde içeriği ile sıcaklığının artması da özgül ısısında artışa neden olmaktadır. Çevre sıcaklığında, kokun özgül ısısı, kömürünkinden azdır ve artan sıcaklıkla sürekli bir şekilde artar; ancak, artış hızı yüksek sıcaklıklarda daha düşüktür" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153).

Kömürün özgül ısısı, standart kalorimetrik yöntemlerle saptanabilir. Örneğin; ASTM C 351 (1973). Ölçüm sırasında kurutulmuş numune kullanılır ve kuru kömür numunesinin özgül ısısı ile suyunkinden yararlanılarak, çeşitli nem içerikli kömürlerin özgül ısıları hesaplanabilir; ancak, bu hesaplar yapılırken özgül ısıların toplanabildiği kabul edilmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.153).

5.3 Kömürün Kısa Analizi

Kömürün; nem, uçucu madde, kül ve sabit karbon içerikleri, kısa analiz sonucu saptanan özelliklerini; karbon, hidrojen, azot, oksijen ve kükürt içerikleri ise elementel analiz sonucu saptanan özelliklerini oluşturmaktadır. Bunlara ilave olarak kömürün; ısıl değeri, mineral maddesi, külünün bileşimi ile erime sıcaklığı da teknolojik açıdan önemli özellikleridir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.154).

Kömürün özelliklerinin saptanması amacıyla uygulanmakta olan çeşitli analiz yöntemlerinden en yaygın olarak kullanılanlar, ASTM (American Society for Testing and Materials) ve ISO (International Standarts Organization) standartlarıdır. TSE (Türk Standartları Enstitüsü) tarafından yayınlanmış olan kömür analiz yöntemleri, ISO standartları esas alınarak hazırlanmıştır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.154).

5.3.1 Nem

Ocak çıkışında (tuvenan), taşkömürü %l-3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler %40-60, turbalar ise %60'ın üzerinde nem içerirler. Görüldüğü gibi, kömürün ocak çıkışında içerdiği nem miktarı, kömürleşme derecesi arttıkça azalmaktadır. Kömürün içerdiği nem miktarı oldukça önemlidir ve kömürün tüm mekanik ve fiziksel özellikleri, içerdiği nem miktarı ile, özellikle de bu nemin kömüre ne şekilde bağlı olduğu ile ilgilidir denilebilir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.154).

Nem, kömürde üç şekilde bulunmaktadır:
Bünye nemi: Adsorpsiyonla ve kapiler kuvvetlerle, yani fiziksel olarak kömüre bağlı olan su, bünye nemini veya higroskopik nemi oluşturur. Kaba nem: Kömür yüzeyinde tutulan suya kaba nem veya yüzey nemi denir ve kömür yüzeyindeki boşlukları doldurur. Molekül suyu: Kömürün içerdiği molekül suyu veya hidrat suyu, kömüre kimyasal olarak bağlıdır. Kömürün toplam nem içeriği içindeki payı

düşüktür. Kömürün içerdiği kaba nem; kömür, ağırlığı sabit kalana kadar havayla temasta bırakılmak suretiyle saptanan ağırlık kaybından hesaplanır. Kaba nemi bu şekilde giderilmiş olan kömür, havada kuru olarak adlandırılmaktadır. Kömürün toplam nem içeriği, ya tuvenan ya da havada kuru numune kullanılarak saptanmaktadır. Tuvenan kömürün toplam nem içeriğinin, önce kaba nemin ve sonra da bünye neminin saptanmasıyla, yani iki aşamada bulunması tercih edilir; çünkü, bu değer, öğütme ve diğer hazırlık işlemleri sırasında kömürün nem içeriğinde meydana gelecek değişiklik sonucunda azalmaktadır. Ancak, genç kömürlerin havayla temasta bırakılması oksitlenmelerine yol açmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.154).

Kömürün nem içeriğini saptamak amacıyla geliştirilmiş olan çok sayıdaki yöntemleri şu şekilde sınıflandırmak olasıdır:

Isıl yöntemler: Kömürü, çeşitli şekillerde ve çeşitli gaz atmosferlerinde veya vakumda ısıtmak suretiyle içerdiği nem miktarını saptamaya yönelik yöntemlerdir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

Desikatör yöntemleri: Kömür, bir nem çekici içeren desikatörde bekletilerek ağırlık kaybı saptanır. Bu yöntemler normal veya düşük basınçta, fakat oda sıcaklığında uygulanır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

Distilasyon yöntemleri: Kömür, su ile karışmayan bir çözücü ile geri soğutucu altında kaynatılır. Kömürdeki nem, çözücü buharıyla sürüklenerek soğutucuda yoğunlaşır ve dereceli toplama kabında birikerek hacimsel olarak ölçülür. Çözücü buharıyla sürüklenen suyun miktarı gravimetrik olarak da ölçülebilir. Bu yöntemlerde, çözücü olarak genellikle toluen veya ksilen kullanılır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

Ekstraksiyon yöntemleri: Suyu kömürden ekstrakte edebilen bir çözücünün (örneğin; metanol) kullanıldığı bu yöntemlerde, daha sonra çözücünün su içeriği saptanarak sonuca varılır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

Elektriksel yöntemler: Kömürün dielektrik sabitinin ölçülmesi sonucu nem içeriğinin belirlendiği yöntemlerdir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

En yaygın olarak uygulanan pratik yöntemde, havada kuru kömür numunesi 0,25 mm'nin altına öğütüldükten sonra, sıcaklığı iyi kontrol edilebilen ve içinde kuru hava sirkülasyonu olan bir etüvde 104-110°C'ta, 60 dakika süreyle bekletilir ve uğradığı ağırlık kaybından yararlanılarak nem içeriği saptanır. Genç kömürler kolayca oksitlenebildiğinden, bunların nem içerikleri saptanırken kuru hava yerine kuru azot kullanılmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

5.3.2 Uçucu Madde

Kömür, oksijensiz ortamda ısıtıldığında kimyasal olarak değişikliğe uğrar ve kömürden, çoğunluğu hidrojen, karbonmonoksit, metan ve diğer hidrokarbonlar gibi yanıcı gazlardan oluşan, karbon dioksit ile su buharı gibi yanmayan gazları ve katran buharlarını da içeren uçucu madde çıkışı olur. Kaba nem ve bünye nemi uçucu maddeye dahil edilmez; ancak, kömürün ayrışması sonucu oluşan su buharı, uçucu madde içinde yer alır. Değişik yaşlardaki kömürlerin uçucu maddelerinin bileşimleri ve miktarları da önemli farklılıklar gösterir; kömürün yaşı arttıkça içerdiği uçucu maddenin miktarı ve uçucu madde içerisindeki yanmayan gaz miktarı azalır. Kömürün koklaşabilirliği ile karbonizasyon sırasında oluşan gaz ve katı ürünlerin miktarları konusunda bilgi verdiğinden, kömüre uygulanan uçucu madde analizi önemlidir. Kömürün uçucu madde içeriğinin saptanması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemlerde, kömür, 875-1.050°C arasında değişen bir sıcaklıkta, 3 dakika ile 20 dakika arasında değişen sürelerde ve platin, silika veya seramikten yapılmış potalarda ısıtılır ve uğradığı ağırlık kaybından, içerdiği nem miktarı çıkarılarak uçucu madde miktarı bulunur (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

"ASTM D 3175 standardına göre, 1 gramlık kömür numunesi, kapaklı bir platin kroze ve dikey bir boru fırın kullanılarak, 950±20°C'de, 7 dakika süreyle tutulduktan

sonra ağırlık kaybı saptanır. Fırın boyutları, ısıtma hızı ve potanın özellikleri, analiz sonuçlarını etkilemektedir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

"ISO 562 standardı da kömürün uçucu madde içeriğinin saptanmasında yaygın olarak kullanılır ve ısıtma işlemi 900°C'de, 7 dakika süreyle gerçekleştirilir. Bütün ağırlık kaybından, kömür numunesinin nem içeriği çıkarılarak uçucu madde yüzdesi saptanır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

"Karbonat içeriği yüksek olan kömürlerin uçucu madde içerikleri, olduğundan çok daha fazla olarak saptanmaktadır. Bu nedenle, bu tür kömürlerin karbonat içerikleri saptanarak, uçucu madde tayini sırasında çıkan karbondioksit nedeniyle oluşan hata düzeltilmelidir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.155).

5.3.3 Kül

"Kömür yandığında kalan külün kaynağı, kömürün içerdiği mineral maddelerdir. Kömürün mineral maddesi ile külü, ne içerik ne de miktar bakımından aynı değildir. Kömürün kül içerdiğini söylemek yanlıştır. Kömür kül içermez; kömür yandığı zaman, içerdiği mineral maddelerin şu temel değişikliklere uğraması sonucunda kül oluşmaktadır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

- Hidrat suyu kaybı
- Karbonatların parçalanması
- Sülfürlerin parçalanması
- Alkali metal klorürlerin uçucu hale gelmesi
- Kömürün yanması sonucu oluşan metal oksitlerin, organik ve piritik kükürdün bir kısmım kükürttrioksit halinde tutması
- Eğer sıcaklık yeterince yüksek ise, oksitler, silikatlar ve serbest silikanın tepkimeye girerek yeni bileşikler oluşturması

Külün kökeni, kömürün içerdiği mineral maddeler olduğundan, özellikleri, mineral maddenin bileşimine ve oksidasyonun gerçekleştirildiği şartlara bağlıdır.

Kömürün külünün bileşimi ve rengi geniş bir aralıkta değişir; külün rengi tam beyaz ile çikolata rengi arasında, özellikle demir-III-oksit derişimine bağlı olarak, farklılık gösterir. Kül, kömürün istenmeyen bir bileşenidir; yakma alanına taşınır ve işlem sonunda atılır. Kömür külünün içerdiği bazı bileşenler çeşitli amaçlarla kullanılabilirse de külün ekonomik değeri düşüktür (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

Kömür yandığında, mineral bileşenleri temel olarak silisyum, alüminyum, demir ve kalsiyum bileşiklerinden, daha az miktarlarda ise magnezyum, titan, sodyum ve potasyum bileşiklerinden ibaret bir artık oluşur. Kül bileşenleri, analiz sonuçlarında oksitleri halinde verilmekle beraber, bunlar kül içinde çoğunlukla, yanmanın gerçekleştirildiği şartlara bağlı olarak, silikatların, oksitlerin ve sülfatların karışımları halinde bulunur. Kömür külündeki silikatların kaynağı, şist ve kil mineralleridir. Demir oksidin en önemli kaynağı pirittir; kömürün yanması sırasında pirit, demir-III-oksidi ve kükürt oksitlerini oluşturur. Kalsiyum ve magnezyum oksitler, karbonat minerallerinin parçalanması sonucu oluşur. Sülfatlar ise büyük ölçüde, yanma sırasında oluşan kükürt oksitlerin metal oksitler ile girdiği tepkimeler sonucunda oluşmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

"Kül analizinde genellikle şu bileşikler saptanmaktadır: SiO_2, AI_2O_3, Fe_20_3, CaO, MgO, TiO_2, K_2O, Na_20, P_2O_5 ve SO_3. Bu bileşikler bütün küllerde serbest veya kompleks bileşikler halinde bulunur, fakat derişimleri büyük farklılıklar gösterebilir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

ASTM D 3174 standardına göre, tane boyutu 0,25 mm'nin altına öğütülmüş olan 1 gramlık kömür numunesi, sıcaklığı yavaş yavaş 700-750°C'a çıkarılan hava dolaşımlı bir fırında ısıtılarak, ağırlığı sabit kalana kadar (±0.01 gram) bekletilir. Kül miktarı, kalan kütlenin tartılması sonucu saptanır. Alman ve İngiliz standartlarına göre yakma sıcaklığı 775±25°C'tır. Bu amaçla yaygın olarak kullanılan diğer bir standart ise ISO 1016'dır. Bu standarda göre, 1 gram kömür 30 dakikada 250°C'a, 250°C'tan 500°C'a yine 30 dakikada, 500°C'tan 815°C'a

ise 60 dakikada ısıtılır ve ağırlığı sabit (± 0.001 gram) kalana kadar fırında bekletilir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

Kömürün bıraktığı kül miktarı saptanırken içerdiği pirit ve karbonat minerallerinin miktarları göz önünde bulundurulmalıdır. Eğer kömürün pirit ve karbonat mineral içerikleri yüksek ise, kömür, düşük sıcaklıkta yakılarak, piritin, karbonat minerallerinin parçalanma sıcaklığının altında ayrışması sağlanmalıdır. Böylece, kömürde kalan ve yüksek sıcaklıkta oluşan bazlarla tepkimeye girebilecek olan kükürt miktarı azalmış olur. Bu amaçla, ASTM D 3174 standardına göre, soğuk fırına konulan kömür numunesi 1 saat içinde 500°C'a ve 2 saat içinde ise 750°C'a ısıtılır ve ağırlığı sabit kalana kadar fırında bekletilir. Kömürün ince tabaka halinde külleştirilmesi de külde kalan kükürt miktarını azaltmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

5.4 Kömürün Elementel Analizi

5.4.1 Karbon ve Hidrojen İçeriği

"Karbon ve hidrojen, kömürde hem organik ve hem de anorganik yapıda bulunmaktadır. Kömürleşme prosesi ilerlerken karbon miktarı artar ve hidrojen/karbon oranı küçülür. Kömür yandığı zaman oluşan ısının hemen hemen tamamı içerdiği karbon ve hidrojenin yanması sonucunda oluşmaktadır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

Kömürün içerdiği karbon ve hidrojenin saptanması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemlerin tümü, belirli ağırlıktaki kömürün kapalı bir sistemde yakılmasıyla oluşan karbondioksit ile suyun adsorpsiyonuna dayanır. Mevcut yöntemlerle kömürün içerdiği organik ve anorganik bağlı karbon ve hidrojenin tamamını veya her birini ayrı ayrı saptamak olasıdır. Kömürün, 850-900°C'de gerçekleştirilen yakma işlemi sonucunda oluşan karbondioksidi tutmak amacıyla genellikle sodyum ve potasyum hidroksit, suyu tutmak amacıyla ise susuz magnezyum perklorat kullanılmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.156).

5.4.2 Azot İçeriği

Kömürdeki azotun, genellikle bitkisel ve/veya hayvansal proteinler, azotça zengin bitkiler, bitki alkaloitleri ve klorofilden kaynaklandığı kabul edilmektedir. Kömürün içerdiği azotun tamamı organik yapıdadır ve büyük kısmı, yüksek molekül ağırlıklı heterosiklik bileşikler içinde yer almaktadır. Kömürde bulunan ve azot içeren fonksiyonel gruplar şunlardır: Primer, sekonder ve tersiyer aminler, nitriller, piroller, piridinler ve amidler (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.157).

Fosil yakıtların azot içerikleri, yaşlarıyla düzgün bir değişim göstermemektedir. Genellikle, bitümlü kömürlerin azot içerikleri kahverengi kömürlerinkinden fazladır. Bitümlü kömürler her yüz karbon+hidrojen+oksijen atomu için 1-2 azot atomu içerirler. Aynı yaştan, aynı bölgeden ve hatta aynı damarın kesitinden alınan kömür örneklerinin azot içerikleri geniş aralıklarda değişebilmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.157).

"Kömürün yakıt olarak kullanılması sonucu yayılan azot oksitler, kükürt oksitlerden sonra kömürden kaynaklanan ikinci önemli hava kirleticidir. Yakma sistemlerinin tasarımı, hava/kömür oranı, sıcaklık ve kömürün içerdiği azot miktarı, yayılan azot oksit miktarını önemli ölçüde etkilemektedir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.157).

Kömürün azot içeriğinin saptanmasında, KjeldahI yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde, 1 gram kömür numunesi, derişik sülfürik asit ve potasyum sülfat ile kaynatılarak içerdiği azot, amonyum sülfata dönüştürülür. Çözelti su ile seyreltildikten sonra kuvvetli bazik hale getirilip, oluşan amonyum sülfatın parçalanmasını sağlamak amacıyla kaynatılır; çıkan amonyak standart bir asit çözeltisinde tutulur ve titre edilir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.157).

5.4.3 Oksijen İçeriği

Kömürdeki oksijen içeren fonksiyonel gruplar şunlardır: Hidroksitler (ağırlıklı olarak fenoller), eterler, karboksilik asitler, karboniller, furanlar, piranlar ve esterler. Kömürün oksijen içeriğinin doğrudan saptanması oldukça zordur; çünkü oksijen, kömürün içerdiği minerallerde anorganik, organik yapı içinde ise organik bileşikler halinde ve ayrıca da nem içerisinde bulunmaktadır. Anorganik oksijenin, kömürden mineral madde giderme yöntemlerinden biri uygulanarak uzaklaştırılması ve daha sonra, kalan katıda oksijen tayini yapılması mümkündür (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.157).

5.4.4 Kükürt İçeriği

Kömürün içerdiği kükürt türleri, organik kükürt ve anorganik kükürttür. Kömürde hidrokarbon yapısına bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir. Organik kükürt bileşikleri, kömürde asıl yapının bir parçası olarak, düzgün dağılmış halde bulunurlar. Bu tür kükürdün kökeni, kömürü oluşturan bitkisel maddelerin içerdiği amino asitlerdir. Anorganik kükürt kömürde, sülfat, disülfür ve elementel kükürt şekillerinde bulunmaktadır. Sülfat kükürdü, hidroklorik asit (HCl) içinde 30 dakikada çözünen sülfat iyonu miktarına eş değerdir. Kalsiyum, demir, bakır, baryum ve magnezyum tuzları halinde bulunabilen sülfat kükürdü, gevşek kristaller halindedir. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır; fakat hava ile temas ettikçe artar. Disülfür kükürdünü büyük ölçüde, FeSı'ün iki kristal şekli olan, pirit ve markasit oluşturur; piritin kristal şekli kübik, markasitinki ise rombiktir. FeS_2'ün çoğu piritik olduğundanismi bütün FeS_2'ler için kullanılır. Pirit ve markasitin kimyasal reaktiflikleri aynı, jeolojik kökenleri ise farklıdır. Bazı kömürlerin, %0,5'e kadar elementel kükürt içerdikleri saptanmıştır. Kömürün yakılması sonucu oluşan kükürtdioksit, hava kirliliğinin başlıca nedenidir. Kömürün yanması sırasında, içerdiği kükürdün bir kısmı külde kalır; çevre kirliliğine neden olan, yanar kükürt içeriğidir ve kömürün toplam kükürt içeriğinden küldeki kükürt çıkarılarak bulunur (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.157).

5.5 Kömürün Isıl Değeri

Bir yakıtın ısıl değeri, birim ağırlıktaki (veya hacimdeki) yakıtın tamamen yanması sonucu açığa çıkan ısı biriminin sayısıdır. Katı yakıtlar için yaygın olarak kullanılan ısıl değer birimleri, kJ/kg, MJ/kg ve kcal/kg'dır. Isıl değer tayini, kömürün enerji içeriğinin doğrudan ölçülmesi olduğu için, bir kömürün yakıt değerini saptamak amacıyla uygulanan tüm lâboratuvar analizlerinin en önemlisidir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.158).

Bir kömürün ısıl değeri, kömürleşme derecesine ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlıdır. Genç kömürlerin ısıl değerleri düşüktür, çünkü oksijen ve nem içerikleri yüksektir; fakat, genç kömürler çok yaygın olarak yakılmaktadır; bunun nedeni, miktarlarının fazla ve fiyatlarının düşük olmasıdır. Kuru-külsüz temelde hesaplanan ısıl değer, kömürün yaşıyla sistematik olarak değişir ve yaşı arttıkça artar (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.158).

Kömürün ısıl değerinin saptanması amacıyla geliştirilen yöntemler iki gruba ayrılır;

- Isıl değerin deneysel olarak saptanması
- Isıl değerin hesap yoluyla bulunması

Kömürün ısıl değerinin deneysel olarak saptanması amacıyla geliştirilmiş olan yöntemler şöyle sınıflandırılabilir:

- Kömürün indirgen olarak kullanılması
- Kömürün katı oksitleyicilerle yakılması
- Kömürün oksijen akımında yakılması
- Kömürün Parr sodyum peroksit kalorimetre bombasında veya oksijen kalorimetre bombasında yakılması (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.158).

Günümüzde en çok uygulanan yöntem, kömürün oksijen kalorimetre bombasında

yakılmasıdır. Bu yöntemde kömür bir bomba içinde, basınç altında, oksijen ile sabit hacimde yakılarak, açığa çıkan ısı ölçülür. Kalorimetre bombasıyla saptanan ısıl değer, yanma ürünlerinin oda sıcaklığına soğutulması ile bulunan değerdir. Bu değerin pratik bir anlamı yoktur, çünkü bir yakıt yakılırken, yanma ürünleri oda sıcaklığına soğutularak dışarı atılmaz. Pratikte, sıcak baca gazlarıyla kaybolan sadece duyulur ısı değildir; içerdiği su buharının buharlaşma gizli ısısı da kaybedilir. Su, havada kuru kömürde nem olarak bulunur; karbona bağlı hidrojen de yanma sırasında su oluşturur. Kalorimetre bombasında gerçekleştirilen yanma sırasında nem önce buharlaşır, sonra da sıvı su halinde yoğunlaşır ve yoğunlaşma ısısını verir. Bu nedenlerle, kalorimetre bombasında yakma yöntemi ile saptanan yanma ısısına üst ısıl değer denir. Alt ısıl değer ise, oluşan tüm suyun yoğunlaşma ısısının, üst ısıl değerden çıkarılması yoluyla bulunur. Alt ısıl değer, gerçeğe daha yakın bir büyüklüktür ve saptanabilmesi için yakıtın hidrojen içeriğinin bilinmesi gerekmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.158).

Alt ısıl değerin hesaplanabilmesi için kömürün hidrojen içeriğinin saptanması gerektiğinden, aynı cins yakıtlar üst ısıl değerlerine göre kıyaslanabilir; fakat farklı türden yakıtlar (bitümlü kömür, antrasit, petrol, kok gibi) kıyaslanırken alt ısıl değerlerin kullanılması gerekir; çünkü hidrojen içerikleri çok farklıdır. Kömürün ısıl değerinin doğrudan ölçülmesine alternatif olarak geliştirilmiş olan hesap yöntemlerini iki grup altında toplamak olasıdır:

- Elementel analiz sonuçlarından yararlanılan formüller
- Kısa analiz sonuçlarından yararlanılan formüller

Yanma ısısı, yakıtın elementel bileşiminden yararlanılarak yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir;

Dulong formülü türetilirken, kömürün içerdiği oksijenin, hidrojeni ile bileşik halinde olduğu kabul edilmiştir. Antrasit, yarı antrasit ve bitümlü kömürlerin, oksijen kalorimetre bombasında belirlenen ısıl değerleri, Dulong formülünden hesaplanan değerlerinden %1,5 kadar fark etmektedir. Yarı-bitümlü ve linyit kömürleri için

hesaplanan değerler deneysel olarak saptananlardan % 4-5 kadar daha büyüktür (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.159).

Kömürün ısıl değerinin ölçülmesi ve elementel analiz sonuçlarından yararlanılarak hesaplanması, özel cihazlar gerektirmektedir. Kömürün, özel cihazlar olmadan da kolayca saptanabilen kısa analiz sonuçlarından ısıl değerinin saptanabilmesi, hem üretici hem de tüketici için oldukça pratik ve yararlıdır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.159).

Türk linyitlerinin ısıl değerlerinin, kısa analiz sonuçlarından hesaplanabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada türetilen denklemler ve bu denklemlerden hesaplanan ısıl değerler ile deneysel sonuçlar kıyaslandıklarında bulunan hatalar, Bu çalışmada, Goutal'm formülünün Türk linyitlerinin ısıl değerlerinin hesaplanması için uygun olmadığı saptanmıştır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.159).

5.6 Mineral Madde İçeriği

Mineral madde, kömürün organik yapısının parçası olmayan elementlerin toplamıdır. Organometalik bileşikler gibi, inorganik elementlerin organik yapı ile oluşturdukları bileşikler de mineral maddeyi oluştururlar. Kömürdeki mineral maddeler, çıplak gözle görülebilecek büyüklükten optik mikroskopla veya elektron mikroskobuyla görülebilen mikron boyutlarına kadar çeşitli boyutlarda olabilmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.159).

"Kömürün içerdiği mineral maddelerin %95'inden fazlasını majör bileşenler oluşturur. Majör bileşenler dört gruba ayrılmaktadır:" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.159).

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

Karbonat mineralleri: Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum,

demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks ve karbonatlan da kömürün içerdiği majör bileşenlerdendir

Kükürtlü mineraller: Genellikle FeSa'ün iki kristal şekli olan pirit ve markasit kükürtlü mineralleri oluşturur: piritin kristal şekli kübik, markasitinki ise rombiktir.

Silikat mineralleri: Büyük miktarı kuvars şeklinde ortaya çıkar ve toplam mineral maddenin %15-20'sini oluşturur.

İçerdiği mineral madde, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkiler. Kömür kullanımı sırasında ortaya çıkan sorunların birçoğu içerdiği mineral maddelerden kaynaklanmaktadır. Kömür, bir yakma ünitesinde yakıldığında, içerdiği mineral maddeler önemli kimyasal ve fiziksel değişikliklere uğrar ve klinker oluşumu, korozyon, cüruf ve kurum gibi sorunlar yaratır. Kömürün temiz yakıtlara dönüştürülmesi amacıyla uygulanan sıvılaştırma, gazlaştırma ve piroliz işlemleri de kömürün içerdiği mineral maddenin miktarından, türünden ve dağılımından önemli ölçüde etkilenmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.160).

5.7 Kömür Külünün Erime Özelliği

Kömürün külü, yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa yumuşar ve akışkanlaşır. Farklı kömürlerin küllerinin erime özellikleri de birbirinden farklı olabilmektedir. Yakma sisteminin tasarımının yapılabilmesi, işletilebilmesi ve kömürlerin optimum harmanlama oranlarının belirlenebilmesi için, kullanılacak kömürün külünün bileşiminin, erime özelliklerinin ve cürufunun viskozite özelliklerinin bilinmesi gereklidir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.160).

Kömürün külü; kristal, yarı kristal ve camsı minerallerinin çok karmaşık bir karışımıdır; bu nedenle belirli bir erime sıcaklığı göstermesi beklenemez. Kül erime testleri sonucunda belirli bir erime sıcaklığı saptanamaz. Bu testler, piramit biçimi veya silindirik bir şekil verilmiş olan kül peletlerinin bir laboratuvar

fırınında, oksitleyici veya az indirgeyici atmosferde, kontrollü olarak ısıtılmaları sırasındaki, şekil deformasyonu, büzülme ve akma gibi, numunenin dış görünüşünde meydana gelen değişikliklerin gözlenmesi suretiyle gerçekleştirilir. Genellikle piramit şeklindeki kül peletlerinin kullanılması tercih edilir, çünkü yuvarlaklaşma sıcaklığı silindirik peletlerinkine kıyasla daha net bir şekilde gözlenebilir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.160).

Kömürün külünün erime özelliklerini saptamak amacıyla en çok kullanılan standart test yöntemleri şunlardır: DfN 51730, ASTM D 1857 ve ISO 540.ASTM D 1857 standardına göre külün erimesi sırasında dört kritik sıcaklık saptanabilmektedir:

Başlangıç deformasyon sıcaklığı:	Piramitin tepesinin yuvarlaklaşması
Yumuşama sıcaklığı:	Yüksekliğin, genişliğe eşit olduğu durum
Yarım küre sıcaklığı:	Yüksekliğin, genişliğin yarısına eşit olduğu durum
Akma sıcaklığı:	Yüksekliğin, 1,6 mm olduğu durum

Başlangıç deformasyon sıcaklığı, gerçek bir kömür yakma fırınındaki kül taneciklerinin, fırından geçişte birbirine hafifçe yapışma eğilimini muhafaza ettikleri bir sıcaklığa kadar soğudukları ve ısı değiştirici yüzeylerde tortu oluşturdukları sıcaklığa karşılık gelir. Test sonucu saptanan yumuşama sıcaklığına genellikle külün erime sıcaklığı denir ve külün başlangıç deformasyonu ile akma durumu arasında gözlenmiş olan durumu ifade eder. Hem yumuşama hem de yarım küre sıcaklıkları, kömürün külünün büyük bir hızla kütle oluşturma ve ısı değiştiricilerin yüzeylerine büyük miktarlarda yapışma eğilimi gösterme durumuyla ilgilidir. Standart test sonucu saptanan akma sıcaklığı ise kömürün külünün fırın cidarlarından damlalar veya akıntı halinde aşağı aktığı durumla ilgilidir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.160).

Kül erime sıcaklığının tayin edildiği fırındaki gaz atmosferinin indirgeyici veya oksitleyici oluşuna göre, saptanan sıcaklıklar farklı olabilmektedir. Birçok kül, oksitleyici gaz ortamında, indirgeyici ortamdakinden daha yüksek erime sıcaklığı

gösterir. Testin uygulandığı kömürün demir içeriği yüksek ise indirgeyici ve oksitleyici ortamlarda saptanmış olan kül erime sıcaklıklarının arasındaki fark büyür; çünkü külün içerdiği demirin bileşik içindeki değerliğinin külün erime özelliklerine etkisi vardır. Demirin iki değerlikli hale indirgendiği koşullarda, nispeten kolay eriyen ferrosilikatlarm oluşumu nedeniyle, külün erime sıcaklığı düşer; fakat, eğer demir üç değerlikli halde kalırsa, külün erime sıcaklığı yüksek olur ve oluşan cürufun viskozitesi de yüksektir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.161).

"Kömürün yakılması sırasında, erimiş veya yapışkan tortular, yanma kamarasındaki ısı değiştirici yüzeylerde toplanır; bu, cüruflaşmaya yol açar. Sinterleşmiş malzemelerin kazanın çeşitli kısımları üzerinde tortu oluşturması ise kirlenmeye neden olur" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.161).

Kömür küllerinin, erime özellikleri ile kirletme ve cüruflaşma eğilimlerinin, bileşimlerinden yararlanılarak tahmin edilmesi mümkündür.

"Türkiye'nin değişik yörelerinden toplanmış olan linyit kömürlerinin küllerinin erime özellikleri ile kimyasal bileşimleri arasındaki ilişkilerin araştırılması sonucunda, külün, Na_20, K_2O, CaO ve MgO içeriklerinin artmasının erime sıcaklığını düşürdüğü, AI_2O_3 ve SiO_2 içeriklerinin artmasının ise yükselttiği saptanmıştır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.161).

Kömür külünün yapısı, kirletme özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir; ancak, küllerinin bileşimi aynı olan iki kömürün, yakma sisteminde farklı davranması olasıdır, çünkü kömürün mineral madde dağılımı ve her bir türün boyutları önemlidir. Fler bir bileşenin birbiriyle nasıl tepkimeye gireceği ve miktarları da çok önemlidir. Sodyum ve potasyum, genellikle fırında uçuculaşır; fakat hangi ölçüde uçuculaştıklan, kömürde hangi bileşik halinde olduklarına bağlıdır; çok reaktif bir metalorganik bileşik veya daha az reaktif bir feldspat veya sülfat halinde olabilirler. Alüminosilikatlar halindeki sodyum ve potasyum, büyük ölçüde uçucu değildir ve camsı madde içinde çözünmüş olarak kalır. Düşük kükürt içerikli yakıtlardan uçuculaşan alkaliler, uçucu kül üzerinde yoğunlaşarak,

yapışkan alüminosilikatlar oluşturur ve sinterleşmiş tortular meydana gelir. Yüksek kükürt içerikli yakıtlardan yayılan alkaliler, 537-705°C civarında düşük erime sıcaklığına sahip kompleks alüminyum veya demir alkali sülfatlarını oluşturmaya yatkındırlar. Bunlar, ısı değiştirici boruları, baca gazıyla uzaklaşması gereken kuru uçucu külü tutmaya yatkın hale getirirler. Sodyum ve potasyum, ısı taşınım yüzeylerini kirletir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.161).

Kalsiyum bileşikleri de yakma sistemlerinde önemli sorunlar yaratmaktadır. Anortit'in hemen hemen tüm erimiş kül içeren tortularda bulunduğu belirlenmiştir; kazanın soğuk kısımlarında daha az anortit oluşumu saptanmıştır; toz halindeki tortularda ve siklon küllerinde ise anortite rastlanmamıştır. Gehlenit'e ise genellikle kazanın daha soğuk kısımlarındaki tortularda rastlanmıştır. Kalsiyum, siklon küllerinde ve bazı erimemiş kızgın yüzey tortularında da anhidrit, kireç ve kalsit halinde bulunur. Müllitin ise hemen hemen tüm tortularda ve siklon küllerinde bulunduğu saptanmıştır. Hematit ve magnetite de tortularda sıkça rastlanmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.162).

BÖLÜM ALTI
KÖMÜR İÇERİĞİNDEKİ MİNERAL MADDELER

"Kömür, organik ve mineral bileşenlerin değişik oranlardaki karışımı şeklindeki bir organik çökeldir. Organik madde oranı ağırlık olarak % 50'den fazladır. Mineral madde oranı ise % 50'den azdır. Kömür ayrıca bir miktar su ve gaz (CH_4, $C0_2$ gibi) kapsar" (Ünalan, 2010, s. 105).

Kömürün mineral madde miktarı, kömürün kalitesini belirlemektedir. Mineral madde oranı yüksek olanlar düşük kaliteli kömür olarak değerlendirilir. Bir yakıtın kömür olarak değerlendirilebilmesi için mineral madde oranının prensip olarak %50'nin altında olması gerekmektedir. Bitümlü şistlerin kül yüzdesi genelde %50'den fazladır. Boghead kömürü, cannel kömürü gibi diğer katı yakıtlarda bu oran %50'den daha düşüktür (Ünalan, 2010, s. 105).

Değişik kömürler içinde 120 çeşit mineral saptanmıştır. Periyodik tabloda mevcut 92 elementten 76'sı kömür içinde bulunabilmektedir. Bunların bir kısmı iz element şeklindedir. Miktarları ppm (tonda gram) olarak ifade edilir. Ancak germanyum gibi bazı değerli iz elementler kömürlerde ekonomik olabilecek miktarda bir birikim sağlayabilmektedir. Buna karşılık arsenik, flor, kadmiyum ve selenyum gibi diğer iz elementler kömür içinde belli bir tenor sınırından sonra, kömürü sağlık açısından çok tehlikeli bir yakacak haline getirebilmektedir (Ünalan, 2010, s. 105).

6.1 Mineraller

Tablo 6.1 de değişik kömürlerde varlığı belirlenen 120 çeşit mineralden bolluk derecesine göre ilk 33 minerale yer verilmiştir. Tablo 6.1 de görülen mineraller kendi içinde bol bulunanlar, az bulunanlar ve çok az bulunanlar olmak üzere üç grupta toplanmaktadır. Örneğin Tablo 6.1 de benlirtienlerden ilk sekizi (kuvars, kaolinit, illit, montmorillonit, klorit, pirit, kalsit ve siderit) bol bulunan mineraller olup ana bileşenler olarak adlandırılır (Ünalan, 2010, s. 105).

Tablo 6.1 Kömürlerde bulunan başlıca mineraller (Ünalan, 2010)

Mineraller	Kimyasal Bileşim	Açıklama
	Bol Bulunanlar (Bolluk sırasına göre)	
Kuvars	$Si0_2$	
Kil mineralleri		
Kaolinit	$AI_2Si_20_5(OH)_4$	
İllit	$KAI_4(AISİ_7O_{20})(OH)_4$	
Montmorillonit	$_{1/2}Ca,Na)_{07}(AI,Mg,Fe)_4[(Si,AI)_4O_{10}]_2(0H)_4.nH_20$	
Klorit	$(Mg,AI,Fe)_{12}[(Si,AI)_3O_{20}](OH)_{16}$	Mn kapsayabilir. Killer içinde Be,Cr,Ni ve diğer iz elementler bulunabilir.
Pirit	FeS_2	As,Cd,Co,Hg,Ni ,Sb ve Se kapsayabilir.
Kalsit	$CaC0_3$	
Siderit	$FeCO_a$	Mn kapsayabilir.
	Az Bulunanlar	
Analsim	$NaAISi_20_6.H_20$	
Apatit	$Ca_5(P0_4)_3(0H,F,CI)$	
Barit	$BaS0_4$	
Kalkopirit	$CuFeS_2$	
Klostalit	PbSe	
Krandalit Grubu		
Krandalit	$CaAI_3(P0_4)_2(0H)_5.H_20$	
Floransit	$CeAI_3(P0_4)_2(0H)_6$	
Gorseksit	$BaAI_3(P0_4)_2(0H)_5.H_20$	
Goyazit	$SrAI_3(P0_4)_2(0H)_5.H_20$	
Dolomit	$CaMg(C0_3)_2$	
Feldispat	$(Ca,K,Na)AISi_30_8$	
Galen	PbS	
Markasit	FeS_2	Pirit kapsayabilir.
Monazit	$(Ce,La,Y,Th,Nd)P0_4$	
Rutil/Anataz	TiO_2	
Sfalerit	ZnS	Cd kapsayabilir.
Zenotim	YPO_4	
Zirkon	$Zr(Si0_4)$	
	Çok Az Bulunanlar	
Kromit	$FeCr_20_4$	
Jipsit	$AI(OH)_3$	
Altın	Au	
Jips	$CaS0_4.{}_2H_20$	
Kaya tuzu	NaCI	
Manyetit	Fe_30_4	
Muskovit	$KAI_2(AISi_3O_{10})(OH)_2$	

Kömürün mineral bileşenleri kökenlerine göre 3 grupta toplanmaktadır:

1- Turbanın çökeldiği ortama dışarıdan su ve/veya rüzgar aracılığı ile ya da volkanik etkinlik sırasında gelen ve organik madde ile birlikte depolanan kırıntılar. Bunlara detritik mineraller denir. Örnekleri kuvars, feldispat, kil, volkan külleri olarak gösterilebilir (Ünalan, 2010, s. 107).

2- Su ortamında yaşayan organizmalara ait olup daha sonra turbaya karışan mineral maddeler veya bunların parçaları. Örneğin midye kabukları ($CaCO_3$), diyatomlar (SiO_2), sünger spikülleri (SiO_2) (Ünalan, 2010, s. 107).

3- Ortamdaki su içinde eriyik halde bulunan mineral maddenin kristallenerek çökelmesi sonucu ortaya çıkan mineraller. Bu tür minerallere, yerinde oluşan mineral anlamına gelen otijenik mineral denilmektedir (Ünalan, 2010, s. 107).

Otijenik mineraller oluşum zamanlarına göre, sinjenetik ve epijenetik olmak üzere iki gruba ayrılır. (Mackovvsky, 1968; Ward ve French, 2004). Bunlardan sinjenetik olanlar, yani turba ile eş yaşlı olanlara örnek olarak, pirit (FeS_2) framboidleri, siderit ($FeC0_3$) yumruları ve bitkisel hücre dolgusu veya gözenek dolgusu şeklinde bulunan kaolinit, kuvars, fosfat ve pirit mineralleri gösterilebilir (Ünalan, 2010, s. 107).

"Epijenetik olanlar, yani turbanın kömürleşmesinden sonra oluşanlar ise eklem ve klit dolgusu şeklinde bulunan kalsit, dolomit, ankerit, siderit, pirit, markasit, apatit, dawsonit, illit, klorit olarak sıralanabilir" (Ünalan, 2010, s. 107).

"Kömür içinde sinjenetik pirit minerallerine sık rastlanır. Sinjenetik pirit, turba aşamasında, su içinde eriyik halde bulunan Fe ile H_2S'in birleşmesi sonucu oluşur. H_2S, turba tabanındaki ana erobik ortamda yaşayan sülfat indirgeyici bakteriler tarafından üretilir" (Ünalan, 2010, s. 107).

Sülfat iyonları turba ortamına ait suyun içinde bulunur. Bu iyonlar deniz suyu

içinde daha boldur. Bu nedenle paralik ortamlara (deniz kenarında olup belirli zamanlarda deniz suyu baskınına uğrayan ortam) ait bataklıklarda oluşan kömürler daha fazla sinjenetik pirit ve dolayısıyla daha fazla kükürt kapsar. Sinjenetik pirit anaerobik koşulların göstergesidir. Ancak pirit epijenetik olarak da oluşabilmektedir (Ünalan, 2010, s. 108).

Kömür içinde bulunan önemli sinjenetik minerallerden bir diğeri siderittir. Çoğunlukla yumrular şeklinde bulunur. Boşluk dolgusu şeklinde olanları veya maseralleri ornatan örnekleri de bilinmektedir. Kömür içinde fazla miktarda sinjenetik sideritin varlığı, deniz suyu girişi olmayan bir ortamın göstergesidir. Bir diğer deyişle, bol miktardaki sinjenetik siderit, bataklıktaki suyun sülfat bakımından fakir olduğunu gösterir (Ünalan, 2010, s. 108).

Kömür içindeki sinjenetik oluşumlardan bir başkası kömür toplarıdır. Kömür topları da kömür katmanları içinde görülebilen, genellikle karbonat minerallerinden (kalsit, dolomit, siderit) ve pirit minerallerinden oluşan yumrulardır. Bu topların içinde, orijinal şekli bozulmamış ve hücre yapısı korunmuş bitki kalıntıları bulunabilir. Kömür topları turba çökeliminin ilk aşamasında, yani turbanın sıklaşmasından önce, havzaya dışarıdan gelerek turbayı yıkayan, gözeneklerini dolduran mineralli sular tarafından oluşturulur. Orijinal şeklini korumuş bitki kalıntıları kapsadıkları için kömür toplarından kömürün yaşının belirlenmesinde yararlanılmaktadır (Ünalan, 2010, s. 108).

Kömürde bulunan epijejenetik mineral örnekleri, yukarıda değinildiği gibi sülfitler, karbonatlar ve kil mineralleri olarak sıralanabilir. Bu mineraller turbanın kömürleşmesinden sonraki aşamada oluşan fay, eklem ve kütlerin dolgu maddesi şeklinde bulunur. Magmatik bir kaya ile dokanak halinde olan kömürün içinde de epijenetik kalsit ve dolomit minerallerine rastlanabilmektedir. Bu karbonatlar, kömürleşme sırasında organik madde tarafından üretilen CO ve $C0_2$ gibi gazların, magmadan kaynaklanan akışkanlarla tepkimeye geçmesi sonucu oluşur. Ayrıca yine magmatik kaya ile olan dokanakta epijenetik pirit, markasit ve de kuvars oluşabilmektedir. Kuvars genellikle detritiktir. Ancak epijenetik de olabilmektedir

(Ünalan, 2010, s. 108).

Kömürün, magmatik bir kütle (örneğin granit sokulumu) ile olan dokanağında, magmatik kütlenin sıcaklığına bağlı olarak, organik madde doğal koka dönüşürken, kömür içindeki bazı sinjenetik minerallerde de önemli değişiklikler meydana gelmektedir. Örneğin smektit illitleşebilmektedir. Smektitin illitleşmesi, yalnızca magmatik sokuluma bağlı olarak değil, yerin normal jeotermal gradyanı uyarınca, gömülme nedeniyle artan sıcaklığın etkisiyle de gerçekleşebilmektedir (Ünalan, 2010, s. 108).

"Kömür katmanı içindeki epijenetik minerallerin yanal sürekliliği yoktur. Dolayısıyla deneştirme çalışmalarında bu minerallerden yararlanmak olanaklı değildir" (Ünalan, 2010, s. 108)

Genel olarak sinjenetik mineraller, epijenetiklere oranla daha yaygındır.
Kömürün mineral bileşenleri,

- ince bantlar,
- organik madde içinde tek kristal ya da kristal kümesi,
- boşlukları dolduran kristaller,
- çatlakları dolduran kristaller,
- kömür topları şeklinde bulunur (Ünalan, 2010, s. 108).

Kömür içindeki minerallerin, özellikle sıcaklık karşısındaki davranışlarının ne olduğunun bilinmesi önemlidir. Örneğin bazı kömürlerde bulunan montmorillonit mineralleri, kömürün yanmasıyla bileşenlerine ayrılmakta, ardından soğuma ile birlikte bu bileşenler başka mineralleri de içine alacak şekilde bir araya gelerek kazanların veya fırınların iç yüzeylerinde bir kabuk meydana getirmektedir. Slagging veya fouling adı verilen bu olay, fırının ısı alış verişini olumsuz yönde etkilemektedir. Montmorillonitin bu özelliğine karşılık, bir başka kil minerali olan illit, slagging olayına neden olmamaktadır (Ünalan, 2010, s. 109).

Kömür yakıldığında, kapsadığı mineral bileşenlerin çoğunluğu küle

dönüşmektedir. Dolayısıyla kömürün mineral kapsamının bilinmesi, yakıldıktan sonra çıkacak külün miktarının ve niteliklerinin bilinmesine yarar. Ayrıca kömürün yakılmasıyla içindeki bazı minerallerde, sıcaklığın etkisiyle, önemli dönüşümler meydana gelir ve değişik gazlar türer. Oluşan gazlar baca gazı olarak atmosfere atılır. Örneğin piritin yanmasıyla demir oksit ve SO_x gazları oluşmaktadır. Demir oksit küle karışırken, SO_x gazları atmosfere atılmakta veya varsa filtrelerde tutulmaktadır (Ünalan, 2010, s. 109).

Yukarıdaki örneklerde de görüldüğü gibi, kömürün mineral içeriğinin niteliği ve niceliği, bu kömürden oluşan külün nitelik ve niceliğinden farklıdır. Kömür, mineral madde kapsar; fakat kül kapsamaz. Buna karşılık kömür yakıldığında kül üretir. Bazı yazarların kullandığı "kömürün kül kapsamı" deyimi bilimsel açıdan yanlıştır. Bunun yerine "kömürün kül yüzdesi" veya "kömürün kül verimi' deyimlerinin kullanılması daha doğrudur (Ward ve French, 2004). Ağırlık olarak kömürün kül yüzdesi, mineral madde yüzdesinden küçüktür (Ünalan, 2010, s. 109).

Külün ergime sıcaklığının bilinmesi, kazan-fırın dizaynı için önemlidir. Pirit ve siderit gibi demirli mineraller kapsayan kömürlerin kül ergime sıcaklıkları düşüktür. Buna karşılık kaolinit, illit gibi alüminyum bakımından zengin küllerin ergime sıcaklıkları daha yüksektir (Ünalan, 2010, s. 110).

6.1.1 Kömür İçindeki Kükürt

Kömür içindeki kükürt, çevre ve madencilik açısından ayrı bir önem taşımaktadır. Çünkü kömürün yanmasıyla, kapsadığı kükürt oksijenle birleşerek SOx ($S0_2$, $S0_3$) gibi insan sağlığına ve çevreye zararlı gazlar oluşmaktadır. Atmosfere yayılan SOx gazları bulutlardaki su damlacıkları ile birleşerek asit yağmurları meydana getirebilmektedir. Asit yağmurlarının özellikle bitki örtüsü üzerinde son derece olumsuz etkilerinin bulunduğu bilinmektedir. Öte yandan kömürdeki kükürt, kömürün kendiliğinden yanmasını kolaylaştıran bir elementtir. Kükürt oranı yüksek olan kömürler, kendiliğinden daha kolay yanabilmekte ve bu olay kömür

işletmeciliğinde önemli sorunlar yaratabilmektedir (Ünalan, 2010, s. 110).

Kömür içindeki kükürt,

- organik kükürt,
- sülfitlere ait kükürt,
- sülfatlara ait kükürt

olmak üzere üç değişik kökenli olabilmektedir.

Kömürü oluşturan organik madde, diğer katı ve sıvı yakıtlarda (odun, petrol, asfaltit, bitümlü şist vb.) olduğu gibi, karbon, hidrojen, oksijen ve daha küçük oranlarda olmak üzere azot ve kükürt elementlerinin değişik oranlardaki bileşiminden oluşur. Yukarıda sözü edilen organik kömüre dönüşen bitkilerden kaynaklanan kükürttür. Sülfit sülfatlara ait kükürt olmak üzere üç değişik kökenli olabilmektedir (Ünalan, 2010, s. 111).

Kömürü oluşturan organik madde, diğer katı ve sıvı yakıtlarda (odun, petrol, asfaltit, bitümlü şist vb.) olduğu gibi, karbon, hidrojen, oksijen ve daha küçük oranlarda olmak üzere azot ve kükürt elementlerinin değişik oranlardaki bileşiminden oluşur. Yukarıda sözü edilen organik kömüre dönüşen bitkilerden kaynaklanan kükürttür (Ünalan, 2010, s. 111).

Sülfit ve sülfatlara ait kükürt ise kömürün mineral bileşenleri arasında bulunan inorganik kükürttür. Sülfitlere ait kükürdün kömür içinde çok sık rastlanan örneği pirittir (FeS_2). Pirite ait kükürde piritik kükürt adı verilir. Pirit dışında markasit (FeS_2), galen (PbS), sfalerit (Zn, Fe)S te onabilir. Sülfatlara ait kükürt örneği ise jipstir ($CaS0_4.2H_20$) (Ünalan, 2010, s. 111).

Pirit, oksijensiz ortamda yaşayan sülfat indirgeyici anaerobik bakteriler tarafından, kömürün çökeldiği ortamdaki suda eriyik halde bulunan sülfatlardan, erken diyajenez sırasında üretilir. Sülfat indirgeyici anaerobik bakteriler, örneğin Desulfovibrio, önce $CaS0_4$'ten H_2S üretir. Üretilen demir (Fe) ile birleşmesiyle pirit meydana gelir. Bu şekilde oluşan kükürde sinjenetik kükürt denilmektedir.

Piritle birlikte markasit, galen ve sfalerit gibi diğer sülfitler de oluşabilmektedir (Ünalan, 2010, s. 111).

Kömür içindeki piritin bulunuş şekilleri şöyledir (Home ve diğer.,1978):

- iri taneli, boşluk dolgu maddesi,
- serpilmiş özgün şekilli taneler,
- klit dolgusu,
- framboidal pirit.

Organik kükürt ile sülfitlere ait kükürt, kömüre ait toplam kükürt içinde önemli bir yer tutar. Buna karşılık sülfatlara ait kükürt (jips: $CaS0_4.2H_20$, barit: $BaS0_4$ gibi) miktar olarak önemsizdir. Kömür içinde ayrıca, ender olarak, nabit kükürt olarak adlandırılan, yani başka bir elementle bileşik oluşturmayan, serbest kükürde de rastlanabilmektedir (Ünalan, 2010, s. 111).

Toplam kükürt (S_T), kömürü oluşturan orijinal bitki kalıntısındaki organik kükürdün, çökelme ortamındaki suyun sülfat içeriğinin ve sülfat indirgeyici bakteri etkinliğinin bir fonksiyonudur, kömürlerin toplam kükürt yüzdesine göre yapılan sınıflaması şöyledir.

- < % 0,5 : çok düşük kükürtlü kömür,
- % 0,5-1 : düşük kükürtlü kömür,
- % 1-4 : oldukça yüksek kükürtlü kömür,
- % 4 : çok yüksek kükürtlü kömür.

Genellikle deniz suyu içinde, kara ortamına ait tatlı suya oranla daha fazla miktarda eriyik sülfat bulunur. Deniz kenarındaki bataklıklarda, örneğin lagün kenarı bataklığı, alt delta düzlüğü gibi ortamlarda (paralik ortam) depolanmış kömürler, tatlı su ortamlarındaki bataklıklarda (limnik ortam) depolanmış kömürlere oranla daha fazla miktarda pirit ve dolayısıyla kükürt kapsar. Başka bir şekilde ifade etmek gerekirse, tavan kayası denizel olan bir kömür, tavan kayası

tatlı su ortamında çökelmiş olan kömüre göre daha fazla kükürt içerir. Bu kükürdün önemli bir bölümü pirite ait olup deniz suyu içindeki $CaSO_4$'ten bakteriler tarafından üretilir. Bu tip piritler genellikle framboid şeklindedir. Üst delta düzlüğü, göl kenarı bataklığı, taşkın ovası gibi esasen tatlı suyun bulunduğu ortamlara ait kömürler içinde az miktarda pirit ve dolayısıyla pirite ait kükürt bulunur. Buna karşılık, bu kömürlerin organik kükürt oranları yüksek olabilmektedir (Ünalan, 2010, s. 112).

Sinjenetik kükürt ile kömür maseralleri arasında aşağıda açıklanan ilişkiler söz konusudur:

Su tablasının ve pH değerinin yüksek, Eh değerinin düşük olduğu ortamlarda depolanan kömürler vitrinit oranı yüksek olan parlak kömürlerdir. Bu koşullar bakterilerin sülfatları indirgemesine uygun olup bakteriler tarafından üretilen H_2S'in, Fe^{2+} ile birleşmesiyle pirit oluşmaktadır. Dolayısıyla parlak kömürler içindeki sinjenetik kükürt oram yüksektir (Ünalan, 2010, s. 112).

Buna karşılık, su tablasının düşük ve Eh değerinin yüksek olduğu ortamlarda (aerobik) organik madde önemli ölçüde oksitlenir ve sonuçta inertinit yönüyle zengin olan mat kömürler meydana gelir. Bu gibi ortamlarda H_2S ve pirit oluşumu zayıftır. Bu ortamlara ait kömürler içindeki kükürt esas olarak organik kükürttür. Pirit veya sinjenetik kükürt oluşumu zayıf olduğu için oluşan kömürün toplam kükürt oranı genellikle düşüktür (Ünalan, 2010, s. 112).

Kükürte kömürler içerisinde değişik oranlarda rastlanır. Bu elementin kaynağı ise, inorganik bileşikler halindeki kükürt, daha ziyade pirit, nadiren Markasit ve çok daha nadir olarakta millerit ve pirotin halinde görülür. Piritin geniş bir yayılım alanı göstermesi, oluşum ortamının kömürlerin oluşum ortamına uygun oluşu ile ilgilidir. Pirit, pH düzeyinin 4, Eh düzeyinin de +0,01 civarında olduğu ortamlar da teşekkül eder. Bu pH ve Eh aralıkları aynı zamanda kömürlerdeki hümik maddelerin oluştuğu aralıklardır. Başka bir deyişle piritin geniş oluşum aralığı içerisinde, kömür oluşum aralıkları da yeralır. Bu nedenle bu mineral, kömür

içeren formasyonlar içerisinde de yüksek oranda bulunur.

"Organik baza bağlı kükürdün, özellikle H_2S şeklinde, yukarıda değinilen koşullarda, ortama dahil olması söz edilen ortamda mevcut kollidal ve iyonize demirle tepkimeye girmesi ile gerçekleşir" (Bürküt, Kırıkoğlu, ve Suner, 1991, s.111).

6.1.2 Kömür İçindeki Germenyum

"Batı Donetsk havzasında (Ukrayna) V. A. Zilbermint tarafından 1936 yılında yapılan incelemelerde, kömür seviyelerinin en üst ve en alt kesimlerinde, ayrıca kömür içindeki ara kesmelerde germanyum (Ge) zenginleşmeleri olduğu ilk kez ortaya konulmuştur" (Ünalan, 2010, s. 112).

> Bu sahadan alınan ve analizi yapılan 19 kömür örneğinin Ge tenörleri % 0,1-1,0 arasında değişmektedir. 11 örneğin Ge tenörü % 1 dolayındadır. Ge yönüyle zengin olan bu örnekler kömür seviyelerinin "marjinal zon" olarak adlandırılan en üst veya en alt kesimlerine aittir. Bu saptama 1966 yılında, ilk gözlemcinin anısına Zilbermint Yasası olarak yayınlara geçmiştir (Ünalan, 2010, s. 112).

"Daha sonraki yıllarda, dünyanın birçok kömür havzasında ve değişik kömür seviyelerinde Ge zenginleşmeleri gözlenmiştir (Avustralya, İngiltere, Belçika Bulgaristan, Almanya, Polonya, Yeni Zelanda, Rusya, Çin, Hindistan, Güney Afrika, Japonya, ABD vb.)" (Ünalan, 2010, s. 112).

> Japonya'da Housyu adasının Pliyosen linyitlerinin alt ve üst kesimlerindeki Ge zenginleşmelerinin havzadaki asidik tüflerden kaynaklandığı ve çökelim sonrası olaylara bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Daha sonra Japonya'nın diğer 12 kömür sahasında benzer zenginleşmeler gözlenmiş ve bu zenginleşmelerin her zaman simetrik olmadığı, bazı sahalarda kömür seviyesinin yalnızca üst kesimlerinde, diğer bazı sahalarda ise alt kesimlerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir. Genellikle kömür seviyesinin kalınlığı arttıkça Ge tenörünün azaldığı, ince kömür

damarlarının daha fazla Ge kapsadığı gözlenmiştir. Örneğin Donetsk (Ukrayna) havzasında işletilmeyen 60 cm'den ince kömür damarlarında, işletilen ve 60 cm'den kalın damarlara oranla 2 kat daha fazla Ge bulunmaktadır (Ünalan, 2010, s. 113).

Bazı sahalarda kömürün Ge tenörü ekonomik olarak işletilebilecek değerlere çıkmakladır. Örneğin Batı Virginia'da Bakerstown kömür seviyesinin 7 cm kalınlıktaki en alt kesiminin külündeki GeO_2 tenörü 3.000 ppm'dir. Bu tenöre sahip olan bir ton külün bugünkü değeri yaklaşık 400$'dır. Çin ve Rusya'da kömür yakıtlı termik santralların uçucu küllerinde bulunan GeS_2, GeO_2 şeklindeki germanyum üretilmektedir (Ünalan, 2010, s. 113).

"Bir kömür damarında Ge birikiminin zamanı hakkında değişik görüşler öne sürülmüştür. Baz arına göre bu olay organik maddenin çökelimi sırasında, bazılarına göre organik maddenin diyajenezi sırasında ve nihayet başka bir görüşe göre katajenez aşamasında gerçekleşmektedir" (Ünalan, 2010, s. 113).

"Germanyum zenginleşmelerinin olduğu seviyelerde bor (B), berilyum (Be), stronsiyum (Sr) baryum (Ba) ve fosfor (P) yönüyle bir fakirleşme söz konusudur" (Ünalan, 2010, s. 113).

Kömür içerisindeki Germenyum'un organik maddelere bağlı olduğunu ve düşük küllü kömürlerde Ge içeriğinin maksimuma ulaştığını göstermektedir. Diğer bir nokta, Vitren içinde Ge nkonsantrasyonunun daha fazla oluşudur. Genel görüş olarak, kömürlerin kül içeriklerinin, küllerdeki Ge içeriği ile lineer ilişkili olduğu kabul edilmektedir (Bürküt, Kırıkoğlu, ve Suner, 1991, s.112).

Bugüne dek yapılan incelemelerde, küllerde içerik itibari ile, en yüksek değerler %0,66 ile İtalya linyitik kömürlerinde bulunmuştur. Bazı Kansan kömürlerinin %0,1 Ge; bazı Çekoslavak kömürlerinin ise %0,82 Ge içerdiği tespit medilmiştir. Yine Çekoslovakyada Senoniyen kömür sahalarında ise %5,35 Ge içeren killer söz konusudur (Bürküt, Kırıkoğlu, ve Suner, 1991, s.113).

Türkiye'de birçok termik santralda yakıt olarak kullanılan kömürlerin (linyit + taşkömürü) iz element analizlerine bakıldığında germanyum değerlerinin 0,6-36 ppm arasında değiştiği görülmektedir. En yüksek değer (36 ppm) Tunçbilek linyitlerine ait olup dünya değerleri ile kıyaslandığında (0,5-50 ppm) önemli bir birikim olmadığı anlaşılmaktadır. Ancak bu incelemede analiz için alınan örnekler, santrala giren parça haldeki kömürlerden alınmış olduğundan, bunların sahadaki kömür seviyelerinin neresine (alt, orta, üst) karşılık geldiği bilinmemektedir. Aslında yapılan inceleme doğrudan germanyuma yönelik bir inceleme değildir (Ünalan, 2010, s. 113).

6.1.3 Kömür İçindeki Uranyum

Uranyum, kömürler içerisinde organometalik bileşikler yaparak zenginleşir. Kömürler içerisindeki bazı organik maddeler suda çözünmüş, gerek anyonik gerek katyonik formlardaki uranyumu tutar ve çevre kayaçlar ve formasyonlardan da uranyum sirkilasyonu sürekli bir şekilde sağlanırsa; belirtilen organometalik bileşikler halinde, kömürlerde zenginleşme söz konusu olur (Bürküt, Kırıkoğlu, ve Suner, 1991, s.114).

Kömür içinde az da olsa uranyum bulunabilmektedir. Söz konusu uranyumun konsantrasyonu genelde düşüktür. Dünya ortalaması ise ~1 ppm'dir. Diğer sedimanter kayalarla kıyaslandığında, kömür en az uranyum içeren kayalardandır. Ancak bazı kömür yataklarında (Güney Dakota, Güney Brezilya, İngiltere vb.) oldukça yüksek uranyum konsantrasyonlarına rastlanmaktadır. ABD'deki bazı sedimanter ve magmatik kayalar ile kömür ve kömür külleri içindeki uranyum konsantrasyonları ppm olarak; en düşük uranyum birikimi bazaltlarda, en yüksek birikim siyah şeyller (blackshales) ve fosfat kayalarında bulunmaktadır. Kömürlerdeki uranyum konsantrasyonları 1-3 ppm arasında değişmekte, kömürün uçucu küllerinde ise bu konsantrasyon 10 kat artmaktadır (Ünalan, 2010, s. 113).

Kömür içindeki uranyum organik bileşenlere bağlı olarak bulunmakta ve

konsantrasyonu,

- kömürleşme derecesine,
- çökelme ortamına,
- çökelme ortamındaki yer altı suyunun kimyasal özelliklerine,
- kömürün altındaki ve üstündeki kayaların ayrışma (alterasyon) derecesine bağlı olarak değişmektedir (Ünalan, 2010, s. 114).

Karasal bitkilerin uranyum konsantrasyonları genellikle çok düşük olup 0,20-0,60 ppm arasındadır. Buna karşılık uranyum cevherleşmelerinin bulunduğu sahalarda yetişen bitkilerde, örneğin Yeni Zelanda'da Lower Buller Gorge bölgesinde bulunan Copromosa Australis adı verilen bitkinin küllerinde 1.000 ppm'e kadar çıkan uranyum değerleri saptanmıştır (Ünalan, 2010, s. 114).

"Turbalardaki uranyum birikimleri de zayıftır. Değişik sahalara ait turba örnekleri için hesaplanan ortalama uranyum tenörü 0,2 ppm'dir" (Ünalan, 2010, s. 114).

Kömürde bulunabilen uranyumun, turba çökelimi sırasında veya sonrasında, turba içinde dolaşan yer altı suları tarafından bırakılan uranyum olduğu konusunda yazarlar arasında görüş birliği bulunmaktadır. Dolaşan bu suyun tatlı veya tuzlu olmasının, daha sonra oluşacak olan kömürün uranyum içeriği üzerinde önemli rolü olmaktadır. Deniz suyu, tatlı suya oranla daha fazla miktarda eriyik şeklinde uranyum kapsamaktadır. Tuzlu su içinde uranyumdan başka, yine daha fazla miktarda kükürt, molibden vb. elementler de bulunmaktadır. Bu nedenle, deniz suyu girişi olan havzalardaki, ya da tuzlu yeraltı suyunun bulunduğu havzalara ait kömürlerin uranyum kükürt ve molibden oranları, karasal ve tatlı su ortamında depolanmış kömürlere oranla daha yüksektir (Ünalan, 2010, s. 114).

"Yeraltı suyu içindeki uranyum, uranil iyon $U0_2^{+2}$ alkali uranil karbonat veya çeşitli organouranil kompleksler şeklinde bulunur" (Ünalan, 2010, s. 114).

Kanada'da, uranyum ve toryum kapsamlarını belirlemek amacıyla, içinde kömür damarları bulunan çamurtaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakıltaşından oluşan iki ayrı

sedimanter istif incelenmiş elde edilen sonuçlar özet olarak; (Bu kesitlerden ilki Kuzey Ontario'da,Kretase yaşlı linyit kapsayan Moose River havzasına, diğeri ise British Columbia'nın kuzeydoğuda, yine Kretase yaşlı fakat taşkömürü kapsayan Peace River havzasına aittir). Her iki kesitten alınan 200'den fazla örneğin (kömür, çamurtaşı, silttaşı, kumtaşı ve çakıltaşı) uranyum tenörleri 0,05 ppm ile 11,3 ppm arasında değişmektedir. Moose River havzasına ait linyitlerin ortalama uranyum tenörünün 1,63 ppm, Peace River havzasına ait taşkömürlerin ise 2,45 ppm olduğu, istiflerdeki en yüksek uranyum birikimlerinin çamurtaşı ve silttaşı gibi ince taneli çökeller içinde bulunduğu (sırasıyla 4,89 ve 4,84 ppm), kumtaşı ve çakışlarındaki konsantrasyonların oldukça düşük ve yine sırasıyla 1,08 ve 2,76 ppm olduğu görülmektedir (Ünalan, 2010, s. 114).

"Killi çökeller arasında, en yüksek uranyum birikimi organik madde yönüyle zengin olan çamurtaşlarında saptanmıştır. Çünkü uranil iyonlar organik madde tarafından kolayca indirgenebilmektedir" (Ünalan, 2010, s. 115).

İncelemesi yapılan her iki kesite ait örneklerdeki toryum da uranyum gibi bir gidiş sergilemedir En yüksek toryum konsantrasyonları (sırasıyla 10,95 ve 7,53ppm) yine killi çökellerde bulunmaktadır. Kömür ve kumtaşı-çakıltaşı gibi çekellerin toryum birikimleri çok daha düşüktür. Uranyumda olduğu gibi taşkömürü, toryum bakımından linyite oranla daha zengindir. Taşkömürü ortalama olarak 3,83 ppm, linyit ise 2,79 ppm toryum kapsamaktadır (Ünalan, 2010, s. 115).

Türkiye'deki linyit ve asfaltitler içinde de bir miktar uranyum bulunduğu bilinmektedir. Önceki yıllarda Elbistan, Beypazarı, Orhaneli, Çan, Çankırı, Yatağan vb. linyit sahalarından alınan önceki küllerinde yapılan analizlerde 100 ppm'e kadar çıkan birikimler saptanmıştır. Şırnak asilerinde ise bu değer 200 ppm'e kadar yükselebilmektedir. Ancak bu değerler sahayı veya kömür seviyesini temsil eden ortalama değerler değildir (Ünalan, 2010, s. 115).

6.2 İz Elementler

Kömürlerde, tenörleri ppm olarak ifade edilen 60'tan fazla iz element bulunabilmektedir. Aşağıda US Geological Survey (USGS) tarafından Alabama eyaletinde Pensilvanıyen (Geç Karbonifer) yaşlı Mary Lee adlı taşkömürü seviyesinden alınan bir örnekte saptanan iz elementler alfabetik sırayla verilmiştir; Ag (Gümüş), As (Arsenik), Au (Altın), B (Bor), Ba (Baryum), Be (Berilyum), Bi (Bizmut), Br (Brom), Cd (Kadminyum), Ce (Seryum), Cl (Klor), Co (Kobalt), Cr (Krom), Cs (Sezyum), Cu (Bakır), Dy (Disprosiyum), Er (Erbiyum), Eu (Öropyum), F (Flor), Ga (Galyum), Gd (Godalinyum), Ge (Germenyum), Hf (Hafniyum), Hg (Cıva), Ho (Holmiyum), In (indiyum), Ir (İridyum), La (Lantan), Li (Ltyum), Lu (Lütesyum), Mn (Manganez), Mo (Molibden), Nb (Niyobiyum), Nd (Neodimiyum), Ni (Nikel), Os (Osmiyum), P (Fosfor), Pb (Kurşun), Pd (Palladyum), Pr (Praseodimiyum), Pt (Platin), Rb (Rubidyum), Re (Renyum), Rh (Rodyum), Ru (Rutenyum), Sb (Antimuan), Sc (Skandiyum), Se (Selenyum), Sm (Samaryum), Sn (Kalay), Sr (Stronsiyum), Ta (Tantal), Tb (Terbiyum), Th (Toryum), Tl (Talyum), Tm (Tulyum), U (Uranyum), V (Vanadyum), W (Tungsten), Y (İtriyum), Yb (İterbiyum), Zn (Çinko) ve Zr (Zirkon) dur. Adı geçen elementlerden La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb ve Lu nadir toprak elementleridir (Ünalan, 2010, s. 116).

Herhangi bir iz elementin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonuna Clarke Değeri (Clarke Value) denir. Bir kaya veya kömür içindeki bir elementin konsantrasyonu, Clark değerinden 6 kattan fazla ise o element için bir zenginleşmeden söz edilir. Eğer konsantrasyon, Clark değerinin 1/6'sından daha küçük ise bir fakirlik söz konusudur (Ünalan, 2010, s. 116).

Kömürde 60'tan fazla iz element bulunabilmektedir. Bu elementlerin genellikle ppm (tonda gram) olarak ifade edilen konsantrasyonları bir ülkeden diğerine, bir sahadan ötekine, hatta bir damar içinde alttan üste değişebilmektedir.

Kömürde çok sayıda eser element vardır. Hg, Zn, Cd, As, Pb, Mn, Mo, Co, Ni, Cr,

Se ve Cu, kömürlerin inorganik kısmında; Ge, Be ve B genellikle organik kısmında; P, Ga, Ti, Sb ve V ise hem organik hemde inorganik kısmında bulunur. Genellikle, kömürün içerdiği mineral maddelerle birlikte bulunan bu elementlerin çevre kirliliğine katkısı iki yolla olmaktadır.

- Külün veya maden artıklarının yağmur suları ile ekstraksiyonu
- Yakma sistemlerinden baca gazı ile atmosfere taşınım

Yakma bölgesinde buharlaşmayan elementlerin baca gazından uzaklaştırılması, buharlaşanlara oranla daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Hg, Se, As, Cd ve Br gibi elelementler, buhar halinde yayıldıklarından, konvansiyonel kontrol cihazlarıyla baca gazından uzaklaştırılamaz. Her bir eser elementin uçucu küldeki derişimi, öncelikle, orijinal yakıtın eser element içeriğine bağlıdır.

"Kömür tabakalarının yeraldığı sedimanlarda, ekonomik oranlarda Ge, Ga, U, ve Cu bulunduğu bilinmektedir. Ge ve Ga kömürün yakıt olarak kullanımı esnasında ve kok-kimya endüstrisinde ikincil ürün olarak elde edilmektedir" (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.108).

"Kömür damarlarındaki yüksek iz element konsantrasyonları, genellikle, geçirgen kumlu ve siltli sedimanların bulunduğu bölgelerde yeralırlar" (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.109).

"Kömür damarlarının bulunduğu sedimanları kesip, kanal yapan nehir sedimanları, içerisinde de iz elementler yoğunlaşmaktadır. Zenginleşme bölgeleri, kömür seviyelerini bulunduran, metrelerce uzanan eski nehir yatakları boyunca yeralırlar" (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.109).

"Kömür damarlarının genel kesitlerinde iz elementlerin maksimum konsantrasyonlarına, genellikle, ya tavan ya da taban kesimlerinde ulaşılmaktadır. Bu seviyeler ile iç kısımlar arasında zenginleştirme oranı elli ile yetmiş arasında değişmektedir. Belirtilen bölgelerde, steril kayaç interklasyonları ile kömür

damarlarının temas yerlerinde yüksek konsantrasyonlar görülebilir" (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.109).

"Genellikle düşük kül yüzdesine sahip kömürlerde iz element konsantrasyonu daha yüksek olup, daha yayımlı olarak izlenirler" (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.109).

"Yüksek kül yüzdesine sahip kömürler içerisinde, yüksek iz element değerleri, primer oksidasyona uğramamış Vitren içerisinde bulunmuştur. Yüksek konsantrasyonlarda Ge, Ga ve Be Vitren ve Klaren içerisinde tespit edilmiştir. Bu durum, kömürlerin düşük yoğunluklu kısımlarının toplandığı bölgelerle de ilişkilidir" (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.109).

Belirli bir kömür tipinde rastlanılan, bir kömür tipine özgü iz element parajenezi, yapılan çalışmalarda tespit edilmemiş; ancak, bazı elementlerin lineer davranış gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca, kömür içeren sedimanların ve bölge jeolejik yapısının, iz element parajennezi açısından bir korelasyonu da söz konusu değildir. Ancak bölge genelinde etkili olan mağmatik, volkanik ve metamorfik kayaçların, dolaylı olarak kömür içerisinde ya da kömürlü formasyonlarda iz element konsantrasyonları yaratmaları mümkündür. Özellikle Ge, As, U, Cu ile S; volkanik aktivitenin etkili olduğu bölgelerdeki kömürler içerisinde yüksek düzeylerde tespit edilmiş olup, bu durumun en çarpıcı örnekleri Rusya, Japonya ile Pasifik kuşağının genç linyitik yataklarında gözlenmiştir (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.110).

"İz element yönünden zengin kısımlar, kömürler içerisinde, genellikle düzensiz şekiller gösterirler. Bu duruma örnek olarak U, Ge ve Sc verilebilir" (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.110).

Belirtilen iz element konsantrasyonlarının kömürler ve kömür taşıyan formasyonlar içerisinde yükselmeleri, kömür birikimi ile eş zamanlı olabildiği gibi senjenetik, daha sonraki işlevler ile geç zamanlı epijenetik, olarak ta söz

konusu olmaktadır. Bu ise, değişen iz element konsantrasyon seviyeleri ve depolanma şekillerinin farklılıklarını ortaya çıkarmaktadır. İz element sabitleşmesi ise bazı koşullar çerçevesinde olmaktadır. İz elementlerin kömürlü sedimanlar içersinde geniş ölçüde konsantre olması da, bu sedimanlar ve formasyonlarda belirtilen olaylarla münkün olur (Bürküt, Kırıkoğlu ve Suner, 1991, s.109).

Kömür içinde bulunan ve belli bir tenörden sonra çevreye ve dolayısıyla insan sağlığına olumsuz etkileri olan 25 iz element ve bunların bulunuş şekilleri Tablo 6.2 görülmektedir. Bunlar arasında koyu renkli olarak gösterilenler EPA (US Environmental Protection Agency) tarafından tehlikeli hava kirletici elementler olarak nitelendirilenlerdir (Ünalan, 2010, s. 492).

Tablo 6.3 de çok büyük kömür yataklarının bulunduğu Çin ve ABD'de değişik jeolojik yaşlardaki havzalara ait kömürlerin nadir toprak ve iz element konsantrasyonları ile bunların dünya ortalama değerleri ppm olarak verilmiştir. Tablo 6.3 de Çin kömürlerinin As, Hg, Se, F, Mo, Nî, Cr, Mn, V, U, Ga konsantrasyonlarının ABD kömürlerinden, hatta dünya ortalama değerlerinden yüksek, buna karşılık Cl, Br, B değerlerinin ABD kömürlerine oranla düşük olduğu dikkati çekmektedir (Ünalan, 2010, s. 493).

Tablo 6.2 Çevreye duyarlı 25 iz elementin kömür içinde bulunuş şekilleri (Ünalan, 2010).

ELEMENT	İÇİNDE BULUNDUĞU MADDE / MİNERAL
Antimuan	Organik madde, pirit ve diğer sülfitler
Arsenik	Arsenopirit, sfalerit, galen, kalkopirit, pirotit
Baryum	Barit ve diğer baryumlu mineraller
Berilyum	Organik madde
Bor	Organik madde, illit
Kadmiyum	Sfalerit
Klor	Gözenek suyu ve organik madde
Krom	Organik madde, illit, kromit
Kobalt	Organik madde, pirit
Bakır	Kalkopirit, organik madde
Flor	Çeşitli mineraller ve organik madde
Kurşun	Galen (PbS), Clausthalite (PbSe)
Civa	Pirit
Manganez	Karbonatlar: Siderit ve ankerit
Molibden	Sülfitler ve organik madde
Nikel	Sülfitler ve organik madde
Fosfor	Fosfat
Selenyum	Organik madde, pirit, clausthalite, ferroselit ($FeSe_2$),galen
Gümüş	Sülfitler
Talyum	Pirit
Toryum	Monazit, zenotim, zirkon, kil
Kalay	Oksitler ve sülfitler
Vanadyum	Kil ve organik madde
Uranyum	Organik madde, zirkon
Çinko	Sfalerit(ZnS)

Tablo 6.3 Çin ve ABD kömürlerinde bulunan nadir toprak ve iz elementlerin tenörlerinin (ppm), dünya ortalama tenörleri ile karşılaştırılması (Ünalan, 2010).

Element	Çin kömürleri (aritmetik ortalama)	ABD kömürleri (aritmetik ortalama)	Dünya (aritmetik ortalamal
La	26,09	12	10
Ce	49,82	21	11,5
Nd	22,06	9,5	4,7
Sm	4,09	1,7	1,6
Eu	0,72	0,40	0,7
Tb	0,58	0,30	0,3
Yb	1,78	0,95	0,5
Lu	0,52	0,14	0,07
As	276,61	24	5,0
Hg	1,372	0,17	0,12
Cd	0,46	0,47	0,3
Zn	43,24	53	50
Cu	28,22	16	15
Pb	24,77	11	25
Sb	2,56	1,2	3,0
Se	6,22	2,8	3,0
Mo	18,15	3,3	5,0
Fe (%)	1,211	1,3	1,0
Co	6,72	6,1	5,0
Ni	22,62	14	15
Cr	34,87	15	10
Mn	271,22	43	50
V	94,11	22	25
Ba	169,01	170	120
F	1200	98	80
Cl	404,58	614	1000
Br	8,66	17	17
U	7,52	2,1	1
Th	6,90	3,2	6,3
Al (%)	1,941	1,5	1,0
Ca (%)	1,306	0,46	1,0
Mg (%)	0,421	0,11	0,02
K	0,330	0,18	0,01
Na (%)	0,081	0,08	0,02
Ti	1685,72	800	500
Zr	246,75	27	30,41
Rb	20,68	21	5,16
Cs	2,21	1,10	0,2
B	14,34	49	75
Ga	81,06	5,7	7
Sr	175,96	130	130,76
Hf	3,26	0,73	
Ta	3,91	0,22	0,3
W	2,35	1,0	2
Sc	5,81	4,20	5

Tablo 6.4 ise, Sünya Sağlık Örgütü (WHO) ve bazı ülkelerin, içme sularında bulunan 10 iz element için kabul ettikleri en yüksek konsantrasyonlar verilmiştir.

Tablo 6.4 Bazı kuruluşlara göre içme sularındaki iz elementlerin sınır değerleri (ppm) (Ünalan, 2010).

ELEMENT	USPHS (1962)	JAPONYA (1968)	WHO (1970)	SABS (1971)	AVUSTRALYA (1973)	USEPA (1975)
As	0,01	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Ba	1,0	-	1,0	-	1,0	1,0
Cd	0,01	-	0,01	0,05	0,01	0,01
Cr	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Cu	1,0	1,0	0,05	1,0	10,0	-
Pb	0,05	0,10	0,10	0,05	0,05	0,05
Hg	-	0,001	-	-	-	0,002
Se	0,01	-	0,01	0,01	0,01	0,01
Ag	0,05	-	-	-	0,05	0,05
Zn	5	0,1	5	5	5	-

"Tablo 6.4'de adı geçen elementlerden özellikle F, As ve Se, başta Çin olmak üzere, dünyanın birçok ülkesinde ciddi sağlık sorunlarına neden olmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 494).

Kömürde bulunan iz elementlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, kömür içindeki konsantrasyonlarından başka, söz konusu kömürlerin günlük hayatta ne kadar zamandan bu yana kullanıldıkları (5 yıl, 10 yıl, 30 yıl gibi) ve de kullanım şekilleri, yani kömür yakma tekniği de büyük önem taşımaktadır. Örneğin yüksek arsenik içerikli bir kömürün bir ev içinde 3 yıl boyunca yakılması ile 20 yıl boyunca yakılmasının ev halkının sağlığı üzerindeki etkileri farklı olacaktır (Ünalan, 2010, s. 494).

6.2.1 Flor (F)

Flor, halojen ailesinin (F, Cl, Br, I) birinci elementidir. Son derece re-aktif bir element olmasından dolayı serbest halde bulunmaz. Bir başka elementle birleşerek florit veya florur adı verilen bileşikler oluşturur. Belli başlı bileşikleri hidrojen florit (HF), kalsiyum florit veya florit ($Ca\ F_2$), kriliyolit ($Na_3\ Al\ F_6$), sodyum florit (Na F) olarak sıralanabilir (Ünalan, 2010, s. 494).

Floritler gaz, sıvı ve katı halde bulunabilir. Yeryüzündeki önemli kaynakları şunlardır:

- Yer kabuğunu oluşturan kayaların ayrışması,
- Volkanlar,
- Kömür ve petrol gibi fosil yakıtların yakılması (Bazı kömürler 1.000 ppm'den fazla F kapsar),
- Seramik, tuğla, kiremit üretimi (Bu sanayinin hammaddesi olan kil, ısındığında çevreye fiorit yaymaktadır, Killer de, kömür gibi, önemli miktarda F. kapsar. F oranlan % 0,03-0,09 arasında değişir),
- Fosfat kayası üretimi, fosforik asit tesisleri, fosfatlı gübre kullanımı (fosfat kayalarında % 3=5 kadar F bulunur),
- Çimento fabrikaları (Kireçtaşı içindeki F, fabrika bacasından CaF_2 olarak çıkar),
- Alüminyum sanayi (Alüminyum üretiminde katkı maddesi olarak kriyolit kullanılmaktadır) (Ünalan, 2010, s. 495).

Yukarıda sıralanan florit kaynaklarından ilk ikisi doğal kaynaktır. Gerisi ise, insan etkinliğinin ürünüdür. Bunlara antropojenik kaynaklar denilmektedir. Havada, suda, toprakta ve canlı organizmalarda, az da olsa bir miktar florit bulunmaktadır. Havada bulunan florit, gaz veya toz (partikül) şeklindedir. Gaz haldeki floritler, hidrojen florit (HF), karbon tetraflorit (CF_4), silikon tetraflorit (SiF_4), sülfür hegzaflorit (SF_6), hegzafloroetan (C_2F_6) şeklinde sıralanabilir (Ünalan, 2010, s. 495).

Toz şeklindeki floritlere örnek olarak kriyolit (Na_3 Al F_6), şiolit *(chiolite)* (Na_5 Al_3 F_{14}), alüminyum fiorit (AIF_3), kalsiyum fiorit (CaF_2), sodyum hegzaflorosilikat (Na_zSiF_6), kurşun fiorit (PbF_2), florapatit [$Ca_5(P04)_3F$] gösterilebilir. Havanın florit konsantrasyonu genelde < 0,1µg/m^3'tür. Çin'de florit bakımından zengin kömürlerin yakıldığı bölgelerde, havadaki florit miktarı 6 µg/m^3 dolayındadır (Ünalan, 2010, s. 495).

Yüzey sularında eriyik halde bulunan fiorit konsantrasyonu 0,01-0,3 mg/l, deniz sularında ise 1,2-1,5 mg/l arasındadır. Jeotermal ve volkanik sahalardaki sularda daha yüksektir. Endemik florozis hastalığının görüldüğü bölgelerde 3-20 mg/l arasında, hatta bazı yerlerde 20 mg/l'den daha fazladır. Doğu Afrika'da Rift Vadisi göllerinde 2.800 mg/l olarak ölçülmüştür (Ünalan, 2010, s. 495).

"Normal topraklardaki fiorit birikimi 20-1000 µg/g arasında, florit madeni bulunan sahalardaki topraklarda ise birkaç bin µg/g'dır" (Ünalan, 2010, s. 495).

"İnsan vücuduna giren az miktardaki florit diş, sinir ve kaslar için yararlıdır. Diş çürümelerini engeller. Buna karşılık fazla miktarda alman florit, daha çok kemiklerde birikerek florozis olarak adlandırılan hastalığa neden olmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 495).

İzlanda'daki Hekla yanardağının püskürmeleri sonucunda ciddi florozis vakalarına neden olan 4.300 ppm'e varan flor derişimlerine rastlanmıştır. Normalde içme suyunda bulunan flor 0,1-1 ppm'dir. Hindistan, Çin ve birçok Afrika ülkesinde ise bu değer 40 ppm civarındadır. Bu yüzden bu ülkelerde ciddi florozis vakalarına rastlanmaktadır (Atabey, 2010, s.56).

"Kömürdeki emniyetli florun eşik değeri 190 mg/kg olarak hesaplanmıştır" (Atabey, 2010, s.57).

"Florun %97'sinin gıda zinciri ile %2'sinin ise solunum yoluyla bünyeye alındığını kabul edilmiştir" (Atabey, 2010, s.57).

"Dünya ve ABD ortalaması olarak kömürdeki flor düzeyleri ppm olarak sırasıyla 150 ve 80 şeklinde verilmiştir. Killerin flor düzeyleri ise ppm olarak Fransa ve Hindistan için sırasıyla 60-220 ve 30-3200 olarak verilmiştir" (Atabey, 2010, s.57).

6.2.2 Arsenik (As)

Arsenik (As), içlerinde element halinde arsenik, sülfürler, oksitler, arsenatlar ve arsenitlei de kaplayan 200 den fazla mineralde esas bileşen olarak bulunur. Arsenik cevher mineralleri, kadminyum, kurşun, gümüş, altın, antimuan, fosfor, volfram ve molibdenle birlikte yüksek oranda geçiş minerallerinide barındırır (Atabey, 2010, s.166)

Arsenik (As), kükürt (S) ve germanyum (Ge) gibi, kömür içinde sık rastlanan bir elementtir. Kömürde değişik konsantrasyonlarda olmak üzere sık rastlanan bu gibi elementlere coalphile element denilmektedir. Son derece zehirli bir element olmasından dolayı, As oranı yüksek olan kömürlerin yakılması, insan sağlığı ve çevre açısından tehlike oluşturmaktadır (Ünalan, 2010, s. 498).

As, kömürün hem mineral bileşenlerine, hem de organik bileşenlerine bağlı olarak bulunur. En çok, kömürün mineral bileşenlerinden olan piritle (FeS_2) birlikte rastlanır. Genel bir kural olarak, kömürün pirit yüzdesi arttıkça As oranı da artar. Kömürün kil mineralleri de bir miktar As kapsayabilmektedir. Bunun dışında kömürün organik bileşenlerinden olan vitrinit, huminit, inertinit gibi maseral grupları içinde de, daha düşük oranlarda olmak üzere arsenik bulunabilmektedir. Kömür içindeki organik arsenik, kömürü oluşturan bitkilerden kaynaklanmaktadır. As oranı düşük olan kömürlerdeki As esas olarak organik kökenlidir (Ünalan, 2010, s. 498).

"Kömür içindeki arsenik, ya turba çökelimi ile eşzamanlı, yani senjenetik, ya da epijenetiktir. Yani kömürleşme ile eşzamanlıdır" (Ünalan, 2010, s. 498).

Senjenetik arsenik

"Turba çökelimi sırasında havzaya dışarıdan iki şekilde As gelebilmektedir. Bunlardan ilkinde As, akarsular tarafından bataklığa taşınmaktadır. İkincisinde ise As, turba ile eşzamanlı volkanizmadan kaynaklanmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 498).

“Kömür havzasının temelini oluşturan kayalar içindeki sülfit (FeS_2 gibi) cevherleşmeleri, kömür içindeki As için kaynak oluşturabilmektedir. Örneğin Muğla yöresindeki linyitlerde bulunan 7-33 ppm seviyesindeki As’nin, havzanın temelini oluşturan Menderes Masifi'ndeki sülfit yataklarından kaynaklandığı belirlenmiştir” (Ünalan, 2010, s. 498).

Turba çökelimi ile eşzamanlı volkanizmadan kaynaklanan As örneği olarak Japonya’daki linyit yatakları gösterilmektedir. Burada Tersiyer yaşlı linyitlerde 500 ppm’e kadar varan As mevcuttur. Ayrıca bu kömürlerde fazla miktarda U ve Ge saptanmıştır. Yüksek oranlardaki As’nin açıklaması, vofkaniznnaya bağlı hidrotermal akışkanlar aracılığı ile turba içine yerleşen As şeklinde yapılmaktadır (Ünalan, 2010, s. 498).

“Ankara-Beypazan havzasındaki Neojen yaşlı linyit, iki damar şeklindedir. Üst damar 32 ppm, alt damar ise 54 ppm As kapsamaktadır. Bu zenginleşmenin de eşzamanlı andezitik volkanizmadan kaynaklandığı belirtilmektedir” (Ünalan, 2010, s. 499).

Epijenetik arsenik

Kömürde iki tür epijenetik As birikimi söz konusudur; Süzülme ve Hidrotermal
Süzülme modelinde bir kömür seviyesi üzerine depolanan volkano-tortul kaya topluluğunda bulunan As, aşağıya doğru süzülerek, alttaki kömür içinde birikmektedir. Bunun örneği Güney Dakota’daki (ABD) linyitlerde görülür. U ve Mo bakımından da zengin olan bu linyitlerde ortalama 1.600 ppm As mevcuttur. Üç elementin de (U, Mo, As), kömür seviyesi üzerine depolanmış olan tüf ve kumtaşlarından aşağıya doğru süzülen elementler olduğu belirlenmiştir (Ünalan, 2010, s. 499).

Hidrotermal epijenetik tip As birikimi, kömürleşme sırasında veya kömürleşmeden sonra yörede meydana gelen bazı cevherleşmelerle ilgilidir.

Örneğin Çin'de Guizhou eyaletindeki Permiyen ve Triyas yaşlı taşkömürlerinde ve antrasitlerde gözlenen As, Hg, Tl, ve Sb zenginleşmelerinin, yakın yöredeki düşük sıcaklıklı (150-240 °C) Carlin tipi altın cevherleşmeleri ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Kömür içindeki 4 iz element, temeldeki altın cevheri içinde de bulunmaktadır. Bu gibi As zenginleşmelerine Çin tipi zenginleşme adı verilmiştir. Ukrayna, Tacikistan, Ingiltere, Bulgaristan kömürlerinde de fazla miktarda As birikimlerine rastlanmaktadır (Ünalan, 2010, s. 499).

As, kömürün yanmasıyla büyük ölçüde gaza dönüşür. Ancak bu gaz, bir süre sonra yoğunlaşarak katı hale geçer, yani tozlaşır ve uçucu küle (fly ash) karışır. Yanma, bir termik santralde olduğunda, uçucu külün %97-99'a varan bölümü elektrostatik filtrelerde tutulduğundan As'nin atmosfere kaçışı büyük ölçüde engellenmektedir. Yanma ile birlikte kömürdeki As'nin çok küçük bir bölümü kazan dibindeki küle (bottom ash) karışmaktadır. Pirit ve organik maddeye bağlı olan As uçucu küle karışırken, kil minerallerine bağlı olan As, kazan dibindeki küle geçmektedir (Ünalan, 2010, s. 499).

"Endüstriyel kullanımlarda kömürdeki As konsantrasyonu için 100-300 ppm, sınır değer olarak kabul edilmekte, bundan daha fazla As kapsayan kömürler çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 499).

Kömürde arsenik konsantrasyonunun dünya ortalaması bir yazardan diğerine değişmektedir. 1985 yılında yapılan bir çalışmaya göre (Yudovich ve Ketris, 2005c) bu değer, linyitler için 14 ± 4 ppm, taşkömürleri için 20 ± 3 ppm'dir. Ren ve diğerleri (1999) ve Zhang ve diğerleri (2004)'e göre, linyit-taşkömürü ayrımı yapılmaksızın, kömürler için 5 ppm'dir. Son olarak, 2004 yılında yapılan bir hesaplamada ise linyit için As ortalama değeri 7,4 ±1,4 ppm, taşkömürü için 9 ± 0,8 ppm olarak bulunmuştur. Taşkömürleri, linyitlere oranla daha fazla As kapsamaktadır. Kömürlerin As kapsamı, depolandığı sedimanter havzanın jeolojik yapısıyla ilgilidir. Deniz suyu yaklaşık 0,003 ppm As içermektedir. Dolayısıyla deniz kıyısı bataklıklarında oluşan kömürler (paralik kömürler) daha fazla As kapsayabilmektedir. Diğer yandan turba çökelim sırasında veya ertesinde, daha

önce değinildiği gibi, yörede volkanizmanın varlığı, kömürün As konsantrasyonunu artırıcı bir rol oynamaktadır. Termal suların bileşiminde As sık rastlanan bir element olup bu gibi sularda 47 ppm (mg/l)'e kadar varan konsantrasyonlar ölçülmüştür (Ünalan, 2010, s. 499).

Kömür havzalarının temelini oluşturan kayalar içindeki arsenikli sülfit cevherleşmeleri de, depolanmakta olan turba için As kaynağı olabilmektedir. Canlı bitkilerin bünyesinde, değişik oranlarda olmak üzere As bulunmaktadır. Bitki küllerindeki ortalaması 0,3 ppm'dir. Batı Sibirya turbalarının küllerinde ortalama 37,4 ppm (477 analiz) As saptanmıştır (Ünalan, 2010, s. 500).

Yer kabuğunun As Clarke Değeri (yer kabuğu ortalaması) 5 ppm'dir. Kömürdeki As'nin yeryüzündeki dağılımına bakıldığında; Doğu Almanya, Çek Cumhuriyeti, Ukrayna, Çin gibi ülkelerde yüksek As konsantrasyonlu taşkömürlerinin bulunduğu görülmektedir. Buna karşılık Güney Afrika ve Avustralya taşkömürlerinin (Gondvana kömürleri) As oranlarının düşük olduğu dikkati çekmektedir. Genelde güney yarıküre taşkömürlerinin (Permiyen) sülfit, halojen (F, Br, I) ve iz element konsantrasyonları, kuzey yarıküre kömürlerine oranla düşüktür. Buna karşılık kül oranları yüksektir (Ünalan, 2010, s. 500).

Arsenozis

"Genel anlamda arseniğin neden olduğu hastalıktır. Buna arsenizm de denilmektedir" (Ünalan, 2010, s. 500).

Arsenik, kömür içinde çoğunlukla piritle birlikte, yani arsenopirit (FeAsS) şeklinde bulunur. Kömürün yanmasıyla, $As_2 0_5$, 215 °C'den yüksek sıcaklıklarda yani soba veya kazan içinde gaz halindedir. Sobadan çıkınca soğuma ile toz (partikül) haline dönüşür. Bu tozlar son derece zehirlidir. Solunum yoluyla veya ciltteki gözenekler ya da yiyecekler aracılığı ile insan vücuduna girmektedir (Ünalan, 2010, s. 500).

"Vücuda giren As bütün organları (kalp-damar sistemi, sinir sistemi, böbrek, karaciğer, akciğer gibi) ayrıca kan ve cildi etkiler arsenozis hastalığına neden olur" (Ünalan, 2010, s. 500).

Arsenozis Çin'in güneyinde, Guizhou eyaletinde yaygın olarak görülmektedir. Genelde Çin kömürlerinin As oranı yüksektir. Ortalaması 276 ppm'dir (ABD ortalaması 24 ppm). Guizhou'da arsenozis görülen alandaki As konsantrasyonu daha da yüksek olup ortalama 524 ppm'dir Yöre kömürlerinde 35.000 ppm'e varan değerler ölçülmüştür (Ünalan, 2010, s. 501).

Adı geçen eyaletteki kömür yatakları, Permiyen yaşlı Longtan Formasyonu içindedir. Bu formasyon, volkanizma ve hidrotermal etkinliklerin yoğun olduğu bir sedimanter ortamda çökelim iştir. Kömürdeki yüksek As birikimi bu etkinliklere bağlıdır. As ile birlikte yine yüksek oranda Hg, F, U ve daha düşük oranlarda olmak üzere Mo, Th, Se, V, Zn mevcuttur. Ayrıca Guizhou eyaletinde Carlin tipi altın yatakları bulunmakta ve kömür içindeki arsenik zenginleşmesinin altın cevherleşmesi ile bağlantılı olduğu ileri sürülmektedir (Ünalan, 2010, s. 500).

"Florozis bölümünde anlatıldığı gibi, bu yörede ısınma, pişirme ve yiyecek kurutma amacıyla bacasız kömür sobaları kullanılmaktadır. As, en çok bu sobalarla kurutulan acı bibere geçmekte ve biberin yenmesiyle vücuda girmektedir" (Ünalan, 2010, s. 501).

Tarladan toplanan taze biberdeki As oranı 1 ppm'den az iken, kömür sobası yakınında kurutulmuş biberde bu oranın 500 ppm'e kadar çıktığı saptanmıştır. Çin, Guizhou bölgesinde %3,5'a kadar varan yüksek arsenik zenginleştirmeleri gözlenmiştir. Konutların ısıtılması amacıyla bu kömürlerin yakılması sonucu 3.000'den fazla arsenik zehirlenmesi vakası yaşanmıştır (Atabey, 2009, s.14)

Arseniğin neden olduğu cilt hastalıklardan biri, 1912 yılında John Templeton Bowen tarafından keşfedilen Bowen hastalığıdır. Bir çeşit cilt kanseri öncüsü olan

bu hastalık, ciltte kırmızı renkli dairesel yaralarla kendini belli eder (Arsenikten başka, fazla miktarda alınan ultraviyole ışınlarının da bu hastalığa yol açtığı bilinmektedir) (Ünalan, 2010, s. 501).

"Çin hükümeti son yıllarda arsenik ve flor oranları yüksek kömürlerin hastalıklara neden olduğunu kabul ederek bunların yakıt olarak kullanımına sınırlamalar getirmiştir" (Ünalan, 2010, s. 501).

"Çin'den başka, Çek Cumhuriyeti'nde kömürle çalışan bir termik santralin çevresinde yaşayan çocuklarda gözlenen işitme kayıplarının, santralde kullanılan ve 1.000 ppm As kapsayan kömürlerden kaynaklandığı saptanmıştır" (Finkelman, 1997; Ünalan, 2010, s. 501).

"Türkiye'deki kömürlere bakıldığında, en yüksek As birikimi Kütahya-Gediz-Gökler sahasındaki Orta Miyosen yaşlı kömürlerde belirlenmiştir (ortalama 833 ppm)" (Ünalan, 2010, s. 501).

6.2.3 Selenyum (Se)

Katı, siyah-gri veya kırmızımsı, metalik olmayan bir elementtir. Klostalit, kruksit [crooksite, $(Cu, Tl, Ag)_2 Se$] gibi mineralleri mevcuttur. Pirit vb. sülfitler içinde, yer kabuğunu oluşturan çeşitli kayalarda, toprak, su ve bitkilerde, ayrıca kömür, petrol gibi fosil yakıtlar içinde değişik oranlarda bulunur. Genellikle bakır, kurşun, gümüş üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilir. Gam ve tekstil sanayinde, fotoğrafçılıkta, fotokopi cihazlarında kullanılır. Fotovoltayik bir elementtir. Yani güneş enerjisini, doğrudan elektrik enerjisine dönüştürme özelliğine sahiptir (Ünalan, 2010, s. 501).

Yer kabuğunun Se konsantrasyonu ortalama 0,05 ppm'dir. Sedimanter kayalardan en çok kömür içinde bulunur. Kömürlerdeki dünya ortalaması 3 ppm'dir. Kömür dışındaki diğer sedimanter kayalardan en çok şeyller içinde birikim sağlamaktadır. Şeyllerdeki dünya Se ortalaması 0,60 ppm'dir. Kumtaşı ve kireçtaşlarında bu oran

daha düşüktür. Sebze ve meyvelerde 0,01-0,3 ppm, et ve balıkta 0,1-0,7 ppm arasında Se bulunur (Ünalan, 2010, s. 501).

Kömürün yanması sırasında, yüksek sıcaklığın etkisiyle, kömür içindeki Se, $Se0_2$'ye dönüşerek buhar şeklinde atmosfere çıkmaktadır. Soğuma ile yoğunlaşarak uçucu küllere yapışmakta, yere inen uçucu küller suya ve toprağa karışmaktadır. Oradan da çeşitli yollarla insan vücuduna girebilmektedir. Yanan kömür içindeki selenyumun bir kısmı da, yanma kazanının dibine çöken kül içinde tutulmaktadır (Ünalan, 2010, s. 502).

"EPA (US Environmental Protection Agency*)'n*ın içme suları için kabul ettiği en yüksek Se konsantrasyonu 0,01 ppm'dir" (Ünalan, 2010, s. 502).

Yetişkin bir insanın gıdalardan alabileceği günlük Se miktarı 0,05-0,2 mg olarak belirlenmiştir. Se, bir oligo-element olup belli bir seviyede olmak kaydıyla besin değeri olan, vücut için gerekli bir elementtir. Ancak insan vücuduna giren Se'nin azı da, fazlası da zararlıdır. Vücutta Se yetersizliği, Keshan hastalığı olarak adlandırılan ve kalp büyümesi, kalp yetmezliği şeklinde ortaya çıkan bir hastalığa neden olmaktadır. Bu hastalık 1935 yılında Çin'in kuzeydoğusunda Heilongjiang eyaletinde keşfedilmiş, daha sonra Yeni Zelanda ve Finlandiya'da da görülmüştür. En çok 2-10 yaş grubu çocuklarda rastlanmaktadır (Ünalan, 2010, s. 502).

Selenyum havadaki ve sudaki konsantrasyonu genelde düşüktür; örneğin, havada 10 ng/m^3'den azdır ve suda µg/litre'den daha azdır. Selenyumun en zehirleyici bileşiği, MAK değeri 0,05 ppm olan hidrojen selenürdür. Diğer selenyum bileşiklerinin MAK değeri 0,1 ppm'dir. Amerika'daki TLV değeri 0,2 mg/m^3'dır. Almanya'da içme suyundaki limit değeri 0,008 mg/l olup EPA maksimum sınır seviyesini (MCL) 0,01 mg/l olarak önermektedir (Atabey, 2010, s.185).

Selenozis

"Vücutta selenyum fazlasının neden olduğu bir hastalıktır. Saç ve tırnak dökülmelerine neden olan ve sinir sistemini etkileyen bu hastalığa, kömürün en çok

kullanıldığı ülke olan Çin'de rastlanmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 502).

"Çin kömürlerinin ortalama Se konsantrasyonu 6,22 ppm'dir. ABD ortalaması 2,8 ppm, dünya ortalaması ise 3 ppm'dir. Orta Çin'de yer alan iki eyalette (Shaanxi ve Hubei) toplam 500 kişinin kömürden kaynaklanan selenozis hastası olduğu belirlenmiştir" (Ünalan, 2010, s. 502).

Shaanxi eyaletinde Naore yöresindeki topraklarda 15 ppm, volkanik tüflerde ortalama 32 ppm (26,6-48 ppm) ve Erken Kambriyen yaşlı, piritli arduvazlarda ortalama 22 ppm (13-42 ppm) Se bulunmaktadır. Selenyum, topraktan tarım ürünlerine (özellikle mısıra) geçmekte ve yöre halkında saç ve tırnak dökülmeleri ile kendini belli eden selenozise neden olmaktadır (Ünalan, 2010, s. 502).

Yine merkezi Çin'de yer alan Hubei eyaletinde, 5 köyde yakacak olarak kullanılan ve stony coal olarak adlandırılan kömürlerden kaynaklanan selenozis vakaları bilinmektedir. Kullanılan kömürde ortalama 300 ppm Se bulunmaktadır. Bir örnekte 80.000 ppm ölçülmüştür. Yöre köylerinde toprağı iyileştirmek için kömür külleri gübre olarak kullanıldığından, küldeki Se önce toprağa, oradan da bu topraklarda yetiştirilen mısır vb. tarım ürünlerine geçmektedir. Bölgedeki 5 köyde yaşayan toplam 250 kişinin % 50'si selenozis hastasıdır (Ünalan, 2010, s. 502).

"Çin, buraya kadar anlatılan florozis, arsenozis ve selenozis hastalıklarının en fazla görüldüğü ülkedir. Özellikle florozis ve arsenozis hastalıkları, adı geçen ülkenin güney ve güneydoğusunda çok geniş alanlarda yaygındır" (Ünalan, 2010, s. 502).

6.2.4 Civa (Hg)

"Yerkabuğundsa ortalama 0,08 ppm oranında bulunan civa, deniz suyunda $3x10^{-5}$ ppm civarında bulunmaktadır. Doğal civa içeriği havada 0,005-0,06 ng/m^3; bitkilerde 0,001-0,3 μg/g seviyelerindedir" (Atabey, 2010, s.170).

“Civa da, arsenik gibi zehirli bir elementtir. Belli bir dozdan sonra insanlarda, özellikle bebeklerde ve çocuklarda sinir sistemi, böbrek ve karaciğer hastalıklarına neden olmaktadır” (Ünalan, 2010, s. 503).

Doğada 3 değişik şekilde bulunur;

- Element şeklinde bulunan civa: Parlak, gümüş renkli ve sıvı haldedir. Çevreye zehirli gaz yayar. Sıvı civa zehirli olmadığı halde, civa gazı zehirlidir: atmosferde uzun süre kalabilir ve rüzgarlarla binlerce km taşınabilir (Ünalan, 2010, s. 503).
- İnorganik civa: Kükürt, klor ve oksijenle bileşik halde bulunur. Örnek olarak zinober (Hgs) gösterilebilir.
- Organik civa: Element şeklindeki civanın sulu ortamda, örneğin göllerde, bakteriler aracılığı ile karbonla birleşmesi sonucu oluşur. Örnek olarak metilciva (*meîhyimercury,* CH_3 Hg+) gösterilebilir. Bu organik bileşik suda yaşayan balıklar tarafından çok kolay emilen ve dokularda depolanan zehirdir. En çok köpek balığı, büyük ton balığı ve kılıç balığı gibi, balık yiyen balıklarda birikmektedir. Bitkisel gıda ile beslenen küçük balıklarda (alabalık gibi) metil civa birikimi daha düşüktür (Ünalan, 2010, s. 503).

Yeryüzünde volkanlar, canlı bitkiler, civa maden yatakları, sedimanter kayalar ve özellikle kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlar belli başlı civa kaynaklarını oluşturur. Civa, kömür içinde düşük konsantrasyonlarda olmak üzere sık rastlanır. Kömüre ait sülfit minerallerine, kil minerallerine ve organik maddeye bağlı olarak bulunur. Arsenik gibi, civa da senjenetik veya epijenetik olarak oluşabilmektedir (Ünalan, 2010, s. 503).

“Kömürdeki civanın önemli bölümünü pirite bağlı civa oluşturmaktadır. Organik madde ve kil minerallerine bağlı olarak bulunan civanın oranı düşüktür. Bir miktar civa, kalsit ve klorit içinde de bulunabilmektedir” (Ünalan, 2010, s. 504).

"Kükürt oranı yüksek olan kömürlerin genellikle civa oranları da yüksektir. Kükürt oranı azaldıkça civa oranı da azalır" (Ünalan, 2010, s. 504).

"Kömürün yanmasıyla, kapsadığı civanın % 90'ı gazlaşarak uçar. Geri kalan % 10'u kazan dibindeki külde kalır. Gazlaşan civanın küçük bir bölümü yoğunlaşarak uçucu küllere yapışır" (Ünalan, 2010, s. 504).

"Yukarıda değinildiği gibi civa, kömürden başka petrol, doğal gaz, canlı bitkiler ve sedimanter kayalar içinde de değişik oranlarda bulunmaktadır. Bunların yakılmasıyla, kapsadıkları civa gazlaşarak atmosfere çıkar" (Ünalan, 2010, s. 504).

Orman yangınları bir başka civa gazı kaynağıdır. Orman yangınlarıyla bitkilerin bünyesinde bulunan civa gazlaşır. Benzer şekilde çimento fabrikalarının bacalarından, yakılan kireçtaşları içindeki civanın gazları atmosfere atılır. Ayrıca, yakılan sanayi ve ev atıkları (çöp) da çevreye civa gazlarının yayılmasına neden olmaktadır (Ünalan, 2010, s. 504).

"ABD'de kömür kullanımından dolayı atmosfere her yıl 40 tondan fazla civa yayılmaktadır. Kuzey Amerika ve Avrupa üzerindeki havada yaklaşık 3 ng/m^3 (nanogram/m^3), Atlantik okyanusu üzerindeki havada 2 ng/m^3, güney yarıküre üzerindeki havada ise 1,3 ng/m^3 civa mevcuttur" (Ünalan, 2010, s. 504).

"Rank ayrımı yapmaksızın, kömürlerin ortalama Hg konsantrasyonu 0,10 (± 0,01) ppm'dir. Bu değer, külde Hg şeklinde ifade edildiğinde, taşkömürlerinin külünde 0,87 (± 0,08), linyitlerin külünde ise 0,62 (± 0,06) ppm'dir" (Ünalan, 2010, s. 504).

"Ren ve diğerleri (1999) ve Zhang ve diğerleri (2004)'ne göre ise kömürlerdeki ortalama Hg konsantrasyonu 0,12 ppm'dir" (Ünalan, 2010, s. 504).

"Sedimanter kayaların Hg konsantrasyonu 0,03-0,06 ppm arasındadır. Siyah renkli şeyllerin ortalaması 0,23 ± 0,03 ppm'dir. Bitki küllerinde 1.200 ppm'e kadar çıkan Hg değerleri ölçülmüş olmakla birlikte, genel olarak 0,10-1 ppm arasındadır"

(Ünalan, 2010, s. 504).

Ukrayna, eski Doğu Almanya, Çin ve ABD'deki kömürlerde yüksek oranlarda Hg birikimleri saptanmıştır. Ukrayna'da Donetsk havzasındaki linyit ve taşkömürlerinde bulunan yüksek orandaki Hg, hidrotermal cevherleşmelerle ilişkilidir. Bu ülkede yıllardır çeşitli çevre sorunlarına neden olmuştur. Yörede sülfit yatakları mevcuttur. Kömürlerdeki Hg anomalileri antiklinal yapılarda, ya da büyük fayların kesiştiği alanlarda yoğunlaşmaktadır. Havzadaki antrasitlerin Hg konsantrasyonu ortalama 2,37 ppm'dir. Donetsk dolaylarında topraklardaki civa konsantrasyonu normalden 1.000-2.000 kat daha fazladır. Havadaki civa ise normal değerin 15-20 katıdır. Bu ülkede civanın neden olduğu sağlık sorunları ile ilgili istatistik bilgilerine, gizlilik nedeniyle ulaşmak olanaksızdır (Ünalan, 2010, s. 504).

"Eski Doğu Almanya'daki Weisel havzasında Eosen-Miyosen yaşlı Geiseltam kömürlerinde ortalama 0,33 ppm (0,16-1,5 ppm) Hg tesbit edilmiştir" (Ünalan, 2010, s. 504).

Çin'de, 14 havzadan derlenen 234 kömür örneğinin Hg ortalaması 0,22 ppm'dir. Sülfit bakımından zengin ve fazla miktarda Hg kapsadığı bilinen Guizhou kömürleri (Güney Çin) ile ilgili ortalama rakam belli değildir. Bu eyaletteki antrasitler üzerinde yapılan birkaç analizde 55 ppm'e varan Hg değerleri bulunmuştur (Buradaki antrasitlerin aynı zamanda yüksek oranda As ve F içerdikleri bilinmektedir). Kömürdeki yüksek Hg birikimi yöre halkında körlüklere neden olmaktadır. Yine Guizhou eyaletinde yapılan bir başka incelemede 19 kömür sahasından derlenen 48 oluk örneğinde ortalama 0,53 ppm Hg saptanmıştır. Aynı eyalette Qianxi çöküntü alanında Triyas yaşlı 13 taşkömürü örneğinde ortalama 1,421 ppm, 47 adet Permiyen yaşlı taşkömürü ve antrasitte ise 0,821 ppm gibi çok yüksek değerler bulunmuştur (Ünalan, 2010, s. 504).

"ABD'de Meksika Körfezi çevresindeki linyitlerde ortalama Hg konsantrasyonu (248 analiz) 0,19 ppm'dir. Arkansas kömürlerinde 1 ppm'e kadar varan değerler

ölçülmüştür. ABD kömürlerinin Hg ortalaması 0,2 ppm'dir" (Ünalan, 2010, s. 505).

Kömürün yakılması sonucu çevreye yayılarak göl ve akarsulara karışan civa, metilciva şekline dönüşerek balık ve kuşların vücudunda birikmektedir. Bu gibi hayvanları uzun süre yiyenlerde (balık ve kuş avcıları gibi) görme bozuklukları meydana gelmektedir. Bunun örnekleri ABD'de görülmüştür. Hamile kadınlar ve sürekli balık avcılığı yapanlarda civa zehirlenmelerine daha sık rastlanmaktadır (Ünalan, 2010, s. 505).

Doğrudan kömür kaynaklı olmasa da, civanın neden olduğu bir çevre felaketi 1950'li yıllarda Güney Japonya'da Minamata körfezinde (Kyushu adası) yaşanmıştır. Bu körfezde kimyasal madde üretimi yapan bir fabrikadan çıkan ve yıllar boyunca denize atılan civa ile deniz kirletilmiş ve kirlenen körfez sularında tutulan balıkları ve diğer deniz ürünlerini yiyen binlerce insan zehirlenmiştir. Zehirlenenlerden 1.200'ü hayatını kaybetmiştir. Denize atılan metalik Hg, bakteriler aracılığı ile metil civaya (CH_3 Hg^+ veya Me-Hg^+) dönüşmekte ve deniz canlılarının vücudunda birikmektedir. Minamata'da deniz tabanı çökellerinde 600 ppm, balıklarda ise 20 ppm gibi çok yüksek Hg birikimleri saptanmıştır. Deniz ürünlerini yiyen insanların, özellikle çocukların beyin ve sinir sistemi tahrip olmaktadır. Minamata'da 1956 yılında keşfedilen ve algılama, duyu bozukluğu, dengesizlik felç, körlük, dizanteri gibi belirtileri olan bu hastalık Minamata hastalığı adı ile tarihe geçmiştir (Ünalan, 2010, s. 505).

"Geçmiş yıllara ait bir başka önemli civa zehirlenmesi 1972'de Irak'ta yaşanmıştır. Metilciva kapsayan mantar ilacı ile karışmış buğdayla üretilen ekmekten 6.000 kişi zehirlenmiş, yaklaşık 500 kişi hayatını kaybetmiştir." (Ünalan, 2010, s. 505).

6.2.5 Talyum (Tl)

"Talyum doğada sülfürlü ve alkali metallerin yer aldığı cevherlerde ve deniz suyunda bulunmaktadır. Talyum ile kirlenmiş bölgelerde konsantrasyonlar, havada

<1 ng/m^3, suda <1 µg/litre, sudaki çözeltilerde <1 mg/kg'dır. Bitki ve hayvan kaynaklı besinler, <1 mg/kg talyum içermektedir" (Atabey, 2010, s.185)

Beyaz-gri renkli, yumuşak, kurşuna benzeyen, 11,85 g/cm^3 yoğunluğu olan bir ağır metaldir. Önemli mineralleri kruksit *[*crooksite, $(Cu, Ag, Tl)_2$ Se], lorandit *[*iorandite, (Tl, As S_2)]ve hüçinsonit *[*hutchinsonite, $(Pb, Tl)_2$ As_5 SJ'tir. Pirit ve Cu, Pb, Zn cevherleri içinde sık rastlanır. Belli başlı bileşikleri Tl_2 0_3, Tl_2 $S0_4$, Na Tl ve Tl S'tir. Bu bileşikler çok zehirlidir. Tl_2S0_4 uzun yıllar boyunca fare zehiri olarak kullanılmış, ancak son yıllarda bu bileşiğin batı ülkelerindeki kullanımı yasaklanmıştır (Ünalan, 2010, s. 505).

"Talyum, kurşun ve çinko üretimi sırasında yan ürün olarak elde edilmektedir. Dünyanın yıllık üretimi 10-15 ton kadardır. Tıpta, cam sanayinde (dayanıklı cam üretiminde), elektronik sanayinde kullanılır" (Ünalan, 2010, s. 505).

Talyum, kömür, kiltaşı ve killi kireçtaşı gibi çökeller içinde değişik oranlarda bulunabilmektedir. Kömür kullanan termik santrallerin, çimento ve tuğla-kiremit fabrikalarının bacalarından, sıcaklık etkisiyle gazlaşmış talyum çıkmaktadır. Gaz şeklinde çıkan talyum, daha sonra soğuma ile yoğunlaşarak küllere yapışmakta ve değişik şekillerde suya ve toprağa geçmektedir. Killi, organik madde ve Fe-Mn bakımından zengin toprakların talyum konsantrasyonu daha yüksektir. Toprak ve sudan bitkilere ve hayvanların vücuduna girmektedir. Özellikle balıklarda ve tütün yapraklarında daha fazla birikmektedir (Ünalan, 2010, s. 505).

"İnsan vücuduna cildin gözenekleri, solunum ve yiyecekler aracılığı ile giren talyum sinir sistemini bozmakta ve saç dökülmelerine neden olmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 505).

"Kömürlerdeki talyum konsantrasyonu genelde 0,5-3 ppm arasında değişir. 1.000 ppm'e kadar çıkabilir. Kömür içindeki talyumun çok önemli bölümü kömürün mineral bileşenlerinden sülfitlere bağlı olarak bulunur. Diğer talyum birikimleri şöyledir" (Ünalan, 2010, s. 506).

Yer kabuğu : 0,7 ppm (0,1-1,7 ppm)

Granit : 3 ppm'e kadar

Organik madde bakımından zengin şeyl : 25 ppm'e kadar,

Toprak : 0,1-1,0 ppm

Akarsu : 0,01-1,0 ppb (ppb = milyarda bir, yani bin tonda bir gram)

Deniz suyu : 0,01-0,02 ppb,

Hava : < 1 ng/m^3(ng = milyarda bir gram) (Ünalan, 2010, s. 506).

"Guizhou'da (Güney Çin) talyum, en çok maden atıkları üzerinde yetiştirilen sebzelerin yenmesiyle insan vücuduna girmekte ve saç dökülmelerine neden olmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 506).

6.2.6 Kadminyum (Cd)

"Kadminyum çoğunlukla çinko ile birlikte bulunur. Çok yüksek oranlarda kadmiyuma bazı sülfür cevherlerinde rastlanmakla birlikte bazı topraklar, kayaçlar, kömürler ve gübrelerde de kadminyum vardır" (Atabey, 2010, s.176).

Yoğunluğu 8,65 g/cm^3 olan beyaz renkli, yumuşak, kolay şekillendirilebilen bir ağır metaldir. Isınınca gazlaşır. Kadmiyum esas olarak bir çinko minerali olan sfalerit (Zn, Fe) S ve ayrıca pirit içinde bulunur. Çinko üretiminde yan ürün olarak elde edilir. Bir ton çinko üretimi sırasında ortalama 3 kg Cd elde edilmektedir. Grinokit (greenockite, CdS) bir başka kadmiyum minerali olmasına rağmen doğada çok az bulunur (Ünalan, 2010, s. 506).

"Kadmiyum, Ni-Cd pillerinin üretiminde, televizyon ekranlarında, boya sanayinde, metal kaplamacılığında kullanılır. Cd alaşımları özellikle tuzlu suya (örneğin deniz suyu) karşı dayanıklıdır" (Ünalan, 2010, s. 506).

"Kadmiyum canlı organizmalarda birikim sağlayan son derece zehirli ve kanser yapıcı bir elementtir" (Ünalan, 2010, s. 506).

Kömür ve ham petrolde, sedimanter fosfat kayalarında bir miktar Cd bulunur. Kömür ve petrolün yakılmasıyla atmosfere, suya ve toprağa karışır. Toprağa verilen fosfatlı (sedimanter) gübreler aracılığı ile toprağa geçer. Bunlardan başka, çöplerin yakılmasıyla gazlaşır ve atmosfere çıkar. Midye gibi deniz ürünlerinde, tütün yapraklarında fazla miktarda birikim sağlar. Çay ve kahvede de bir miktar Cd bulunmaktadır (Ünalan, 2010, s. 506).

"Yer kabuğunun ortalama Cd konsantrasyonu 0,2 ppm'dir. Kömürlerdeki dünya ortalaması, Zhang ve diğerleri (2004)'e göre 0,6 ppm, Ren ve diğerleri (1999)'e göre 0,3 ppm, Wagner ve Hlatshwaya (2005)'e göre 0,2 ± 0,03 ppm'dir. Şeyllerde bu oran 0,2 ppm'dir" (Ünalan, 2010, s. 506).

"Ağız yoluyla alınan Cd sindirim organlarını, böbrekleri ve karaciğeri etkiler. Nefes yoluyla alınan Cd ise akciğerleri etkileyerek kansere neden olur. Vücuda giren Cd, yıllarca kalmakta ve dışarıya atılamamaktadır" (Ünalan, 2010, s. 506).

1946 yılında önce Japonya'da, daha sonra bazı Asya ülkelerinde görülen Itai-itai hastalığı, topraktan pirince geçen kadmiyumun neden olduğu ağrılı bir kemik hastalığıdır. Uzun süre pirinçle beslenenlerde görülür. Bu hastalıkta Cd, kemiklerdeki Ca'nın yerine geçerek kemiklerin kalsiyumsuz kalmasına ve eğrilmesine ya da kırılmasına neden olmaktadır (Ünalan, 2010, s. 506).

6.2.7 İz Elementlerin Bulunuş Şekilleri

"Kömür içinde bulunan iz elementler, ya doğrudan kömürü oluşturan bitkilerden veya çökelme ortamına ait sudan, ya da havzaya dışarıdan taşınan kırıntılardan kaynaklanır. Bu elementler kömüre ait maserallere veya minerallere (kil, karbonat, sülfit vb.) bağlı olarak bulunur" (Ünalan, 2010, s. 116).

"Taşkömürü ve belli başlı diğer sedimanter kayalar içinde çok rastlanan 14 iz lementin ortalama tenörleri mg/kg (ppm) olarak Tablo 6.2'de görülmektedir"

(Ünalan, 2010, s. 116).

"Tablo 6.5'de, taşkömürü için verilen değerler, Almanya'nın değişik havzalarına ait olup kül %10'dan az olan 102 kömür örneğinin ortalamasıdır" (Ünalan, 2010, s. 117).

"Şeyllerdeki hemen hemen tüm iz elementlerin tenörleri diğer kayalara oranla daha yüksektir. Taşkömürüne ait tenörler ise yaklaşık olarak şeyl-kireçtaşı veya şeyl-kumtaşı tenörleri arasında yer almaktadır" (Ünalan, 2010, s. 117).

"En yüksek krom, kobalt, bakır, nikel ve vanadyum birikimleri şeyllerde bulunmaktadır. Kireçtaşı ve şeyllerdeki stronsiyum konsantrasyonları, kumtaşı ve taşkömüründekine oranla çok yüksektir. Şeyllerde, kireçtaşı, kumtaşı ve taşkömürüne oranla daha fazla berilyum ve çinko bulunmaktadır" (Ünalan, 2010, s. 117).

Tablo 6.5 Sedimanter kayalar ve Almanya taşkömürlerinin ortalama iz element kapsamlarının (mg/kg) karşılaştırması (Ünalan, 2010).

İz element	Şeyl	Kireçtaşı	Kumtaşı	Taşkömürü (Almanya)
Arsenik (As)	6,6	1	1	4
Berilyum (Be)	3	<1	<1	<2
Kadmiyum(Cd)	0,3	0,04	<0,1	<0,5
Krom (Cr)	100	11	35	10
Kobalt (Co)	20	0,1	0,3	10
Bakır (Cu)	57	4	<10	20
Kurşun (Pb)	20	9	7	14
Civa (Hg)	0,4	0,04	0,03	<0,5
Molibden (Mo)	2	0,4	0,2	2
Nikel (Ni)	95	20	2	25
Stronsiyum (Sr)	450	610	20	35
Uranyum (U)	3,2	2,2	0,45	<1
Vanadyum (V)	130	20	20	30
Çinko (Zn)	80	20	15	35

Tablo 6.6'da Almanya'nın taşkömürlerinde bulunan kaolinit, illit gibi kil

minerallerine bağlı 15 iz elementin ortalama konsantrasyonları mg/kg olarak verilmiştir.

Her iki kil minerali arasında bazı iz element kapsamları bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Örneğin illit, krom, kobalt, bakır, nikel, stronsiyum, vanadyum ve çinko bakımından kaolinite oranla daha zengindir. Buna karşılık her iki kil mineralinin berilyum ve kurşun birikimleri eşit, kadmiyum, civa ve molibden birikimleri ise çok düşüktür (<1 mg/kg) (Ünalan, 2010, s. 117).

Tablo 6.7'de yine Almanya'nın taşkömürleri içindeki pirit ve karbonatlara ait ortalama iz element birikimleri görülmektedir.

Tablo 6.6 Almanya'nın taşkömürlerine ait kaolinit ve illit minerallerine bağlı iz element birikimleri

İz element	Kaolinit	İllit
Arsenik (As)	2	4
Berilyum (Be)	5	5
Kadmiyum (Cd)	<1	<1
Krom (Cr)	20	220
Kobalt (Co)	1	6
Bakır (Cu)	30	50
Kurşun (Pb)	20	20
Manganez (Mn)	10	80
Civa (Hg)	<1	<1
Molibden (Mo)	<1	<1
Nikel (Ni)	20	50
Stronsiyum (Sr)	55	160
Uranyum (U)	16	1
Vanadyum (V)	3	250
Çinko (Zn)	10	30

Epijenetik pirit ile sinjenetik piritin iz element kapsamları arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Epijenetik piritlerin kadmiyum, kurşun ve çinko tenörleri, sinjenetik pirite oranla yüksektir. Buna karşılık sinjenetik piritlerin berilyum, kobalt, molibden, nikel, stronsiyum ve vanadyum tenörleri epijenetik

piritlere göre daha yüksektir (Ünalan, 2010, s. 118).

"Taşkömürleri içindeki epijenetik kalsit örneklerinin iz element içerikleri değişkendir. Arsenik, krom, bakır, kurşun, nikel, uranyum içerikleri pirite oranla düşük, buna karşılık kadmiyum manganez, stronsiyum ve çinko konsantrasyonları ise pirite göre yüksektir" (Ünalan, 2010, s. 118).

Sinjenetik sideritin iz element oranları ise genel anlamda pirit ve kalsite göre oldukça düşüktür. Sinjenetik sideritin yalnızca arsenik kapsamı (100 mg/kg) oldukça yüksek olup piritin As kapsamına eşittir. Sülfit ve karbonatların bir kıyaslaması yapıldığında, piritin kurşun yönüyle karbonatların da manganez yönüyle daha zengin oldukları dikkati çekmektedir (Ünalan, 2010, s. 118).

Tablo 6.7 Almanya'nın taşkömürlerine ait pirit ve karbonatların ortalama iz element kapsamları (mg/kg;) (Ünalan, 2010).

İz element	Pirit		Kalsit	Siderit
	Epijenetik	Sinjenetik	Epijenetik	Sinjenetik
Arsenik (As)	98	100	12-5	100
Berilyum (Be)	<1	18	8-3	4
Kadmiyum(Cd)	24	<1	26-18	3
Krom (Cr)	-	200	70-10	130
Kobalt (Co)	45	85	75-70	45
Bakır (Cu)	620	410	180-390	100
Kurşun (Pb)	3650	1300	200-100	20
Manganez (Mn)	-	500	2800-8600	-
Civa (Hg)	6	6	6-<1	<1
Molibden (Mo)	4	70	20-4	10
Nikel (Ni)	180	360	150-60	100
Stronsiyum(Sr)	100	330	750-120	-
Uranyum (U)	-	8	6-1	<1
Vanadyum (V)	212	400	250-50	90
Çinko (Zn)	3840	300	6000-2000	350

Yukarıda sunulan tablolardaki verileri şu şekilde özetlemek olanaklıdır:

- Şeyl, kireçtaşı, kumtaşı ve taşkömürü gibi sedimanter kayalar arasında en çok iz elemente şeyller içinde rastlanmadadır.
- Arsenik, en çok pirit ve sinjenetik sideritte bulunmaktadır.
- Berilyum daha çok sinjenetik piritlerle birliktedir.
- Kadmiyum ve çinko, killerde çok az, epijenetik piritte ve epijenetik karbonatlarda fazla miktarda (26 ppm) bulunabilmektedir.
- Krom, her mineral grubunda yer almaktadır.
- Kobalt, sülfit ve karbonatlar içinde yüksek konsantrasyonlarda, kil minerallerinde ise düşük konsantrasyonlarda bulunur.
- Sülfitler içindeki bakır ve kurşun birikimleri karbonatlara ve kil minerallerine oranla daha yüksektir.
- Manganez, karbonatlar içinde yaygındır.
- Civa, killerde ppb düzeyinde, sülfitlerde ve epijenetik karbonatlarda 6 ppm seviyesinde birikim sağlamaktadır.
- Molibden, sinjenetik sülfitlerde boldur.
- Nikel, sülfitler ve karbonatlarda bol, kil minerallerinde az miktarda bulunur.
- Stronsiyum, her grupta bulunmakla birlikte, karbonatlarda daha yaygındır.
- Uranyum, genellikle az miktarda olmak üzere (16 ppm), kil minerallerinde birikim sağlar.
- Çinko, sülfitlerde ve karbonatlarda bol, kil minerallerinde az bulunur (Ünalan, 2010, s. 119).

"Ayrıca bor ve sodyum, deniz suyu baskınına uğrayan bataklıklara ait kömürlerde daha boldur. Buna karşılık bu gibi ortamlara ait kömürlerin uranyum ve toryum birikimleri, tatlı su ortamlarına ait kömürlere oranla daha düşüktür" (Ünalan, 2010, s. 119).

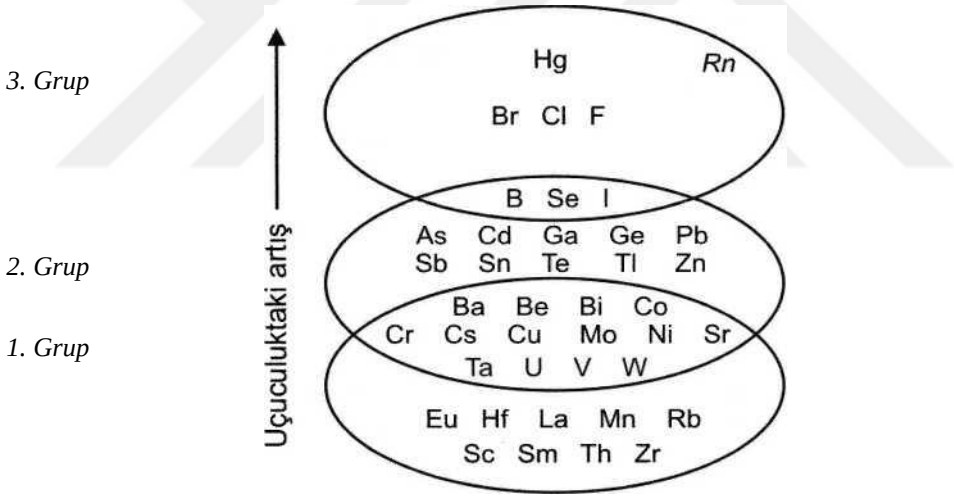
Bazı iz elementler çoğu zaman, belirli diğer elementlerle bir arada bulunur. Örneğin stronsiyum (Sr) çoğu zaman Ca ve Mg ile beraber bulunur. Rubidyum (Rb), potasyum (K) ile zirkon (Zr), fosfor (P) ve hafniyum (Hf) ile birliktedir. Seryum (Ce), lantan (La) ve neodim (Nd) çoğu ranan biri diğerine eşlik eden nadir toprak elementleridir. Aynı şekilde germanyum (Ge) galyuma (Ga) eşlik eder.

Krom (Cr), vanadyum (V), toryum (Th) ve kalay (Sn) genellikle bir arada bulunur. Kobalt (Co) demir (Fe) ile, arsenik (As) ve selenyum (Se) pirit (FeS_2) ile, titan (Ti) ise kaolinit ile birlikte bulunur (Ünalan, 2010, s. 119).

Organik maddeye bağlı iz elementleri organik maddeden ayırmak zordur. Bunlar ancak kimyasal madde kullanarak, yıkama (leaching) yoluyla ayrılabilmektedir. Buna karşılık kil minerallerine veya pirite bağlı olan iz elementleri kömürden ayırmak daha kolaydır (Ünalan, 2010, s. 119).

6.2.8 İz Elementlerin Isı Karşısındaki Davranışları

İz elementler ısı karşısındaki davranışlarına göre 3 grupta toplanır (Şekil 6.1).



Şekil 6.1- İz elementlerin ısı karşısındaki davranışlarına göre gruplandırılması (Ünalan, 2010).

- Birinci Grup iz elementler (Eu, Hf, La, Mn, Rb vb.) kömürün yanmasıyla katı halde kalarak doğrudan küle karışır (Ünalan, 2010, s. 120).
- İkinci Grup iz elementler (As, Cd, Ga, Ge, Pb vb.) yanma ile gaz haline geçer; ancak bacadan atıldıktan sonra yoğunlaşarak, uçucu küllere yapışır ve bir süre sonra tekrar yeryüzüne iner (Ünalan, 2010, s. 120).
- Üçüncü Grup iz elementler (Hg, Br, Cl, F, Rn vb.) kömürün yanmasıyla gaz

haline dönüşerek, bacadan atmosfere atılır (Ünalan, 2010, s. 120).

Gaz haline geçen iz elementler çevre üzerinde en fazla etkili olanlardır.

Yukarıda belirtilen iz element grupları arasındaki sınırlar örtüşmelidir. Ba, Be, Bi, Co, Cr, Cu, Mo vb. elementler hem birinci, hem de ikinci gruba girmekte; B, Se, I gibi elementler ise hem ikinci hem de üçüncü gruba dahil olabilmektedir. Örnekle açıklamak gerekirse, kömür içinde bulunabilen Ba, Be, Bi, Co vb. elementler kömürün yanması sonucu, bacadan gaz şeklinde çıktıkları halde, havada yoğunlaşarak uçucu küllere yapışır ve yeryüzüne iner; ya da yanma ile birlikte doğrudan kazan dibinde biriken küllere katılır (Ünalan, 2010, s. 120).

"Bir başka örnek olarak B, Se ve I gösterilebilir. Bunlar da yakıldıklarında ya tamamen gazlaşarak atmosfere çıkmakta ya da bacadan gaz şeklinde atıldıktan sonra havada yoğunlaşarak kömür tozlarına yapışmakta ve yeryüzüne katı madde olarak inmektedir" (Ünalan, 2010, s. 120).

"Kömüre dayalı modern termik santrallarda bulunan elektrofiltreler ile yanan kömürden çıkan tozlar (uçucu kül) %95'ten daha büyük bir oranda tutulmakta ve bunların atmosfere çıkışları engellenmektedir" (Ünalan, 2010, s. 120).

Yukarıda adı geçen iz elementlerden bir bölümü (Pb, Hg, As, Se, Tl) ağır metaldir. Zehirli olan bu elementlerin yoğunlukları > 5g/cm^3'tür. Bir kısmı da ağır metal veya metalik element olmadığı halde (F gibi) yine de çevre için büyük tehlike oluşturabilen elementlerdir. Bu elementlerin bazıları doğal olaylara (volkanizma, kayaların ayrışması gibi), diğerleri ise insan etkinliklerine bağlı olarak (kömür ve petrol kullanımı, çöplerin yakılması gibi) havaya, suya ve toprağa geçmekte ve daha sonra insan vücuduna girerek, birçoğu ölümle sonuçlanan hastalıklara neden olmaktadır (Ünalan, 2010, s. 120).

6.3 Kömürün Mineral Maddesi

İçerdiği mineral madde, kömürün üretimini, hazırlanmasını ve kullanımını etkilemektedir. Bu işlemlerin başarısı, kömürün içerdiği mineral maddenin özelliklerine bağlıdır. Kömür hazırlama tekniklerinin etkinlikleri ne olursa olsun, daima önemli miktarda mineral madde kömürde kalmakta ve kömürün kullanımında önemli rol oynamaktadır. Kömür, bir yakma ünitesinde yakıldığında, içerdiği mineral madde önemli değişikliklere uğrayarak; klinker oluşumu, korozyon, cüruf ve kurum gibi sorunlar yaratmaktadır. Kömürün temiz yakıtlara dönüştürülmesi amacıyla uygulanan, sıvılaştırma, gazlaştırma ve piroliz işlemleri de kömürün içerdiği mineral maddenin miktarından, türünden ve dağılımından önemli ölçüde etkilenmektedir. Kömürün içerdiği mineral maddeden kaynaklanan sorunların azaltılabilmesi için, kullanılan kömürün mineral madde içeriği konusunda yeterli bilgi sahibi olmak gerekmektedir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.139).

Mineral madde, kömürdeki inorganik minerallerin ve elementlerin toplamı olarak göz önüne alınmaktadır. Organik olarak bağ yapan karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt dışındaki tüm elementler, bu sınıflandırmaya göre mineral madde olarak tanımlanmaktadır. Genelde organik olarak kabul edilen bu beş elementin dördü, kömürde inorganik kombinasyon halinde de bulunmaktadır. Kalsiyum, magnezyum ve demir karbonatlarda karbon; serbest su ve hidrat suyu olarak hidrojen; oksitlerde, suda, sülfatlarda ve silikatlarda oksijen; sülfürler ve sülfatlarda kükürt bulunmaktadır. Organik yapıyla bağ yapmış inorganik maddeler de mineral madde olarak nitelendirilir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.139).

"Kömürdeki mineral madde, çıplak gözle görülebilecek büyüklükten, optik mikroskopla veya elektron mikroskobu ile görülebilen mikron boyutlarına kadar, çeşitli büyüklüklerde olabilmektedir" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.139).

6.4 Kömürdeki Mineral Bileşenlerin Sınıflandırılması

Kömürün içerdiği mineral madde, çok çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadır; ancak, pratikte aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yararlı olmaktadır;

- Bünye mineral maddesi
- Dış mineral madde (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.139).

"Bünye mineral maddesi, turbaya ve daha sonra kömüre dönüşen bitkilerin inorganik kısmından kaynaklanmaktadır" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.139).

"Dış mineral madde, oluşumu tamamlandıktan sonra kömüre katılmıştır. Dış mineral madde kömürün organik yapısına dağılmamış olduğundan, fiziksel yöntemlerle kömürden uzaklaştırılabil- mektedir (Lowry, 1963). Ancak, bünye mineral maddesi, kömür zenginleştirme yöntemleriyle uzaklaştırılamamaktadır" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.139).

Diğer bir sınıflandırmaya göre ise mineral madde,

- Kökenlerine
- Kömüre katıldıkları zamana veya
- Kömürdeki derişimlerine göre sınıflandırılmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.139).

6.4.1 Kökenlerine Göre Sınıflandırma

Kömür mineralleri kökenlerine göre üç gruba ayrılabilmektedir:

"Aşınma kökenli: Bu gruba giren mineral maddenin kaynağı, turbanın oluştuğu bataklığın dışındadır ve tanecikler, su veya rüzgâr yardımıyla bataklığa taşınmıştır. Killi mineraller ile kuvarsın aşınma kökenli olduğu kabul edilmektedir" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

Bitkisel kökenli*:* Bu grubu oluşturan mineraller, bataklık bitkilerinin inorganik bileşenlerinden kaynaklanmaktadır. Bütün bitkiler inorganik madde içerirler; içerdiği inorganik madde miktarı ve bileşimi, bitkinin türüne, dokusuna, yetiştiği toprağa ve iklime bağlı olarak değişmektedir. En az inorganik madde derişimine odunun dokusu sahiptir (kuru bazda ortalama < %1-2). Bitkilerin kabuk ve yaprakları daha fazla inorganik madde içerirler; örneğin yaprakların kuru bazdaki kül içeriği %15-20 kadardır. Bitkisel kökenli mineral madde; demir, fosfor, kalsiyum, potasyum ve magnezyumca zengindir; çünkü, bu elementler bitkinin yaşaması için gereklidir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

"Kükürt, bitkilerin beslenmeleri için gerekli bir element olduğundan, kükürt bileşiklerinin kömürde bulunması şaşırtıcı değildir. Bataklık bitkilerinin odunsu dokusundaki alumina ve silika derişimi yüksektir" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

Kimyasal kökenli: Bu tür mineraller, bataklık sulu çözeltisinde bulunan maddelerden kaynaklanmaktadır. Kömürün bünyesindeki minerallerin, inorganik maddelerin kimyasal olarak çökmeleri veya çözeltiler ile turba veya kömürde önceden varolan organik veya inorganik maddelerin tepkimeye girmesi sonucunda oluştuğu kabul edilmektedir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

Sulu çözeltideki iyonların kaynağı çeşitlidir. Kaynaklardan biri, bataklık çevresindeki kayalardan yer altı veya yüzey sularıyla bataklığa taşman iyonlardır. Çözünmüş maddelerin diğer kaynağı ise, bataklığın içindedir; bitkilerin bozunması sonucu bitki dokusunda bulunan ve suda çözünebilen maddeler de çözeltiye geçmektedir. Bitkisel maddelerin organik bileşenlerinin bazıları da bozunma sırasında organometalik bileşikler halinde çözeltiye geçer. Kömürün içerdiği pirit ve karbonatlar bu tür minerallerdendir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

6.4.2 Kömüre Katıldıkları Zamana Göre Sınıflandırma

Mineraller, kömüre tüm oluşum aşamalarında katılırlar; fakat kömüre mineral madde girişi iki önemli dönemde gerçekleşmektedir. Kömürün içerdiği mineralleri iki gruba ayırmıştır:

Singenetik mineraller: Turba birikimi aşamasından yumuşak linyit oluşumuna kadar olan süreçte kömüre katılmış olan mineral madde bu grubu oluşturmaktadır. Bu tanıma göre kömürün içerdiği minerallerin çoğu singenetiktir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

Epigenetik mineraller: Sertleşme başladıktan sonra epigenetik faz başlamıştır. Kömürün organik kısmı inertleşerek, çözeltilerden etkilenmeyecek duruma gelmiştir. Kömür yatağında oluşan önemli çatlaklar, mineral oluşturucu iyonları içeren yer altı sularının yatağa girmesine neden olmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

"Karbonatlar, sülfür mineralleri ve kuvars, hem singenetik hem de epigenetik kökenli; kil mineralleri singenetik; tuz mineralleri ise epigenetik kaynaklıdır" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

Bataklığın pH'ı kömürün mineral maddesini kontrol eden önemli bir faktördür. Düşük pH koşullarında demir, Fe^{++} durumuna indirgenmekte ve asitte çözünebilen fazlar ekstrakte olduğundan sülfatı indirgeyen bakteriler olumsuz yönde etkilenmektedir; bu da fermantasyonu engellemektedir. Asidik bataklık sularında oluşan kömürlerin mineral maddesi, karbonatlarca zengindir; buna karşın, nötr pH aralığındaki su koşullarında oluşan kömürlerde, karbonat ve disülfürlerin miktarları birbirine yakındır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.140).

6.4.3 Kömürdeki Derişimlerine Göre Sınıflandırma

Kömür minerallerinin sınıflandırılması genellikle kömürdeki derişimleri temel alınarak yapılmaktadır; ancak çeşitli sınıflandırmaların dayandırıldıkları derişim

sınırları farklıdır. Kömürün içerdiği mineral maddeyi majör, minör ve iz mineraller olmak üzere üç gruba ayırmıştır. Majör mineraller, kömürdeki toplam mineral maddenin % 10'undan fazlasını oluşturan bileşiklerdir. Minör mineral maddenin derişimleri %1-2'dir; iz minerallerinki ise % l'in altındadır. İz mineraller bitkisel kökenlidir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.141).

6.5 Kömürün İçerdiği Mineral Bileşenler

Kömürün içerdiği mineral maddenin %95'inden fazlasını majör bileşenler oluşturmaktadır. Majör bileşenler dört gruba ayrılmaktadır;

"Killi mineraller: İllit, kaolinit, montmorillonit ve illit-montmorillonitlerin karışımı olarak ortaya çıkan aluminasilikatlar, toplam mineral maddenin %50'sini teşkil etmektedir" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.141).

Karbonat mineralleri: Kalsit, siderit, dolomit ve ankeritin yanı sıra kalsiyum, demir, magnezyum ve manganın çeşitli kompleks karbonatları da kömürün içerdiği majör bileşenlerdendir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.141).

Kükürtlü mineraller: Sülfür ve sülfat mineralleri bu grupta yer alan minerallerdir. Genellikle FeS_2'nin iki kristal şekli olan pirit ve markazit, kükürtlü mineralleri oluşturur; piritin kristal şekli kübik, markazitinki ise rombiktir. Sülfat minerallerinin büyük bölümünü ise, kalsiyum ve demirin çeşitli sülfat bileşikleri meydana getirmektedir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.141).

Silikat mineralleri: Büyük miktarı kuvars şeklinde ortaya çıkmakta ve toplam mineral maddenin %15-20'sini oluşturmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.141).

Minör bileşenler ve iz mineraller, periyodik cetveldeki elementlerin birçoğunu içermektedir. Potasyum, sodyum, titan ve zirkon silikat fazında derişik halde bulunurken; arsenik, kadmiyum, bakır, kurşun, cıva ve selenyum, sülfür oluşturma eğiliminde olup FeSx ile birlikte bulunmaktadır. Berilyum, bor ve germanyum,

kömürün organik kısmına dağılmış halde bulunurken; arsenik, kadmiyum, kurşun, mangan, cıva, molibden, çinko ve zirkonyum genellikle inorganik kısımda görülmektedir. Ayrıca kömürde; klorür, oksit, hidroksit ve fosfat bileşikleri halinde de mineraller bulunmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.141).

6.6 Mineral Maddenin Kömür Kullanımına Etkileri

6.6.1 Karbonizasyona Etkisi

"Mineral maddesi giderilmiş İspanyol kömürlerine, ağırlıkça %5 oranında kattıkları çinko klorürün karbonizasyon ürünlerine etkisini incelemiş ve bu maddenin hidrojen çıkışını artırdığı, katran oluşum verimini ise düşürdüğü sonucuna varmışlardır" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.143).

"Montana linyitinden karboksilik fonksiyonel grupları ile katranın çıkışına, iyon değişimi yöntemiyle kömüre katılmış olan kalsiyum iyonunun etkisini incelemişler ve hem dekarboksilasyonun hem de katran çıkışının olumsuz etkilendiğini saptamışlardır" (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.143).

Mineral maddesi giderilmiş *Texas* linyitini, sodyum, potasyum, magnezyum, kalsiyum ve baryum asetat çözeltileri ile muamele ederek karbonizasyona uğratmışlardır. Kömüre katılan bu katyonların, gaz ürünün bileşimini etkilediğini ve özellikle karbondioksit ile hidrojen derişiminin arttığını; toplam ağırlık kaybında ise önemli bir değişiklik olmadığını belirlemişlerdir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.143).

Çeşitli linyit kömürlerinin mineral maddesini giderdikten sonra, bakır, demir, kurşun, çinko, nikel, kobalt ve kalsiyum katyonlarını yükleyerek, ısıl analiz yöntemleri yardımıyla, karbonizasyona olan etkilerini araştırmışlardır. Bakır, demir ve kurşun katyonlarının, kullanıldıkları linyit kömürlerinin karbonizasyonunu en fazla etkileyen metal iyonları olduğu sonucuna varmışlar ve aktivasyon enerjilerine olan etkilerini de ölçmüşlerdir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.143).

Potasyum karbonatın bir Rus kömürünün karbonizasyonuna etkisini araştırmışlar ve katran ile gaz ürün oluşum sıcaklıklarında düşme olduğu sonucuna varmışlardır.

Bir başka araştırmada ise, karbonizasyona uğratılan kömüre, çinko klorür ve alüminyum klorür ilavelerinin, ağırlık kayıp hızlarının maksimum olduğu sıcaklığın ve maksimum ağırlık kayıp hızlarının düşmesine neden olduğu; katran çıkış veriminin azaldığı; gaz çıkış veriminin ise yükseldiği sonucuna varılmıştır. Gaz ürünün bileşimi, çinko klorür ilavesinden önemli ölçüde etkilenmiştir ve H_2/CH_4 oranı yaklaşık 0,3'ten 2,0'a çıkmıştır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.143).

Üç sodyum bileşiğinin (sodyum hidroksit, sodyum karbonat ve sodyum klorür) kömürün karbonizasyonuna etkisini araştırmışlardır. Her üç bileşikle de birincil katran veriminde düşme; gaz ve düşük sıcaklıkta kaynayan hidrokarbon bileşikleri verimlerinde artma; yüksek sıcaklıkta kaynayan hidrokarbon bileşikleri verimlerinde azalma ve doymamış hidrokarbon bileşikleri verimlerinde ise artma olduğunu saptamışlardır. Gaz ürünlerin hidrojen içeriğinde artış, metan içeriğinde ise azalma görülmüştür (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.144).

Türkiye'nin on bir değişik yöresinden toplanmış olan linyit kömürü numunelerinin içerdikleri minerallerin karbonizasyona etkileri araştırılmıştır. Düşük sıcaklık karbonizasyon işleminin, linyit numunelerinin mineral içeriğinden etkilenmediği; ancak, orta ve yüksek sıcaklık karbonizasyonu uygulanırken, numunenin mineral içeriğinin önem kazandığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuç, linyit numunelerinin mineral içeriklerinin giderilmesinin, gaz ürün çıkışında azalmaya neden olması ile açıklanmıştır. Ayrıca, linyitin potasyum içeriğinin artmasının, gaz ürün verimini de artırdığı saptanmıştır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.144).

6.6.2 Yanmaya Etkisi ve Yakma Sistemlerinde Yarattığı Sorunlar

Kömürdeki enerjiden yararlanmayı amaçlayan işlemlerin çoğuna olumsuz etki gösteren inorganik bileşenlerin birçoğu kömürde bulunmaktadır. Kömür ısıtıldığında, bu inorganik bileşenler, katı, sıvı ve uçucu türlerinin kompleks bir karışımını veren dönüşüm ve tepkimeler gösterirler. Bu türler, cüruf-kurum birikimine, korozyona, kirliliğe ve diğer sorunlara neden olurlar. Bu tür sorunlarla genellikle termik santrallerde karşılaşılmasına karşın, kömürün gazlaştırılmasında ve sıvılaştırılmasında, koklaştırmada ve çelik üretiminde de benzer sorunlar ortaya çıkmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.144).

Kül, kömürün içerdiği mineral maddenin, tam yanma sonucu bazı temel değişikliklere uğramasıyla oluşan bir artıktır. Külün kökeni, kömürün içerdiği mineral madde olduğundan, özellikleri mineral maddenin bileşimine ve oksidasyonun gerçekleştirildiği şartlara bağlıdır. Yakma sisteminin tasarımının yapılabilmesi, işletilebilmesi ve kömürlerin optimum harmanlama oranlarının belirlenebilmesi için, kullanılacak kömürün külünün erime özelliklerinin ve cürufunun viskozitesinin önceden bilinmesi gereklidir. Her iki özellik de külün bileşimiyle yakından ilgilidir. Kömür külünün bileşimi ve yakma sistemlerinde yaratılan kirlilik, cüruf oluşturucu ve korozif etkiyi belirleyici rol oynar (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.144).

Kömür külünün erime sıcaklığı, öncelikle kimyasal bileşimine bağlıdır; ancak, külün bileşimi geniş bir aralıkta değiştiğinden, erime özellikleri de önemli farklılıklar göstermektedir. Türkiye'nin yirmi dört değişik yöresinden toplanmış olan linyit kömürlerinin küllerinin erime sıcaklıkları ile bileşimleri arasındaki ilişkiler araştırılmış ve külün; Na_2O, K_2O, CaO ve MgO içeriklerinin artmasının, erime sıcaklığında düşüşe neden olduğu saptanmıştır. Mineral maddenin yüksek erime sıcaklığına sahip ince taneli küle dönüşmesiyle uçucu kül meydana gelmektedir. Oluşan bu uçucu kül, fırın içinden ince tanecikleri uzaklaştırmak için tasarlanmış bazı donanımlara doğru hareket eder. Külün erime sıcaklığı düşükse, tanecikler yumuşamakta ve yapışkan hale gelerek yakma sisteminin duvarlarına

yapışabilmekte veya fırın boşluğundaki borular üzerinde birikebilmektedir. Uçucu külün ve biriken tortuların varlığı, ısı iletimini ve istim üretimini düşürmekte; fırın boşluğundaki gaz akımına engel olmakta ve fırının iç kısımlarında aşındırıcı etkilere yol açmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.144).

Kömürün külü, yakma sistemlerinde erime eğilimi gösterdiğinden ve sıvı bir cüruf oluşturduğundan, kömürün yakıt olarak değerini önemli ölçüde etkiler. Erimiş cüruf kütlesi içinde kalan yanmamış karbon, yanma veriminin düşmesine neden olur. Yakma sistemlerindeki ızgaraların hava geçişleri, erimiş veya yarı erimiş kül ya da külü oluşturan mineral madde karışımları ile tıkanınca yanma verimi düşer ve baca kayıpları artar. Erimiş cüruf, refrakter malzemeye zarar verebilir. Kömürün yakma sistemlerinde oluşturduğu sorunlar çeşitli etkenlere bağlıdır. Bu etkenleri şu şekilde özetlemek mümkündür (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.144).

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

Kömürün yanabilen kısmı yanıp uzaklaşınca, kül tanecikleri daha çok birbirlerine yaklaşırlar ve ızgarada az veya çok sinterleşmiş bir karışım oluştururlar ki, bu durum sorun yaratmaz. Yakma bölgesindeki sıcaklık, külü eritecek kadar yüksek olmasına rağmen, cüruf habbeciklerinin yerçekimi etkisiyle yakıt yatağında aşağıya doğru göçmesini sağlayacak kadar yüksek değilse, erimiş ve az hareketli bir cüruf oluşur ve bu cüruf yakma bölgesinden aşağıya doğru indikçe büyük bir kütle meydana gelir. Eğer kömürün külü çok ise, bu kütle hava akımını keser veya en azından yanma veriminin düşmesine neden olur. Eğer yakma sistemindeki

sıcaklık yeterince yüksek ise, cürufun viskozitesi, küreciklerin kendi ağırlıklarının etkisiyle aşağıya doğru hareket etmelerini sağlayacak kadar düşer. Bu durumda, kömür taneciği yanarken dış yüzeyde erimiş ve yanma sürerken büyüyen bir cüruf küreciği oluşur. Bu kürecik, artan boyutu ve yakıt taneciğinin yüzeyinin küçülmesi nedeniyle patlayarak aşağı akar. Bir engel ile karşılaşmaması halinde, ızgara aralığından geçerek küllüğe ulaşır ve hemen donarak küçük, camsı klinker oluşturur. Öte yandan, eğer aşağı doğru akmaya başlayan cüruf küreciği ızgaraya ulaşmadan engellerle karşılaşırsa ve o bölgede sıcaklık düşükse, klinkerleşme ızgara üstünde olur (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.145).

Küldeki, demir oranı yüksek kömürler, toz kömür yakma sistemlerinde şiddetli cüruf oluşumuna neden olurlar. Bu tip kömürler, özellikle siklon ocaklarda yakılamazlar. Tortu oluşumu, ısı taşınımını azalttığı ve korozif bölgeler oluşturduğu için çalışma verimi düşer. Gevşek bağlı tortuların uzaklaştırılması, kazan çalışırken kurum üfleyici yardımıyla gerçekleştirilebilir; ancak, sert tortuların çok miktarda toplanması kazan verimini etkiler (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.145).

“Bir kömürün, bir yakıcıda sürekli olarak kolayca yakılıp yakılamayacağını belirlemede, içerdiği mineral türlerinin özellikleri çok önemlidir. Minerallerin, düşük erime sıcaklığına sahip inorganik bileşiklere hangi ölçüde dönüştüğü dikkatle izlenmelidir” (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.145).

“Bazı kömür külü tanecikleri, ısıtıcı içindeki metal parçacıklarını aşındırma özelliğine sahiptir. Özellikle sert kül tanecikleri, fırın ve ısıtıcı yüzeylerine çarptığında önemli aşınmalara neden olmaktadır” (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.145).

“Alkali elementlerin ve özellikle belirli kömürlerde klor ile birlikte bulunan sodyum elementinin, bakım masraflarını artıran, aşındırıcı etkisi vardır. Klorlu bileşikler, kömür kullanılan donanımların hızla aşınmasına neden olmaktadır” (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.145).

Toz kömür yakılması sırasında, kömür alevinin içinde bulunduğu atmosferik koşullar, demirin kararlı iyonik formunun Fe^{++} olmasından ötürü indirgeyici olarak göz önüne alınmaktadır. Kül tanecikleri alev bölgesini terk ettikten sonra, daha oksitleyici bir çevre ile karşılaşmakta ve havanın yakıta olan oranına bağlı olarak, demirin başlıca Fe^{+++} veya Fe^{++} ile Fe^{+++}'in bir karışımı halinde olabildiği birikimleri ve uçucu külü oluşturmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.145).

Kurum, genellikle konvektif ısı iletim yüzeylerinde, düşük sıcaklıklarda (873-1.273 K) oluşmaktadır. Alkali elementler (sodyum, potasyum), bu tür birikimlerin oluşmasındaki başlıca etkenlerdir. Bu elementler, alev içerisinde uçucu hale gelmektedir. Organik olarak bağ yapmış, alkaliler 1.673-1.773 K'lik alev sıcaklıklarında kolayca uçucu faza geçmektedir. Bitümlü kömürlerde, sodyumun en yaygın şekli olan sodyum klorür, bu şekilde davranmaktadır. İllitin içerdiği potasyumun kolayca uçucu hale gelemeyeceği beklenebilir; çünkü illit bu sıcaklıklarda kolayca, erimiş cürufa dönüşmektedir. Bu nedenlerden ötürü, kömürün suda çözünen alkali içeriği, toplam alkali içeriğine oranla daha güvenilir bir kurum göstergesi olarak gözönüne alınmaktadır. Bu birikimler, özellikle, yumuşak ve oldukça viskoz taneciklerin sıcak metal yüzeylerinde bozunması ve yapışmasından kaynaklanmaktadır. 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 sülfat veya alüminyum sülfatları içermektedir (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.145).

Türk linyitlerinin mineral içeriklerinin yanma özelliklerine etkilerini araştırmak amacıyla gerçekleştirilen çalışmalarda varılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir.

- Linyit numunelerinin (CaO), ($Ca0+Na_20$), ($Ca0+Na_20+K_20$) ve ($Ca0+Na_20+K_20+Mg0$) içeriklerinin artması, diferansiyel ısıl analiz cihazıyla saptanan tutuşma sıcaklığında düşüş olmasına neden olmaktadır; en büyük

etkiye ($Ca0+Na_20$) içeriği sahiptir

- Linyit numunelerinin (CaO), ($Ca0+Na_20$), ($Ca0+Na_20+K_20$) ve ($CaO+Na_20+K_20+MgO$) içeriklerinin artması, yanma ısılarını verme hızını artırmaktadır; en büyük etkiye ($CaO+Na_20+ K_2O + MgO$) içeriği sahiptir. Numunelerin mineral içeriklerinin giderilmesi ise yanma ısılarım yayma hızını önemli ölçüde yavaşlatmaktadır
- Mineral maddenin linyit numunelerinin yanma hızına etkileri, sıcaklığın yükselmesiyle artmaktadır
- Mineral maddenin giderilmesi, linyit numunelerinin yanma eğrilerinin daha yüksek sıcaklıklara kaymasına neden olmaktadır (Yaman ve Küçükbayrak, 1998, s.146).

6.7 Kömürün Yakılması Sırasında Çevreye Olan Olumsuz Etkiler

Kömürün, enerji üretimi amacıyla çeşitli yakma sistemlerinde yakılması, önemli ölçüde çevre kirliliği yaratmaktadır. Kömürün yakılması sonucu oluşan; karbondioksit, karbonmonoksit, kükürt oksitler, azot oksitler gibi çeşitli gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri, başlıca hava kirliliği kaynaklarıdır. Yanma gazları ile atmosfere atılan bu kirleticiler, güneş ışığının etkisiyle veya atmosferde bulunan diğer bileşiklerle tepkimeye girerek; ozon, aerosol, nitrat, nitrit ve çeşitli asitler gibi ikincil kirleticileri de oluşturmaktadırlar (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

Yanma gazlarının atmosfere yayınımı sonucu oluşan hava kirliliğinin, canlı ve cansız varlıklar üzerinde çok olumsuz etkileri olduğu bilinmektedir. Solunan hava içerisinde bulunan zararlı maddeler, ağız, burun, nefes borusu ve akciğer yolu ile insan vücuduna girerek kana karışmakta ve birçok sağlık problemleri yaratmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

Kükürt ve azot oksitlerinin, bulutlarda bulunan yağmur damlacıkları ile birleşmeleri sonucu asit yağmurları ve asit sisleri oluşmaktadır. Kuru veya yaş asit birikimi sonucunda, alıcı ortamın özelliklerine de bağlı olarak, toprak ve su

asidifikasyonu olarak bilinen durum ortaya çıkmaktadır. Bu olay, suda yaşayan canlıların ve toprak üzerindeki bitki örtüsünün büyük ölçüde zarar görmesine, hatta yok olmasına neden olmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

Asit yağmurlarının, nehirlere ve göllere, ormana ve bitki örtüsüne, binalara ve insan sağlığına olan zararlı etkileri üzerine, sürekli, araştırmalar yapılmakta ve raporlar hazırlanmaktadır. Avrupa ülkeleri içerisinde, İskandinav ülkeleri ve Almanya'nın; Kuzey Amerika'da ise, Birleşik Devletler'in kuzeydoğusu ile Kanada'nm asit yağmurlarından en çok etkilenen yerler olduğu belirtilmiştir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

Asit yağmurlarının çevreye verdiği zararlarla ilgili ilk önemli rapor, Birleşmiş Milletler'in, 1972 yılında, Stockholm'de düzenlediği konferansta sunulmuş ve İsveç'teki göllerde asidifikasyon sonucu meydana gelen fazla miktardaki balık ölümüne dikkat çekilmiştir. Nehir ve göl sularının sahip olduğu kimyasal özelliklerin asit yağmurlarmm etkisiyle değişmesi sonucu, sudaki canlı hayatının öldüğü bilinmektedir. Balık ölümlerine neden olan en önemli etken, toprakta bulunan alüminyumun, asit yağmurlarının etkisiyle serbest hale geçmesidir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

Yapılan ölçümler, Norveç'te, 13 bin km^2'lik alana sahip sulardaki balıkların tamamının yok olduğunu; buna ilâve olarak, 20 bin km^2'lik bir alanın da belirli bir dereceye kadar etkilendiğini göstermiştir. İsveç'te, 14 bin göldeki canlı hayatı çok büyük ölçüde zarar görmüş; bunun dışında, 2.200 tanesinde ise canlı hayatı tamamen yok olmuştur. Kanada'da, 14 binden fazla göl, asidik hale gelmiş, bunların 1/7'si, biyolojik olarak çok fazla zarar görmüştür. ABD'de, Çevre Koruma Kuruluşu, toplam 1.000 tane asidifiye olmuş, 3.000 tane de az miktarda asidik gölün varlığını saptamışlardır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

Asit yağmurlarının, ormana ve bitki örtüsüne de önemli ölçüde zarar verdiği

bilinmektedir. Avrupa kıtasında bulunan ormanların %35'inin, asit yağmurlarından zarar gördüğü ortaya konmuştur. Bu sorun, özellikle, ormanların %52'sinin zarar gördüğü Almanya'da, önemli ölçüde dikkat çekmiştir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

"Kömürün yakılması sonucu oluşan kirleticiler ve bunların miktarı; kullanılan yakma ünitesinin boyutuna, yakma yöntemine, yakıtın bileşimine, kullanılan kontrol cihazlarının etkinliğine ve çalışma şartlarına bağlı olarak değişmektedir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

6.7.1 Kükürt Oksitlerinin Yayınımı

"Özel tedbirler alınmadığı takdirde, kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt oksitlerin miktarı, kömürün yanar kükürt içeriği ile doğru orantılıdır. Kömürün içerdiği kükürt türleri; organik ve inorganik olmak üzere iki çeşittir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.574).

Kömürde, hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir. Kalsiyum, demir, bakır ve magnezyum tuzları halinde bulunabilen sülfat kükürdü, gevşek kristaller halindedir. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır; fakat, hava ile temas ettikçe artar. Disülfür kükürdünü, büyük ölçüde, demir sülfürün iki kristal şekli olan pirit ve markazit oluşturur (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.575).

Kömür yanarken, içerdiği kükürtlü bileşikler de yanar. Kükürdün, yüksek sıcaklıklarda kararlı olan bileşiği kükürtdioksittir; ancak, nispeten az miktarda kükürttrioksit de oluşmaktadır. Genellikle, kömürün içerdiği kükürdün %92-98 kadarı kükürtdioksite, ortalama %5 kadarı da kükürttrioksite dönüşmektedir. Yanma sırasında oluşan kükürttrioksitin miktarı, yakma ünitesindeki sıcaklık profiline ve hava fazlasına bağlıdır. Kükürttrioksitin, suyla hızla tepkimeye girerek sülfürik asidi oluşturduğu bilinmektedir. Kömürün yanması sonucu oluşan kükürt oksitlerin bir kısmı, yakma sistemindeki kül tarafından kimyasal olarak

tutularak sülfatları oluşturmaktadır. Tutulan kükürt oksitlerin miktarı, oluşan külün bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.575).

"Yapılan araştırmalar, kükürtdioksit ve kükürttrioksidin daha çok üst solunum yollarında, keskin, boğucu ve tahriş edici etki yaptığını göstermiştir. Kükürtoksitler bu etkileri nedeniyle, özellikle, akciğer yetmezliği ve solunum sistemi hastaları için çok tehlikelidir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.575).

"Kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt oksitlerin yayınımını azaltmak veya tamamen önlemek amacıyla uygulanabilecek işlemleri dört ana grupta toplamak mümkündür" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.575).

- Kömürün, temiz sıvı veya gaz yakıtlara dönüştürülmesi
- Kömürün kükürdünün, yakıt olarak kullanılmadan önce azaltılması
- Kömürün yakılması sırasında, katkı maddeleri kullanılarak, oluşan kükürtdioksidin tutulması
- Kömür yakıldıktan sonra oluşan baca gazlarının temizlenmesi suretiyle kükürtdioksit içeriğinin azaltılması

6.7.2 Azot Oksitlerinin Yayınımı

Azot oksitler, bütün fosil yakıtların yakılması sonucunda oluşmaktadır. Bu bileşikler, hem yakıtın içerdiği organik azotun, hem de yakma havasındaki azotun, oksijen ile tepkimesi sonucunda oluşmaktadır. Azot oksitlerin oluşumu, yakma sisteminin sıcaklığı 1.300°C'ı geçtiği takdirde, öncelikle, besleme havasındaki moleküler azottan kaynaklanmaktadır. Yakıta kimyasal olarak bağlı bulunan azot da, azot oksit yayınımına katkıda bulunmakta ve yakma havasındaki moleküler azota kıyasla oksijen ile daha kolay tepkimeye girmektedir. Alev sıcaklığı, alevdeki mevcut hava fazlası ve yanma gazlarının alev sıcaklığına maruz kaldığı süre, azot oksitlerin oluşumunu etkileyen temel faktörlerdir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.576).

“Çevreye yayılan azot oksitlerin miktarı; yakma sisteminin tasarımına, yakıcının tipine ve boyutuna, yakma yöntemine, soğutma yüzeyinin alanına, çalışma şartlarına (yakıt besleme hızı, hava/yakıt oranı gibi) da bağlıdır. Büyük yakma üniteleri, yüksek sıcaklıklarda çalıştırılırsa, azot oksit oluşumu artar” (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.576).

Yakıt olarak ağırlıkça % l-2 oranında azot içeren kömürün kullanıldığı yakma sisteminin tipine bağlı olarak oluşan azot oksitlerin miktarındaki değerler incelendiğinde, akışkan yataklı yakıcılardan olan yayınımın daha düşük olduğu görülmektedir. Bu sistemlerde, yanmanın gerçekleştiği sıcaklık düşük olduğu için, yakma havasındaki azot, oksijen ile tepkimeye girmemektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.576).

Yakıtların yanma ürünü olan azot oksitlerin, derişimi en yüksek iki bileşeni azotmonoksit ve azotdioksit’tir. Güç santrallerinin baca gazındaki azot oksitlerin yaklaşık %95’ini azotmonoksit, %5’ini ise azotdioksit oluşturmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.576).

“Azotmonoksit, atmosferdeki oksijenle tepkimeye girerek azotdioksidi oluşturur. Bu oksitlerin, atmosferde ortalama kalma süreleri yaklaşık bir haftadır; büyük bir kısmı, asit veya nitratlar halinde çökerek kirliliğe neden olur” (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.576).

Atmosferdeki azot oksitler, fotokimyasal smog (FS) adı verilen ikincil kirleticilerin oluşumuna da katkıda bulunurlar. Azot oksit, en önemli, akciğer tahriş edicisidir ve akciğer dokularının sertleşip kırılganlaşmasına neden olarak, akciğer kanseri ve anfizem gibi çok tehlikeli hastalıklara yol açabilir. Ayrıca, kandaki hemoglobinle binleşerek, kanın oksijen taşıma kapasitesini düşürür (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.576).

Hemoglobinin azotdiokside olan ilgisi, oksijene olan ilgisinin 300 bin katı

kadardır; bu ilgi, kanın oksijen taşıma kapasitesini hızla düşürmektedir. Azotmonoksit ve azotdioksit, 50 ppm'in üzerindeki derişimlerde bu etkiyi göstermektedir; ancak, atmosferdeki derişimleri, genellikle bu seviyenin altında olduğundan, esas olarak, akciğer ve solunum sistemi üzerinde olumsuz etkileri vardır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.577).

6.7.3 Karbonmonoksit Yayınımı

"Karbonmonoksit, kömürün sınırlı miktarda hava ile kısmi yanma ürünüdür ve atmosferde karbodiokside dönüşür. Yanma, maksimum verimle gerçekleştirilirse karbonmonoksit yayınımı en düşük düzeye indirilebilir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.577).

Güç santralleri, genellikle, yanma olayı iyi kontrol edilerek çalıştırılır. Bu nedenle, oluşan karbonmonoksidin çoğu karbondiokside dönüşür. Yanma maksimum verimle gerçekleştirilirse, hiç karbonmonoksit yayınımı olmaz. El ile yüklemeli kömür yakma sistemlerinden yayılan karbonmonoksit miktarı, toz kömür yakma sistemlerinkinin doksan katı kadar olabilmektedir. Karbonmonoksidin kendisi, 10,04 MJ/kg'lık ısıl değere sahip bir yakıttır ve yakma sisteminde yanmış olmalıdır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.577).

Karbonmonoksit, insanı ölüme götürebilen bir gazdır; baş ağrısı, görme netliğinde azalma, adaleler arası koordinasyon eksikliği ve kandaki oksijen derişiminde azalma gibi sağlık sorunları yaratır; hemoglobinin karbonmonoksit ile birleşme hızı oksijeninkinden 300 kat fazladır; bu nedenle, oksijen yerine karbonmonoksit absorplanır ve kanın oksijen taşıma kapasitesi düşer. Solunan havada bulunan karbonmonoksit, aşağıdaki tepkimeye göre oksihemoglobindeki (O_2Hb) oksijenin yerini alarak, karboksihemoglobini (COHb) oluşturur (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.577).

Bu tepkime tersinir olduğundan, hemoglobin ile birleşen karbonmonoksit, temiz

bir ortamda, 3-4 saat içinde, alveollerden dışarıya atılabilir. Normal, sağlıklı bir insanda, dış kaynaklardan bağımsız olarak, %0,4 seviyesinde COHb bulunur. Bu seviye, sigara dumanı, egzoz ve baca gazları gibi dış kaynaklardan gelen karbonmonoksit ile sağlıklı insanda %2,5'a kadar yükselebilir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.577).

6.7.4 Karbondioksit Yayınımı

"Karbonlu yakıtların yakılması sonucu oluşan karbondioksit, atmosferin, doğal olarak oluşan bir bileşenidir. Karbondioksit, atmosferden, biyolojik çevrim ve okyanuslarda çözünme sonucu uzaklaşır; fakat, bu prosesler, nispeten yavaştır ve insanlar tarafından oluşturulanın yaklaşık yarısı atmosferde kalır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.577).

Atmosferdeki karbondioksidin derişiminin artması, yaptığı sera etkisi ve oksijen derişimini düşürmesi nedenleriyle istenmez. Atmosferde bulunan karbondioksit, güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına izin verir; ancak, yeryüzünden yansıyan ışınları tutar ve yeryüzünün ısınmasına, atmosferin ise soğumasına neden olur. Karbondioksit gazının bu etkisi, sera etkisi olarak bilinmektedir; çünkü, seralardaki cam aynı görevi yapmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.577).

Karbondioksit gazı, 1980'li yıllarda, radyatif kuvvetlenmenin (küresel ısınmanın) yaklaşık yarısından sorumlu tutulmaktadır. Atmosferdeki sera gazı birikimlerinin, buzul çağları boyunca doğal olarak değiştiği, Sanayi Devrimi'nden bin yıl önce, göreceli olarak durağan olduğu ve Sanayi Devrimi ile birlikte hızlı bir artış gösterdiği ortaya çıkmıştır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

Karbondioksidin havadaki derişimi, geçen yüzyılın ortalarından 1990 yılma kadar, yaklaşık 280 ppm'den 353 ppm'e yükselmiştir ve bu artış devam etmektedir (IPCC, 1992). Bu artışın nedenleri; fosil yakıtların kullanılması, orman yangınları, topraktaki organik maddelerin havayla temasları sonucu çürümeleri ve ormanların

azalmasıdır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

Karbondioksidin yarattığı sera etkisinin, dünyanın ısınmasına ve iklimlerin değişmesine neden olacağı açıktır. Yapılan ölçümler, yerküre sıcaklığının, 1860 yılından itibaren 0,5-0,7°C arttığını göstermiştir. 1900 yılı başlangıç alındığında, küresel kayıtlarda gözlenen ısınma, biri 1910 ve 1940 arasında, öteki 1975 yılından günümüze kadar süren iki periyotta toplanmıştır. 1980'li yıllardaki belirgin ısınma, 1990 ve 1991 yıllarında da sürmüştür. Bu iki yıl, uzun süreli küresel ortalama dizisinin en sıcak iki yılı olarak kabul edilmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

"Çeşitli araştırmacılar, karbondioksit yayınımının bugünkü hızla devam etmesi halinde, ortalama sıcaklık artışının 2080 yılında en az 3, belki de 6°C olacağını; sıcaklığın bu ölçüde artmasının ise ekolojik dengeyi bozacağını ileri sürmüşlerdir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

Sıcaklıktaki bu değişime bağlı olarak, iklim kuşaklan ve ekosistemler de değişime uğrayacaktır. Meydana gelecek global ısınma, okyanus sularının genişlemesine, buzulların erimesine ve denizlerdeki su seviyesinin yükselmesiyle kara parçalarının sular altında kalmasına neden olacaktır. Yapılan tahminlere göre, deniz seviyeleri, 2025 yılında 26-39 cm, 2075 yılında ise 91-136 cm yükselecektir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

"Ayrıca, 1992 yılında gerçekleştirilen. Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli'nde (IPCC), sera etkisi ile ilgili olarak, farklı senaryolara göre, aşağıda özetlenen öngörüler yapılmıştır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

- Küresel ısınma öngörüleri:

Eğer, sera gazı yayınımlarındaki artışın gelecekte de bugünkü düzeyde süreceği kabul edilirse (A senaryosu); XXI. yüzyıl süresince, küresel ortalama sıcaklıktaki artış oranı, tahminen her on yıl için yaklaşık 0,3°C olacaktır. Bunun sonucunda, küresel ortalama hava sıcaklığında, günümüze oranla, 2025 yılına kadar, yaklaşık

1°C ve XXI. yüzyılın sonuna kadar 3°C'lık bir artış olabilecektir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

"Sera gazı yayınımlarındaki artışın belirli oranlarda kontrol edilebileceğini kabul eden senaryolara (B, C ve D senaryoları) göre, küresel ortalama sıcaklıktaki artış, her on yıl için sırasıyla; 0,2°C, 0,1 °C ve yaklaşık 0,1 °C dolayında olacaktır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

- Deniz seviyesi yükselmesi öngörüleri:

A senaryosuna göre; küresel deniz seviyesindeki ortalama yükselme oranı, XXI. yüzyılda, her on yıl için yaklaşık 6 cm olacaktır. Böylece, küresel deniz seviyesindeki ortalama yükselme, 2030 yılına kadar 65 cm'ye ulaşabilecektir. Ancak, hem deniz seviyesi yükselmesi hem de sıcaklık artışı öngörüleri için, bölgesel değişiklikler olması beklenmelidir. Deniz seviyesi yükselmesi tahminleri, esas olarak, okyanusların termal genişlemesi ve buzulların erimesinden kaynaklanan pozitif katkılara dayanılarak geliştirilmiştir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

"Diğer senaryolara göre (B, C ve D); küresel olarak ortalama deniz seviyesinde, her on yıl için yükselme oranları, sırasıyla; 4,5 cm, 3.5 cm ve 3 cm kadar olacaktır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

Kömürün tam yanma ürünlerinden olan karbodioksidin yayınımını kontrol etmeye yönelik pratik bir yöntem mevcut değildir. Oluşan karbondioksidin, okyanuslarda çözündürülerek yok edilmesi, uygulanması düşünülen bir yöntemdir ancak pratik değildir. Diğer bir seçenek ise, fosil enerji kaynakları yerine, yenilenebilir veya nükleer enerji kaynaklarının kullanılmasıdır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.578).

6.7.5 Hidrokarbon Yayınımı

Kömürün yakılması sonucu oluşan baca gazları, eser miktarda oluşmuş çeşitli polistik aramatik bileşikleri içeren kompleks organik gazları da içermektedir.

Fosil yakıtlar, maksimum verimle yakılmaz ise, karbonmonoksidin yanı sıra hidrokarbonlar ve diğer organik maddeler de yayılır. Yakma verimi, yakıtın türü ve yakma sisteminin tasarımı, hidrokarbon yayınımını etkiler (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.579).

Her fosil yakıtın yanması sonucu, iki veya daha fazla aromatik halka içeren, çok sayıda bileşik oluşur. Polisiklik organik madde yayınımı ile diğer yayınımlar kıyaslandığında, baca gazındaki karbonmonoksit ve toplam hidrokarbon miktarı fazla olunca, bu yayınım oranının da yüksek olduğu saptanmıştır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.579).

6.7.6 Tanecik Yayınımı

Kömürün yanması sonucu yayılan taneciklerin çoğu inorganik yapıdadır ve kömürün içerdiği minerallerden kaynaklanır. Yakma öncesi kömürün sahip olduğu tanecik boyutu, yakma sisteminin özellikleri, yakma yöntemi ve çalışma şartları, tanecik yayınımını etkiler. Kömürün, yakılmadan önceki öğütülmesinin derecesi ve yakınanın tipi, baca gazlarındaki tanecik dağılımına da etki yapar. Kömürün yakılması sonucu oluşan katı atıklar, boyutları esas alınarak, atmosfere taşınacak kadar küçük olup olmadıklarına göre sınıflandırılır. Atmosfere taşınan küçük partiküliler, yine boyutlarına ve teneffüs edilebilir olup olmamasına göre sınıflandırılır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.579).

"Kömür yakma sistemlerinden, baca gazı ile taşınarak atmosfere yayılan katı tanecikler, aşağıdaki şekilde sınıflandırılmaktadır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.579).

- Grit. Tanecik çapı 75 µm'den büyük olan, koklaşmış ve tamamen yanmamış kömür taneciklerinden oluşmuş partiküller
- Toz: Tanecik boyutu, 1-75 µm arasında değişen ve esas olarak külden oluşmuş partiküller
- Duman: Yakıtın tam yanmaması sonucu oluşan kompleks karbonlu

bileşiklerden ibaret, tanecik boyutu 1 μm'den küçük olan partiküller

- Kurum: Birbirine yapışmış, katranlı yarı kok tanecikleri

"Genellikle, tanecik boyutu 15 μm'den küçük olan ve uzun süre atmosferde kalan tanecikler, solunum ile vücuda girer. Kömür yakılan sistemlerden yayılan taneciklerin %35'i, 3 μm'den küçüktür ve ortalama tanecik çapı da 4,9 μm civarındadır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.579).

Tanecik yayınımını kontrol etmek amacıyla aşağıdaki sistemler kullanılmaktadır

- Siklonlar: Gaz akımına bir dönme hareketi vererek, santrifüj ve yer çekimi kuvvetleri yardımıyla taneciklerin ayrılmasını sağlarlar. Ucuz, basit, güvenilir, enerji kaybı az ve çok miktarda tanecik yüklenmesini kaldırabilen cihazlardır. Genellikle, büyük boyutlu taneciklerin tutulması için ön tutucu olarak kullanılırlar. Tanecik boyutu 5-10 μm'ye kadar olan katı partikülleri tutabilirler ve toplam tutma etkinlikleri %80-90 arasında değişir.
- Islak gaz temizleyiciler: Sprey halinde su kullanılarak, tane boyutu 2 μm'den büyük olan taneciklerin yaklaşık %99'unu tutabilen cihazlardır. Ancak, gaz ve sudaki basınç kayıplan nedeniyle, enerji tüketimleri oldukça yüksektir. Su içindeki taneciklerin alınabilmesi için, su, temizleme ünitesi gerekmektedir. Tanecikleri sıyırmak için kullanılan su sistemde, korozyon ve sis oluşumu gibi olumsuz etkiler yaratabilmektedir.
- Elektrostatik toz tutucular: Toz tanecikler elektrikle yüklenerek, bu taneciklerin metal plâkalara yapışması sağlanır. Belirli zamanlarda katman halinde toplanan bu, tozların plâkalara titreşim uygulayarak düşmesi sağlanır. Bu tutucuların enerji tüketimleri oldukça düşüktür ve basınç kayıpları çok azdır. Genellikle, toz tutulmasında en son aşama olarak kullanılırlar ve toplam tutma etkinlikleri %99,5 değerinin üzerine çıkabilmektedir.
- Torba fitreler: Bu teknik, toz toplamada en etkin olanıdır. Büyük bir tesis, için torba filtre ile toz toplama ünitesi, tipik olarak, her biri 30 cm çapında ve 10 m uzunluğunda olan binlerce torba içerir. Bu sistemlerin ilk yatırım masrafı, elektrostatik toz tutma sistemininki ile yaklaşık aynı olmasına rağmen, işletme masrafı yaklaşık iki katıdır. Her iki teknik de, 0,1-0,3 μm boyutuna kadar olan

taneciklerin tutulmasında daha etkindir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.579).

Toz kömür yakma sistemlerinde, baca gazı ile taşınan taneciklerin tutulması amacıyla elektrostatik toz tutucular, veya torba filtrelerin kullanılması daha uygundur. Diğer yakma sistemlerinde ise; daha büyük boyuta sahip kömür kullanıldığından, tanecik yayınımı daha azdır. Bu sistemlerde, tanecik yayınımını önlemek amacıyla siklonlar kullanılmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.580).

Yanma sonucu oluşan ve yakıcıda kalan kül veya ergimiş kül ise, hava kirletici olarak değil, toprak ve su kirletici olarak düşünülür. Kül ve cürufun, atık olarak karada toplanması, bölge sularının kirlenmesine neden olmaktadır. Bu atıkların, yağmur sularıyla ekstraksiyona uğraması sonucu, hem yüzey hem de yer altı suları kirlenmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.580).

6.7.7 Diğer Kirleticiler

"Kömürün yakılması sonucu çevre kirliliği yaratan temel kirleticilere ilâveten çevreye yayılan diğer kirleticiler şunlardır: Asit sisi, eser elementler, radyoaktif atomlar ve atık ısı" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.580).

"Asit sisleri; sıcaklığın düşük olması nedeniyle, kükürt oksitler ile azot oksitleri absorplayan su damlacıklarının oluşabildiği güç santrali bacalarının çıkışı yakınında oluşmaktadır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.580).

Kömürde çok sayıda eser element vardır. Hg, Zn, Cd, As, Pb, Mn, Mo, Co, Ni, Cr, Se ve Cu, kömürün inorganik kısmında; Ge, Be ve B genellikle organik kısmında; P, Ga, Ti, Sb ve V ise hem organik hem de inorganik kısmında bulunur. Genellikle, kömürün içerdiği mineral maddelerle birlikte bulunan bu elementlerin çevre kirliliğine katkısı iki yolla olmaktadır (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.580).

- Külün veya maden artıklarının yağmur suları ile ekstraksiyonu
- Yakma sistemlerinden baca gazı ile atmosfere taşınım

"Fosil yakıt ile çalışan modern bir güç santralinin maksimum termal verimi %35'tir; yani sisteme giren ısı enerjisinin minimum %65'i, atık ısı olarak çevreye verilmektedir" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.581).

Termik santrallerde atık olarak çevreye verilen ısının yaklaşık %15'i, baca gazıyla doğrudan atmosfere atılırken; %85'i su ile uzaklaştırılmaktadır. Atılan ısı miktarı, doğrudan, sistemin verimliliğine bağlıdır. Soğutma kulelerinden alman sıcak suyun, nehir veya göllere verilmesi sonucu sıcaklığın artması, suyun yoğunluğunun, viskozitesinin, yüzey geriliminin ve oksijen çözebilme kapasitesinin azalmasına neden olur. Hızlı sıcaklık değişimleri, balıkları ve diğer su canlılarını olumsuz yönde etkiler. Ayrıca, soğutma kulelerinden buhar halinde atmosfere verilen su, iklim değişikliğine neden olur (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1998, s.581).

BÖLÜM YEDİ
KÖMÜR VE ÇEVRE

7.1 Giriş

"Enerji üretimi, dağıtımı ve tüketimi, endüstrileşmiş toplum yaşantısının en temel ögelerindendir. Enerji, insan hayatının ve başarısının olduğu kadar, çevre rehabilitasyonun da önemli bir bileşenidir. Ancak, yaşam standardı yükseltilir ve ekonomi geliştirilirken çevre de korunmalıdır" (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1991, s.571).

En yaygın olarak bulunan fosil yakıtlardan biri olan kömürün, kullanılabilir enerjiye dönüştürülmesi; üretim, hazırlama, taşıma, depolama ve yakma gibi çeşitli süreçlerleri içerir. Bu süreçlerin hepsinde, çevre, az veya çok, olumsuz yönde etkilenmektedir. Rezervi en yüksek fosil enerji kaynağımız olan kömür, günümüz koşullarında ve kısa vadede vazgeçmiyeceğimiz bir enerji kaynağı durumundadır. Bu nedenle, enerji üretimi amacıyla kömür kullanımı ile ilgili kararlar alınırken, geniş kapsamlı bir çevre analizinin yapılması gerekmektedir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1991, s.571).

Dünyada her yıl yaklaşık 3 milyar Tep (Ton petrol eşdeğeri) kömür (linyit, taşkömürü, antrasit) üretilmekte ve tüketilmektedir. 2008 yılı dünya kömür üretim ve tüketimi sırasıyla 3.325 milyon Tep ve 3.304 milyon Tep olarak gerçekleşmiştir. Tüketim sürekli olarak artmaktadır. Son yıllarda bazı Avrupa ülkelerinde (Belçika, Danimarka, Fransa, Ingiltere) nükleer enerji, doğal gaz ve yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının yaygınlaşmasından dolayı, kömür üretimi ve tüketimi oransal olarak bir miktar azalmış ve bazı ülkelerde üretim tamamen durdurulmuş olsa da, diğer birçok ülkede ve de dünyada üretim ve tüketim artmaya devam etmektedir. Çin, Hindistan, Avustralya, Rusya ve Güney Afrika önemli kömür rezervlerine sahip olan ülkelerden olup enerji gereksinimlerinin çok büyük bir bölümünü bu kaynaktan sağlayan ülkelerdir (Ünalan, 2010, s. 473).

"Kömür madenciliği, diğer birçok madencilik sahasında olduğu gibi, üretimden tüketime kadar her aşamada çevreyi şu veya bu şekilde etkileyen bir madencilik türüdür. Bu etkileri şu şekilde özetlemek olanaklıdır" (Ünalan, 2010, s. 473).

- Üretimi ve taşınması aşamalarında, kömürden yayılan CH_4 ve ayrıca kömürün yakılması sırasında oluşarak atmosfere yayılan $C0_2$, SO_x, NO_x gibi gazlardan $C0_2$ birer sera gazıdır. Bu gazlar atmosferin sera etkisini artırarak küresel ısınmaya neden olmaktadır. SO_x ve NO_x gazları sera gazı olmasalar da, atmosferi kirleten ve asit yağmurlarına neden olan gazlardır.
- Özellikle Pliyosen yaşlı genç linyitler içinde bulunan bazı hidrokarbonlar (polycyciic aromatic hydrocarbons, kısaca PAH) birçok hastalıklara neden olabilmektedir.
- Yine kömür içinde bulunabilen F, As, Se, Hg, Ti, Cd gibi bazı iz elementler belli bir konsantrasyondan sonra, çeşitli hastalıklara yol açabilmektedir.

Kömür yakılan güç santralleri, kül halinde eser miktarda, uranyum, toryum ve bunların parçalanma ürünlerinin de dahil olduğu radyoaktif atomları yayarlar. Kömürün uçucu külü, fuel-oilinkinin yaklaşık on katı kadar daha fazla Radon 226 içerir. Kömürün içerdiği Radon 226'nın parçalanması sonucu oluşan Radon 222'nin yayınımı önemlidir; çünkü kömür yandıktan yıllar sonra bile çıkmaya devam eder. Radyoaktif elementlerin diğer bir kirleticiye etkisi, bunların yağmur suları ile kömür külü yığınlarından ekstraksiyonu sonucu yer altı sularının kirlenmesidir (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1991, s.580).

Kömürün içerdiği radyoaktif elementlerin çoğu, yakma sonrasında külde kaldığı için, kömür külü, kömürün kendisinden daha radyoaktiftir. Ancak, yapılan çeşitli araştırmalarda bu radyoaktifliğin, granit, şist, bazalt ve kil gibi kayaçlardan daha fazla olmadığı sonucuna varılmıştır. İngiltere ve Amerika'da yapılmış araştırmalarda, güç santrallerinde çalışanların ve bu santrallerin yakınında yaşayanların maruz kaldığı radyasyona, bu etkilerin söz konusu olmadığı yerlerde yaşayanların doğal olarak maruz kaldığı radyasyon karşılaştırılmıştır. Bu araştırmalarda, 1.000 MW'lık bir güç santralinin sürekli çalıştığı ve izin verilen

maksimum seviyede tanecik yayınımı yaptığı varsayılmıştır. Sonuç olarak; toprağın radyoaktivitesinin %1 oranında arttırmak için 100 yıl gibi bir süre geçmesi gerektiği belirlenmiştir. Bu araştırmanın sonuçlarına göre, kömürle çalışan güç santrallerinden kaynaklanan radyasyonun etkisi önemsenmeyecek ölçüde azdır. Fosil yakıtların yakılması sonucu açığa çıkan ısı enerjisi, sonuçta çevreye transfer olur. Konutların ısıtılması, ulaşım gibi amaçlarla, tüketim sonrası çevreye verilen ısının geniş alanlara yayılması nedeniyle önemli bir etki söz konusu değildir; ancak termik santraller gibi büyük ölçüde enerji dönüşümünün gerçekleştirildiği sistemlerden yayılan atık ısı, doğal yapıda bazı değişiklere neden olur (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1991, s.580).

Fosil yakıt ile çalışan modern bir güç santralinin maksimum termal verimi %35'tir; yani sisteme giren ısı enerjisinin minimum %65'i, atık ısı olarak çevreye verilmektedir. Termik santrallerde atık olarak çevreye verilen ısının yaklaşık %15'i, baca gazıyla doğrudan atmosfere atılırken; %85'i su ile uzaklaştırılmaktadır. Atılan ısı miktarı, doğrudan, sistemin verimliliğine bağlıdır. Soğutma kulelerinden alınan sıcak suyun, nehir veya göllere verilmesi sonucu sıcaklığın artması, suyun yoğunluğunun, viskozitesinin, yüzey gerilimin ve oksijen çözebilme kapasitesinin azalmasına neden olur. Hızlı sıcaklı değişimleri, balıkları ve diğer su canlılarını olumsuz yönde etkiler. Ayrıca, soğutma kulelerinden buhar halinde atmosfere verilen su, iklim değişikliğine neden olur (Meriçboyu, Beker ve Küçükbayrak, 1991, s.581).

Çevre üzerindeki etkileri ne olursa olsun, bütün dünyada olduğu gibi Türkiye'de de kömür üretimi ve tüketimi önümüzdeki uzun yıllar boyunca devam edecektir. Çünkü bugünkü dünya enerji tüketiminde %29, Türkiye'nin enerji tüketiminde ise %28 gibi çok önemli bir paya sahip olan kömürün (linyit, taşkömürü vb.) yerini alabilecek bir enerji kaynağı henüz mevcut değildir. Diğer yandan bir süre önce, kendi topraklarındaki bazı kömür yataklarında, çevre kaygılarından dolayı hatta ekonomik nedenlerle üretimi durduran İngiltere, Fransa gibi Avrupa ülkelerinde bile bugün "kömürün geri dönüşü" şeklinde nitelendirilen bazı gelişmeler yaşanmaktadır. Adı geçen ülkelerde önceki yıllarda üretim yapılan ya da hiç

üretime alınmamış bazı kömür sahalarının üretime alınmaları kararlaştırılmış olup bu doğrultudaki çalışmaların hızla sürdürüldüğü bilinmektedir. Dolayısıyla dünyada olduğu gibi Türkiye'de de henüz keşfedilmemiş olan kömür yataklarının aranması, bilinen sahaların geliştirilmesi ve varlığı belirlenen rezervlerin bir an önce ekonomiye kazandırılmasına yönelik çalışmaların da hızla sürdürülmesi gerekli görülmektedir. Kaldı ki, daha sonra da açıklanacağı gibi, kömürün çevre üzerindeki olumsuz etkilerini en aza indiren ve birçok ülkede yıllardan beri uygulamada olan teknolojiler geliştirilmiş olup bunların yenilerinin hayata geçirilmesi konusunda da yoğun araştırmaların yapıldığı bilinmektedir (Ünalan, 2010, s. 474).

7.2 Temiz Kömür Teknolojileri

Kömürün çevre üzerindeki olumsuz etkilerini yok etmek veya en aza indirmek için birçok teknoloji geliştirilmiştir. Temiz Kömür Teknolojileri adı altında toplanan bu teknolojiler aşağıda maddeler şeklinde ve ana batlarıyla sıralanmıştır.

- Yıkama : Yıkanan kömür, mineral maddelerinden (pirit vb.) önemli ölçüde arındırılmakta, dolayısıyla kül oranı ve $S0_2$ emisyonu daha düşük olan kömür elde edilmektedir. Kömürün yıkanması, gelişmiş ülkelerde standart uygulamalardan biridir.
- Elektrostatik filtre: Termik santrallerde bacadan çıkan uçucu külün % 97-99,5 gibi önemli bölümünü tutarak atmosfere yayılmasını önler. Birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır.
- Baca gazı desülfürizasyon ünitesi: Termik santrallerin baca gazında bulunan $S0_2$'nin %99 oranında tutulmasını sağlar. Gelişmiş ülkelerde mutlaka uygulanmaktadır.
- Düşük- NO_x kazanları: Kömürün yanma sıcaklığı düşük tutularak NO_x emisyonu % 40 oranında azaltılmaktadır.
- Akışkan yataklı termik santraller: Dünyadaki uygulamalarına 1970'li yıllarda başlanmış olan bu santrallerde yanma verimi yüksek, buna karşılık NO_x ve SO_x emisyonları düşüktür. Yanma sıcaklığı düşük (800-900 °C) tutulduğu için NO_x

gazlarının oluşması engellenmektedir. Ayrıca kazana kireçtaşı veya dolomit ilave edilmesiyle de SO_x gazlan, Ca ile birleşerek jipse dönüştürülmekte ve sonuçta SO_x gazları kazan içinde tutulmuş olmaktadır. (Ünalan, 2010, s. 507).

Kömür yakan elektrik santrallerinde kullanılan yeni teknolojilerle santral verimi arttırılmakta ve emisyonlar azaltılmaktadır. Halen OECD de ortalama %38 olan elektrik üretim verimi, basınçlı akışkan yatak uygulamasıyla %45'e ulaşmıştır. Pulverize yakıt ileri yakma tekniği kullanan santrallerde, 250 bar basınç ve 550 °C sıcaklıkta buhar kullanılarak, %48 verim elde edilmektedir. Sıcaklığın 700 °C'ye çıkarılması ile verimin %55'e kadaryükseltilebileceği belirtilmektedir. Türkiye'de kömür yakan santrallerde çevrim veriminin ortalama %27 olduğu belirtilmektedir (Önal ve Doğan, 2006, s.65).

"Verimin artması ile üretilen elektriğin ünitesi başına daha az kömür kullanılacağından, emisyonlar (CO_2,NO_x,SO_x ve parça) %30 azalmakta ve üretim maliyeti %50 düşmektedir" (Ünalan, 2010, s. 507).

"Termik santrallerde baca gazı arıtma tesisleri, desülfürizasyon tesisleri için yaklaşık olarak santral bedelinin %8-12 arasında bir yatırım tutarına ihtiyaç vardır. Akışkan yataklı santrallerde kömürden başka, yakıt olarak bitümlü şist, turba, çöp, ağaç atıkları ve benzeri yakıtları kullanmak olanaklıdır" (Ünalan, 2010, s. 507).

- Kömürün yer üstünde ve yer altında gazlaştırılması
- IGCC (Integrated Gasification Combined Cycle = Entegre Kömür Gazlaştırma Kombine Çevrim) santralleri: bu santrallerde kömür önce gazlaştırmakta, elde edilen gaz (H_2, CO) yakıt olarak kullanılmaktadır. 1990'dan sonra ABD, Hollanda, Almanya, İspanya gibi bazı gelişmiş ülkelerde kurulan bu santrallerin enerji verimliliği yüksektir. Toz, SO_x ve NO_x emisyonları yok denecek kadar azdır.
- CO_2'nin yer altına basılması (CO_2 reenjeksiyonu veya CO_2 sequestration): Kökeni ne olursa olsun, yüzeydeki $C0_2$'nin yer altına, örneğin petrol sahalarında hazne kaya içine, kömür gazı (CBM = coal bed methane) üretim

sahalarında ise kömür seviyesine veya yer altındaki gözenekli ve kırıklı bir seviyeye basılmasıdır. Petrol sahalarında hazne kaya içine basılan CO_2 petrol verimini, benzer şekilde kömür seviyesine basılan CO_2, kömürün metan verimini artırmaktadır. Bu şekilde bir yandan CO_2'nin atmosfere yayılması önlenirken diğer yandan sahaların petrol veya metan verimleri artırılmaktadır (Ünalan, 2010, s. 507).

Kömürle çalışan bir termik santral bacasından çıkan CO_2'nin atmosfere verilmesi yerine, yeraltına basılmasına yönelik olarak dünyadaki ilk uygulama 2008 yılı Eylül ayında Almanya'da başlamıştır. Bu uygulamada, ülkenin doğusunda (Eski Doğu Almanya) linyite dayalı 30 MW gücündeki Spremberg pilot termik santralinden çıkan CO_2 önce sıvılaştırılmakta; ardından boru hattıyla 240 km taşınarak, terk edilmiş bir doğal gaz sahasında 3.000 m derindeki hazne kaya içine basılmaktadır. Bu proje, bir İsveç firması olan Vattenfall tarafından 70 milyon avro tutarındaki bir yatırımla gerçekleştirilmiştir (Ünalan, 2010, s. 507).

Önümüzdeki uzun bir dönem boyunca, dünya kömür tüketiminin giderek artacağı dikkate alındığında, temiz kömür teknolojilerinin de buna paralel olarak çeşitlenmesi ve ülke bazındaki uygulamalarının da bir yerde zorunlu hale gelmesi beklenmektedir. Konuyla ilgili olarak dünyada çok sayıda ve büyük boyutlu araştırmalar yapılmaktadır. Yılda 95 milyon tondan fazla kömür (linyit, taşkömürü) tüketen ve Kyoto Protokolü'ne katılma kararı almış olan Türkiye'nin de bu konuyu ele alması ve gereken bilimsel araştırmaları, teknoloji geliştirme çalışmalarını İlgili kurumların katılımıyla ulusal projeler şeklinde yürütmesinde büyük yarar görülmektedir (Ünalan, 2010, s. 508).

Kömür madenlerdeki işletimi aşamasından, yanması sonucu atmosfere salınan toz ve gazlara kadar son derece kirletici bir enerji kaynağıdır. Üretimden tüketimin son aşamasına kadar her aşamada kirletir. Madencilik faaliyetleri sonucu oluşan asitik çözeltilerin kontrolsüz bir biçimde nehir ve ırmaklara drenajından, yandığında kansere yol açan dioksin ve diğer toksinlerin açığa çıkmasına ve insan sağlığını tehdit eden kirletici gazlarla toz parçacıklarına kadar kirlilik yaratan bir

süreçtir. Karşı karşıya kaldığımız en büyük çevresel korku olan iklim değişikliğine en büyük katkıyı yapan enerji kaynağıdır. Karbon yoğunluğu en fazla olan fosil yakıttır. "Temiz kömür" kömürün bu kirli imajım gidermeye yönelik bir çabadır. "Temiz kömür teknolojisi" kirletmeyi önlemeyi amaçlayan teknolojilere işaret etmektedir. Ancak, bu kömür santrallerinin temiz olacağı anlamına gelmez. "Temiz kömür" yöntemleri kirleticileri yalnızca bir kanaldan başka kanala yönlendirmektedir, nihayetinde bu kirleticiler atmosfere salınmaktadır. Kömür her yakıldığında kirleticiler açığa çıkar ve öyle ya da böyle bir yere gider. Bu kirleticiler, külün içinde, sera gazları ile, deşarj edilen suda veya cüruf içinde açığa çıkabilir. Ama sonuçta, hala çevreyi kirletmeye devam edecektir (MMO, 2015, s.109).

Temiz kömür kavramı, iklim ve çevre üzerindeki kömürün kullanımından kaynaklanan her türlü olumsuz etkinin en aza indirilmesi için tasarlanmış varolan tüm teknoloji ve stratejileri içermekte olup sürekli olarak yeni teknolojiler geliştiren ve bu teknolojileri özümseyen dinamik bir süreçtir. Bununla birlikte, yapısal durumuna bağlı olarak, farklı hedefleri takip ederek, kömürü çevreyle uyumlu bir şekilde kullamnak isteyen kömür endüstrisine de olanak sağlamaktadır (MMO, 2015, s.109).

Temiz kömür yalnızca teknolojik gelişme ile sınırlandırılamaz. Aynı zamanda, fosil kaynaklı enerjiyi kullanırken, zorunlu olarak istenen değişik taleplere de sosyo-ekonomik bir çözüm sunmaktadır. Temiz kömür, kömürün, bir ana yakıt olarak, sürdürülebilir bir biçimde ve uzun vadeli olarak kabul edilmesine önemli bir katkı yapabilir.

Temiz kömür dünya ölçeğinde, ama yerel çevre tarafından sunulan fırsat ve ihtiyaçları da göz önüne alacak şekilde tanıtılmaktadır. Temiz kömür kavramı elastik bir yapıda olması yüzünden de, sürdürülebilir kalkınma açısından sosyal adalete katkıda bulunmaktadır.

Elektrik üretiminde "Temiz Kömür Teknolojileri" kömürün yanma verimini ve santral verimini artırmak ve çevre teknolojilerini de kapsayarak olumsuz çevresel etkileri en aza ve kabul edilebilir seviyelere indirmek amacıyla geliştirilmiş/tasarlanmış teknolojiler olarak tanımlanabilir. Temiz kömür teknolojileri, konvansiyonel teknolojilere göre, üstün nitelikli teknolojiler olup, sürekli gelişim göstermektedir (MMO, 2015, s.110).

Kömürün coğrafik olarak dünyada homojen dağılımı, bol miktarda bulunması, ucuz bir enerji kaynağı olması gibi nedenlerle elektrik üretimindeki önemi günümüze kadar devam etmiş olup, gelecekte de bu önemini koruyacağı anlaşılmaktadır. Ancak, söz konusu avantajların yanı sıra, kömür yukarıda da bahsedildiği üzere, önemli çevre sorunları yaratan bir kaynaktır.

Avrupa Birliği (AB) açısından bakıldığında; Temiz kömür tüm AB ülkeleri tarafından kullanılabilen ancak daha da önemlisi özel durumlara göre kullanılabilen, aşamalı ve kademeli bir kavram üzerinde durmaktadır.

Bu kavram eş zamanlı olarak üç yaklaşımı takip etmektedir.

Temiz Kömür 1: Enerji verimliliğini artırmak ve SO_2, NOx ve toz salımlarmı azaltmak amacıyla, mevcut tesislerin modernizasyonu ve yeni tesislerin en iyi teknolojiye göre inşa edilmesi.

Temiz Kömür 2: Günümüzde %40'larm üstünde olan verimliliği %50'lerin üstüne çıkarmak hedefiyle paralel olarak, yeni santral kavramının geliştirilmesi ve demonstrasyonunun sağlanması.

Temiz Kömür 3: Elektrik enerjisi üretiminden kaynaklanan CO_2 salımlannm tutulması ve depolanması.

Modernizasyon, ileri santral teknolojisi ve CO_2 tutma ve depolama, aşama aşama yönetilmesi gereken bir yoldur. Bu bir taraftaki mevcut ekonomik ve uzun vadeli

ekonomik politika hedefleri ile diğer taraftaki teknik olarak gerçekleştirilebilmesi arasındaki bağlantıyı sağlar. Genel anlamda temiz kömür teknolojileri dört ana kategoride sınıflanabilir:

- Kömür hazırlama ve iyileştirme teknolojileri (Yanma öncesi)
- Emisyon kontrol teknolojileri (Yanma sonrası)
- Verimli yakma teknolojileri (Yanma esnasında) ve
- Karbon tutma ve depolama

7.2.1 Kömür hazırlama ve İyileştirme Teknolojileri

Kömür hazırlama ve iyileştirme teknolojileri; kömürün kullanım amacına yönelik olarak kırma/öğütme, eleme/boyutlandırma, susuzlaştırma, yıkama işlemlerinden oluşmaktadır. Bu teknolojiler ile kısaca, kömür oluşum sürecinde ve üretim esnasında kömüre karışan inorganik maddelerin (kül yapıcı mineraller ve piritik kükürt) bir kısmını kömürden ayırarak azaltmak ve/veya nem oranını düşüren kalori değerini yükseltmek mümkün olabilmektedir.

Kömür hazırlama, genel anlamda fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki alanda odaklaşmasına rağmen, günümüzde bu iki alana biyoloji de eklenmiştir.

Fiziki temizleme ile, üretim esnasında oluşan şist, kil kum gibi istenmeyen maddeler ile istenmeyen inorganilerin veya piritik sülfürün kömürden ayrılmasını sağlanır. Bu iş genellikle sulu ortamda, kömür ve istenmeyen maddeler arasındaki yoğunluk farkı kullanılarak yapılır. Sonuçta kömür parçalara ayrıldığında ve yıkandığında, daha ağır olan ve istenmeyen parçacıklar kömürden ayrılarak, daha temiz bir kömür elde edilir.

Kolon flotasyonu, ince toz haline getirilmiş kömürün suda yüzdürülmesi ile temiz kömür elde edilen bir yöntemidir. Bir yandan kömürün kimyasal olarak yüzen hava kabarcıklarına yapışması sağlanırken, diğer yandan pritik sülfür gibi hemen hemen tüm inorganik maddelerin flotasyon kolonuna batmasını sağlanır.

Ne kömür içinde kimyasal olarak karbona bağlı olan sülfür, bir başka deyişle organik sülfür, ne de nitrojen fiziksel yöntemlerle aynştmlabilir. Bu nedenle, kömürdeki organik sülfürü almak için kimyasal yöntemlerden yararlanılır. Tekniklerden biri erimiş-yakıcı özütlemedir. Bu yöntemde kömür bir kimyasal içine batırılarak sülfürün ve diğer minerallerin özütlenmesi sağlanır.

Biyolojik temizleme tabiri caizse kömürün içindeki sülfürü yiyen bakterilerin kullanıldığı bir yöntemdir. Bilim insanları bakterilerin sülfürü özütleme karakteristiklerini geliştirmeye halen devam etmektedirler. Diğer bazı bilim insanlan mantarları (fungi) kullanırken, bir kısmı da hala sülfürü yiyen bakterinin kimyasını ya da enzimini iki katma çıkarmanın yolunu bulmaya çalışmaktadırlar (MMO, 2015, s.111).

7.2.2 Emisyon Kontrol Teknolojileri

Yanma sonrası teknolojiler kömümn yanması sonucunda ortaya çıkan gazların ve diğer istenmeyen maddelerin baca öncesinde veya atmosfere karışmadan önce tutulması amacıyla uygulanan tekniklerdir. Bunlar:

- Toz tutucular
- Sülfür tutucular
- NOx Tutucular ve İz elementleri tutucuları (MMO, 2015, s.111).

7.2.3 Toz Tutucular

İlk önemli salımlar toz parçacıklarıdır. Kömürün yanması sonucu oluşan başlıca tozlar kül ve kurumdur. Bilimsel çalışmalar çok küçük toz parçacıklarının (<10 mikrondan) insanların akciğerlerine yerleştiğini ve bunun sonucunda ağırlaşmış astıma ve akciğerlerin fonksiyonlarının azalmasına neden olduğunu göstermektedir.

Bir termik santralin faaliyetinde açığa çıkan kirleticilerin arasında kontrolü en kolay olanı toz salımlarıdır. Kazanda kömür külünden meydana gelen toz parçacıkları

uçucu kül olarak adlandırılır. Toz parçacıklarının azaltılması için kullanılan beş temel yöntem vardır. Bunlar:

- Mekanik tutucular ya da siklonlar (mechanical collectors),
- Yaş tutucular (wet collectors)
- Granül yatak filtreleri (granular bed filters)
- Elektrostatik çökelticiler (electrostatic precipitators) ve
- Torba filtreler (fabric filters)

Bunlar arasında yalnızca torba filtreler ve elektrostatik çökelticiler bir termik santral kazanı için uygundur. Diğerleri sanayi tipi kazanlar ve küçük tesislerin kazanlarına uyumludurlar. Elektrostatik filtreler büyük yakma tesislerinde yaygın bir biçimde kullanılmaktadır ve geniş sıcaklık, basınç ve toz yükü aralıklarında çalıştırılmaya uygundur. Özellikle tanecik boyutuna duyarlı değildir ve tozu hem kuru, hem ıslak koşullarda toplayabilir. Elektrostatik filtre, metalden yapılmış bir dizi levhanın belli aralıkla (yaklaşık 10 cm) dikey olarak dizildiği ve levhalar arasında oluşan geçitlerden de tozlu gazın aktığı bir kutudan meydana gelir. Levhalar arasındaki geçidin ortasına yüksek voltaj taşıyan elektrotlar yerleştirilmiştir. Yüksek voltajdan (40-50 KV) dolayı elektrot etrafında ve elektrotlar boyunca bir elektrik alanı oluşur (MMO, 2015, s.112).

Partiküller gaz akımından dört basamakta ayrılırlar:

- Partiküllerin negatif elektrikle yüklenmesi,
- Elektrik yüklü partiküllerin pozitif anoda doğru hareket etmesi,
- Tozun anot (levhalar) üzerinde tutulması (toplanması),
- Tozun alt taraftaki toz haznesine dökülmesi.

Elektrostatik filtrelerin ilk yatırım maliyeti, kullanılan yakıta göre torba filtreler veya diğer kontrol tekniklerinden daha düşük veya daha yüksek olabilir. Fakat işletim maliyetleri diğer tekniklere göre daha düşüktür ve uçucu küllerin farklı özelliklerine göre değişebilir. Bakım maliyetleri ise sıradan uçucu kül söz konusu

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

Torba filtreler, endüstriyel tesislerden ve daha küçük yakma tesislerinden çıkan baca gazlarında bulunan partiküllerin tutulmasında dünya çapında yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Ancak günümüzdeki eğilim, bu teknolojinin daha büyük çaplı tesislerde de kullanılmasına yöneliktir. Bir torba filtre ünitesi, kumaştan torba şeklinde yapılmış, alt tarafı açık, üst tarafı kapalı olan filtrelerin bir metal kabin içinde sıralanmasından meydana gelir.

Torbalar temizleneceği zaman temiz gazdan alınan bir miktar basınçlı gaz, bu kez ters yönde torbaların dışından içine doğru verilir. Torbaların içinden dökülen partiküller, ünitenin alt tarafından toplanarak alınır.

Torbaların her 2-5 yıl arasında bir sürede değiştirilme zorunluluğundan dolayı torba filtrelerin bakım maliyetleri pahalıdır. Torbaları değiştirmenin minimum bedeli, yatırım maliyetinin yaklaşık olarak %10'u kadardır. Filtrelerde toplanan tozlar, geri dönüştürülmesi kolay ve ekonomik değeri olabilecek maddelerdir. Torba filtreler %100'e yaklaşan partikül toplama verimlerine ulaşabilirler. Yüksek küllü ya da kükürt içerikli kömürler için filtrenin ömrü, artan temizleme sıklığından ve SO_3 korozyonundan dolayı kısalır. Ayrıca elektrostatik çöktürücü ile kıyaslandığında basınç düşmesi ve işletim maliyeti daha yüksektir (MMO, 2015, s.113).

7.2.4 SOx Kontrol sistemleri

"Kömürün içinde bulunan piritik kükürdün %90'ı yanma öncesi uygulanan fiziki temizleme yöntemleriyle alınabilmektedir. Ancak pritik sülfür kömür içinde bulunan ancak yarısını içerir. Bu yüzden kömür hazırlama esnasında uygulanan fiziki yöntemler kömür içindeki sülfürün tamamının alınması için yeterli değildir" (MMO,

2015, s.113).

"Kömür ve petrol ürünleri yakan santrallerde kazan veya yanma odası baca gazlarından kükürt dioksiti (SO_2) ayıran teknolojilere "baca gazı kükürt arıtma tesisleri (BGD)" veya "baca gazı desülfürizasyon tesisleri" adı verilir" (MMO, 2015, s.113).

> Kükürt oksitleri, fosil yakıtların yanması sonucunda yakıt içinde bulunan kükürdün oksitlenmesiyle oluşmaktadır. Baca gazından kükürt oksitlerini (başlıca SO_2 gazını) giderme yöntemleri 150 yıldır üzerinde çalışılan bir konudur. Konuyla ilgili ilk düşünceler 1850'li yıllarda İngiltere'de ortaya çıkmıştır. İlk BGD tesisi ise 1931 yılında London Power Company'e ait Battersea santralinde kurulmuş ve arkasından 1935'de Swansea ve 1938'de Fulham Santrali'nde BGD tesisi kurulmuştur. 2. Dünya Savaşı sonrasında da ABD ve Japonya'da kurulmaya başlanmıştır (MMO, 2015, s.113).

Kömür ve petrolde bulunan kükürdün yaklaşık %95'i yanma sırasında, normal sıcaklıkta, baca gazında bulunan oksijenle reaksiyona girerek kükürt diokside (SO_2) dönüşür. Baca gazında oksijenin yüksek olmasından dolayı kükürt dioksit tekrar okside olarak kükürt trioksiti (sülfit-SO_3) oluşturur. Bu gaz da ortamda bulunan su molekülleri ile birleşerek sülfirik asit'e (H_2SO_4) dönüşür. Baca gazındaki kükürt arıtma sistemleri iki gruba ayrılır:

- Islak sistemler,
- Kuru ya da yarı kuru sistemler

Islak sistemde SO_2 baca gazından sulu bir solüsyona ya da çamura ilave edilen emici bir madde (sorbent) reaksiyona girerek alınır. Kullanılan sorbent miktarı arttıkça tutulan SO_2 miktarı da artmaktadır. Günümüzde en yaygın olarak kullanılan BGD sistemleri, kireç/kireçtaşı kullanan sistemlerdir. Bu sistemler, piyasada %80'lik bir paya sahiptir. Kireçtaşı reaktivitesinin BGD sisteminin verimliliği üzerinde de önemli bir etkisi vardır. Buna rağmen günümüzde reaktiviteleri test etmek için

standart bir metod yoktur. Magnezyumla zenginleştirilmiş kireç de ayrıca sorbent olarak kullanılmaktadır.

Kuru ve yarı kuru sistemlerde ise ekonomizerde yada baca gazı kanalında kuru bir sorbent (genelde kireçtaşı) ya da yarı kuru bir sorbent (genelde kireç) enjekte edilerek baca gazındaki SO_2'nin doğrudan reaksiyona girmesi sağlanır. Yaş prosesler daha verimli olmasına rağmen kuru prosesler daha ekonomiktir. SO_2 tutma sistemi olan termik santrallerin yaklaşık %90'ı kireçtaşı tutma sistemini kullanır.

Başlıca kuru sistemler şunlardır:

- Püskürtmeli kurutma prosesleri
- Alkali enjeksiyon prosesleri
- Kalsiyum içeren alkali enjeksiyon prosesi
- Sodyum içeren alkali enjeksiyon prosesi
- Aktif kömür ile adsorbsiy on prosesi
- Katalitik oksidasyon prosesi (MMO, 2015, s.114).

Başlıca yaş proseler ise aşağıdadır:

- Kalsiyum içeren bileşiklerin kullanıldığı prosesler
- Magnezyum içeren bileşiklerin kullanıldığı prosesler
- İkili alkali (Sodyumkarbonat-kireç, Amonyak-kireç) prosesleri
- Amonyağın kullanıldığı prosesler
- Sodyum bileşiklerinin kullanıldığı prosesler
- Organik maddelerin kullanıldığı prosesler
- Deniz suyunun kullanıldığı prosesler (MMO, 2015, s.115).

7.2.5 NOx Kontrol Sistemleri

Fosil yakıtların yanması sonucu oluşan kirleticiler arasında, azot ve oksijenin farklı oranlarda birleşmesiyle oluşan gazlan tanımlamak için kullanılan azot oksitler de (NOx) bulunmaktadır. Termik santrallerde yanma sonucu oluşan azot oksitlerin büyük bir bölümünü azot monoksit (NO) oluştururken, daha düşük

oranlarda azot dioksit (NO_2) ve diazot monoksit (N_2O) bulunmaktadır. Azot oksitler ya havadaki azotun (termal (NOx) ya da yakıtın içinde bulunan azotlu bileşiklerin (yakıta bağlı NOx) oksidasyonu sonucu oluşmaktadır. Bunların dışında atmosferik azotun çeşitli hidrokarbon radikalleri ile girdiği karmaşık reaksiyonlar sonucunda oluşan azot oksitler de vardır, ancak bunlann payı çok düşüktür (MMO, 2015, s.115).

Genel olarak pulverize (toz halinde) kömür yakan sistemlerdeki toplam NOx salınımın %80'i yakıttaki azottan, %20'si de havadaki azottan kaynaklanmaktadır. NOx kontrol yöntemleri yanmaya ilişkin önlemler ve teknikler (birincil kontrol teknolojileri) ve yanma sonrasında uygulanan teknolojiler (ikincil kontrol yöntemleri) olarak iki grupta ele alınır (MMO, 2015, s.115).

Yanmaya ilişkin alınan NOx kontrol ve önlemleri şunlardır:

- İşletme koşullarının optimizasyonu
- Düşük NOx Yakıcıları
- Alev Üzeri Hava
- Baca Gazı Resirkülasyonu
- Yakıt Kademeleme/Yeniden Yakma (MMO, 2015, s.115).

NOx emisyonlarının azaltılması için ilk yapılması gereken işletme koşullarının optimizasyonudur. Örneğin, sisteme alınan fazla havanın optimizasyonu ile daha fazla NOx oluşumu engellenebilir. Diğer bir yöntem; yakıt ve havayı yanma odasına üflerken yakıt/hava oranım kontrol ederek kademeli yanmanın sağlanmasıdır. Düşük alev sıcaklığı ve alevin belli bölümlerinde oksijen konsantrasyonunun azaltılması ile NOx oluşumu azaltılabilmektedir.

Bu yöntemlerin kullanılmasına karşılık NOx emisyonlarının istenen düzeye indirilememesi halinde, yanma sonrası NOx kontrolü için de kimyasal süreçlerden yararlanılmaktadır. Bu amaçla kullanılan teknolojiler aşağıda verilmektedir:

- Seçici Katalitik İndirgeme (Selective Catalytic Reduction-SCR)
- Seçici Olmayan Katalitik İndirgeme (Non-Selective Catalytic Reduction - NSCR)
- Melez Süreçler (İki teknolojinin birlikte kullanıldığı süreçler)

7.2.6 Bileşik SOx-NOx Kontrol Sistemleri

Konvansiyonel birleşik SO_2-NOx süreçleri, genel olarak kireçtaşı ya da kirece dayalı baca gazı kükürt arıtma sistemleri ile SCR prosesinin bileşiminden ya da buna benzer kombinasyonlardan oluşmaktadır. Bunların yanı sıra ayrı teknolojiler yerine aynı zamanda iki veya daha fazla kirleticiyi arıtmaya yönelik olarak kullanılan arıtma teknolojileri de mevcut olup, bunlann çoğu geliştirne aşamasında olan oldukça karmaşık sistemlerdir. Aşağıda bu teknolojilerden belli başlı olanları sıralanmaktadır:

- Aktif Karbon Prosesi
- Elektronla Işıma Prosesi
- DeSONOx Prosesi

7.2.7 Verimli Yakma Teknolojileri

Verimli yakma teknolojileri, istenmeyen maddelerin ve gazların, kömürün yanma esnasında tutulması amacıyla geliştirilmiş süreçlerdir. En belirgin kullanılan teknolojiler süper kritik kazan teknolojisi ve akışkan yatak yakma teknolojisidir.

7.2.7.1 AkışkanYataklı Yakma Teknolojileri

Çeşitli uygulama şekillerine sahip akışkan yataklı yakma, SOx ve NOx salımlarmı %90 hatta daha da fazla oranda azaltabilmektedir. Akışkan yataklı yakma sisteminde kömür, akışkan bir havanın içinde ısıtılmış ve askıda duran taneciklerden oluşan bir yatakta yakılmaktadır. Yüksek hava akımı hızlarında bu yatak bir akışkan gibi davranarak tanelerin çok hızlı bir şekilde karışmasına neden olur. Bu akışkan hareket, nispeten düşük sıcaklıklarda kömürün tamamıyla

yanmasına olanak sağlar. Akışkan yataklı yakma sistemleri sahip olduğu yakıt esnekliği ile hemen hemen yanabilen her türlü malzemeyi yakıt olarak kullanabilir. Örneğin ABD'de akışkan yataklı yakma sistemlerinde, kömür atık yığınları giderek artan bir oranda kullanılmakta ve bu sayede çevre için problem oluşturabilecek bir hadise, yararlı bir enerji kaynağına dönüştürülmektedir. Akışkan yatakta yakma teknolojisinde, son 10 yılda katı pulverize kömür yerine posa (pulp) halinde kömür-su karışımlarının yakılması da benimsenmiş olup, bu sistemde çalışan pek çok santral gerçekleştirilmiştir (MMO, 2015, s.116).

Homojen dağıtılmış hava ya da gaz, ince bir elek (mesh) üzerinde yığılmış kum taneciklerini andıran bir yatak bölgesinden geçtiğinde, eğer havanın hızı düşükse tanecikler üzerinde yeterli kuvvet uygulayamayacağından dolayı tanecikleri hareket ettiremez. Burada parçacıkların hareket etmediği sabit bir yatak oluşur. Havanın hızı giderek artırıldığında, bir süre sonra yerçekimi kuvveti ile havanın itme kuvveti arasında bir denge sağlanır ve parçacıkları havada asılı bir halde kalır. Bu durumda, parçacıkların havada asılı halde oluşturdukları yatak "akışkan" olarak adlandırılır.

Hava hızının daha da artırılması durumunda, hava kabarcıklarının, şiddetli türbülansların, gazla parçacıklar arasında hızlı karışımın ve yoğun bir yatak yüzeyinin oluştuğu görülür. Yatak üzerindeki katı parçacıkların kaynayan bir su gibi hareket ettiği ve "kabarcıklı akışkan yatak olarak adlandınlan akışkan bir görünüm gözlemlenir.

"Daha yüksek hızlarda kabarcıkların yok olur ve parçacıklar yatağın dışına itilir. Sistemi sabit bir konumda tutmak için bir miktar parçacığın yeniden dolaşıma dahil edilmesi gerekecektir ki, bu duruma "dolaşımh akışkan yatak" adı verilir" (MMO, 2015, s.117).

Akışkanlık parçacık boyutuna ve hava hızına bağlı olarak değişir. Ortalama parçacık hızı gaz hızından daha az bir oranda artar. Ortalama parçacık hızı ile ortalama gaz hızı arasındaki farka kayma hızı denir. İyi bir ısı transferi ve yakın temas için parçacıklar ve gaz arasındaki hızın maksimum olması beklenir.

Eğer akışkan bir durumdaki kum tanecikleri, kömürün tutuşma sıcaklığına kadar ısıtılırsa ve kömür sürekli olarak yatağa beslenirse kömür hızla yanacak ve yatak düzenli bir sıcaklık kazanacaktır. Akışkan yatakta yakma 8.400C ile 9.500C sıcaklık aralığında olur. Sıcaklık kül ergime sıcaklığından çok daha aşağı olduğundan, külün erimesi gibi sorunlardan da kaçınılmış olunacaktır.

Yanma süreci "zaman" "sıcaklık" ve "türbülans" faktörleri ile ilişkilidir. Akışkan yataklı yanmada türbülans akışkanlık için teşvik edilir. İyileştirilmiş bir karışım düşük sıcaklıkta eşit olarak dağıtılmış bir ısı sağlar. Kalış süresi çoğu zaman geleneksel ızgara ateşlemesinden daha büyüktür. Bu yüzden akışkan yataklı yanma düşük sıcaklıklarda daha verimli bir ısı açığa çıkarır (MMO, 2015, s.118).

Yatak parçacıkları olarak kireçtaşı kullanıldığından, yanma odasındaki sülfür dioksit ve azot oksitlerin emisyonları ilave bir kontrol mekanizmasına ihtiyaç duymadan tutulur. Bu geleneksel kazanlar üzerindeki en önemli avantajlarından biridir.

Akışkan yatak teknolojisinin avantajları aşağıdaki şekilde özetlenebilir

- Yüksek yanma verimi ve yüksek ısı transfer katsayısı
- Yakıt hazırlama kolaylığı
- Yüksek emre amadelik
- Yakıt bileşiminde esneklik
- Düşük NOx ve SO_2 emisyonları
- Kullanılabilir kül

Akışkan yatakta yakma teknolojileri atmosferik (atmosfer basıncında) ve basınçlı olmak üzere iki ana grupta sınıflandırılır. Bu teknolojiler akışkanlık koşullanna bağlı olarak da kabarcıklı ve dolaşımlı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Günümüzde ticari boyuta ulaşan ve yaygınlaşmış olan teknoloji atmosferik dolaşımlı akışkan yatak yakma teknolojisi olup, basınçlı kabarcıklı akışkan yatak yakma ile basınçlı

dolaşımlı akışkan yatak yakma teknolojileri henüz gelişme aşamasındadır (MMO, 2015, s.118).

Atmosferik Dolaşımlı Akışkan Yatakta Kazanı teknolojisinde kömür parçacıkları kazanda yanarken gittikçe küçülürler ve kazanı terk ederler. Yanma odasından gazla taşman uçucu kül, yanmamış kömür, kireçtaşı vb. Tanecikler siklonlarda tutulup kazana geri beslenir. Bu geri besleme kazanda kalış sürelerinin ve dolayısıyla yanma ve kükürt arıtma verimlerinin artmasına neden olur. Bu sirkülasyon katı döngüsünü oluşturur ve bu nedenle bu tip sistemlere "dolaşımlı" denir.

Dolaşımlı (Çevrimli) Akışkan Yataklı Kazan sisteminde baca gazı siklonları ikinci çekiş yönünden terk ederken, uçucu küller elektro-filtrelerde ayrılır. Kazanın ilk çalışmasında veya bir revizyonundan sonra yanma odası önce kum veya mevcut yatak malzemesi ile doldurulur. Yatak malzemesi döner besleyici ve zincirli konveyör vasıtasıyla yanma odasına sevk edilir (MMO, 2015, s.118).

Yatak malzemesinin homojen dağılması için besleme esnasında primer hava minimum seviyede tutulur.

Kabarcıklı Akışkan Yatak teknolojisinde kolon içindeki taneciklerin oluştuğu yatak bölgesine alttan verilen havanın hızları arttıkça hava parçacıklara kuvvet uygular ve hava kabarcıklan oluşur. Bu nedenle bu teknoloji "kabarcıklı akışkan yatakta yakma" olarak adlandırılmaktadır (MMO, 2015, s.119).

7.2.7.2 Süper Kritik Kazan Teknolojileri

Süper kritik pulverize kömür yakan bir termik santral geleneksel pulverize kömür yakma sistemine göre daha yüksek buhar sıcaklığında ve basıncında çalışmaktadır ve %45 gibi daha yüksek bir verime kadar çıkabilir. Bu yüzden de daha düşük emisyonlara sahiptir. Çok yüksek sıcaklık ve basınçta çalışan bir ultra süper kritik termik santralden, %50'lere kadar çıkabilen daha da yüksek verimler beklenmektedir.

Kazan teknolojileri ana buhar basınç değerlerine göre üç kategoriye ayrılır:

- Kritik altı (subcritical)
- Kritik üstü ya da süper kritik (supercritic)
- Ultra kritik üstü (ultrasuper critic)

Buhar parametrelerinin dışında kritik altı ve kritik üstü kazanlar arasındaki en önemli fark "dom" olarak bilinen ve genellikle kritik altı kazanlarda bulunan buhar ayırıcısının kritik üstü kazanlarda olmamasıdır. Ayrıca devreye alış şekilleri de farklıdır.

Kazan tiplerinin çalışma buhar aralığı ve sıcaklıkları aşağıda verilmektedir:

- Kritik altı kazanlar 160-250 bar basınç ve 538 °C sıcaklıkta
- Kritik üstü kazanlar 250-285 bar basınç ve 610°C sıcaklıkta
- Ultra kritik üstü kazanlar 300 bar basınç ve 700°C sıcaklıkta.

7.2.8. Karbon Tutma ve Depolama

Karbon tutma ve depolama, karbon dioksiti enerji üretimi veya diğer sanayi tesisleri baca gazından ayırma, taşıma ve uzun dönemde atmosferden izole etme işlemidir. Petrol ve doğal gaz sahaları, ekonomik olarak çıkarılamayan yeraltı kömür yatakları ve yeraltı tuz sahaları gibi jeolojik depolama alanları ile okyanus dipleri potansiyel teknik depolama tesisleri olarak gösterilebilir (MMO, 2015, s.120).

7.2.8.1 Karbon Tutma

Karbon dioksit tutmanın amacı bir depolama sahasına nakledilebilecek yüksek basınçta ve yüksek konsantrasyonda bir CO_2 akışı elde etmektir. Şu anda da CO_2 ayırma tesisleri bulunmaktadır, ancak bunlarda amaç diğer gazları üretmek amacıyla saflaştırmaktır ve ayrılan CO_2 atmosfere atılmaktadır. Santrallerin baca gazından CO_2 üretimi yapılan uygulamalarda vardır, ancak bunlar 500 MW'ın altında ki küçük

santrallerdir. Kömür, gaz, petrol veya biyo kütleye dayalı santrallerde CO_2 tutma için üç temel yaklaşım bulunmaktadır.

- Yanma Sonrası (Post-combustion)
- Yanma Öncesi (Pre-combustion)
- Oksi-yakıt yanma (Oxyfuel combustion).

Yanma sonrası sistem normal bir kömür santralı veya doğal gaz kombine çevrim santralının baca gazından CO_2'yi ayırma işlemidir. Ana unsuru azot olan baca gazından sıvı bir solvent kullanarak CO_2'nin belli bir yüzdesi (Hacimsel olarak %3-15) ayrıştırılır. Modem bir pulverize kömür santralında veya doğal gaz kombine çevrim santralında normal olarak bir organik solvent örneğin monoetanolamin (MEA) kullanılır.

Yanma öncesi sistemde ise primer yakıt bir reaktör içinde buhar, hava veya oksijenle işleme tabi tutularak büyük ölçüde hidrojen ve karbon monoksitten oluşan bir karışım (sentetik gaz) elde edilir. Bir başka reaktörde karbonmonoksit, buharla reaksiyona girerek ilave hidrojenle birlikte CO_2 elde edilir. Bu karışımda hidrojen ve CO_2 ayrıştırılır. Eğer CO_2 depolanacaksa karbonsuz bir yakıt olan hidrojen enerji ve ısı elde etmek üzere yakılabilir. Başlangıçtaki adımlar "yanma sonrası" prosesine göre pahalı ve karmaşık olsa da özellikle ikinci reaktördeki daha yüksek basınç ve konsantrasyondaki (%15-60) CO_2, "yanma öncesi' prosesini CO_2 yi ayırmak için daha tercih edilir hale getirmektedir. Yanma öncesi prosesi Entegre Gazlaştırma Kombine Çevrim (IGCC) santrallerinde kullanılması uygun olacaktır.

Oksi-yakıt yanma prosesinde primer yakıt havayla değil de oksijenle yakılır. Sonuçta baca gazı su buharı ve CO_2'den oluşur. Burada baca gazındaki CO_2 konsantrasyonu oldukça yüksektir ve hacimsel olarak %80'lere ulaşmaktadır. Bacadan çıkan gaz soğutularak ve sıkıştırılarak su buharı ayrıştırılır. Oksi-yakıt yanmada havadaki oksijenin %95-99 oranında saflıkta ayrıştırılması gerekir. Kazanlarda CO_2 tutma ve oksi-yakıt yakma sistemleri hala demonstrasyon safhasındadır. Oksi-yakıtın gaz türbinlerinde kullanılması konusu ise hala

araştınna ve kavramsal dizayn safhasındadır (MMO, 2015, s.121).

7.2.8.2 Karbon Taşıma

Karbon tutma yöntemlen ile tutulan CO_2 sıkıştırılarak ve içindeki nem alınarak depolanacak yere taşınması gerekmektedir. CO_2 naklinin genel olarak borularla yapılması öngörülmektedir. Ancak, uygun olması halinde, sıkıştırılmış doğal gazın taşındığı gibi, tankerler ile taşınması da mümkündür. Depolanacak CO_2 miktarı, depolama yerinin konumu, santrale uzaklığı, nakil yöntemi vb. Hususlar nakil maliyetini etkileyecek önemli faktörlerdir. Boru hatları ile taşınması durumunda, depolanacak CO_2 miktarı arttıkça taşıma maliyeti düşmekte, buna karşılık depolama yerinin santrale uzaklığının fazla olması maliyeti artırmaktadır. Boru batlarıyla taşımada, ara kompresör istasyonlarının kurulması da gerekebilir (MMO, 2015, s.121).

7.2.8.3 Karbon Depolama

Karbon tutma ve depolamanın üçüncü aşaması karbondioksidin yüzyıllar boyunca mümkün olduğu kadar atmosfere sızmasını engelleyecek şekilde sızdırmazlık ve güvenlik şartlarına uygun rezervuarlara depolanarak atmosferden soyutlanmasıdır.

Karbondioksit, jeolojik formasyonlarda süperkritik bir sıvı olarak depolanmaktadır. Bu evrede, sıvı ve gaz arasında aynmı yapılamamakta ve CO_2 bulunduğu kabın şeklini alan ve sıkıştırılabilen bir sıvı olarak davranmaktadır. Yoğunluğu ise sıvı yoğunluğuna sahiptir. Yaklaşık 800-850 m derinliklerde karbondioksit maksimum yoğunluğuna ulaşmaktadır ve bu evrede karbondioksit süper kritik bir sıvıdır. Bu derinliğin üzerinde CO_2 bir gazdır ve yoğunluğu ekonomik olarak depolanamayacak kadar düşüktür (MMO, 2015, s.122).

"Karbondioksitin depolandığı jeolojik rezervuarlar; petrol ve doğal gaz rezervuarları, derin tuzlu formasyonlar ve işletilemeyen kömür damarlarından oluşmaktadır" (MMO, 2015, s.122).

Jeolojik depolama seçenekleri arasında maliyetler açısından bir değerlendirme yapıldığında, aktif petrol kuyularında CO_2'nin depolama maliyeti en az olmaktadır. Bunu sırasıyla, kömür yatakları ve tüketilmiş petrol ve gaz rezervleri takip etmektedir. Derin tuzlu formasyonlarda jeolojik depolamanın maliyeti ise net olarak bilinmemekte olup, bunlar en yüksek depolama kapasitesine sahiptirler. Bu formasyonlardan sonra sırasıyla tüketilmiş petrol ve gaz rezervleri ve aktif petrol kuyuları yüksek miktarda CO_2 depolama kapasitesine sahiptirler. Aktif petrol kuyuları ve tüketilmiş petrol ve gaz rezervleri yüksek depolama güvenliğine ve uygulanabilirliğe sahipken diğer yöntemler için bu yöndeki çalışmalar devam etmektedir. Petrol ve gaz rezervleri sahip oldukları önemli avantajlardan ötürü CO_2 depolamada genellikle birincil tercihtirler. Bu alanlar detaylı olarak araştırılmış yerler olduğu için CO_2 depolanması için güvenilir oldukları düşünülür. Ayrıca, daha önceden mevcut kuyular ve alt yapılar CO_2 depolanması için kullanılabileceğinden yeniden bu tür hazırlığa gerek kalmayacaktır. Bu da hazırlık maliyetinde düşüşe yol açacaktır.

7.2.9 Kömür Gazlaştırma ve Sıvılaştırma

7.2.9.1 Kömür Gazlaştırma

Kömür gazlaştırma prosesi, kömürün doğrudan yakılması yerine, termokimyasal bir yöntemle kimyasal bileşenlerine ayrılması işlemidir. Gazlaştırma prosesinde kullanılacak hammadde sadece kömürle sınırlı olmayıp, petrokok gibi petrol kökenli maddelerin, biyokütle ve atıkların da gazlaştırma işlemine tabi tutulması mümkündür.

Kömürün gazlaştınlması kömürün elektrik, hidrojen ve diğer enerji ürünlerine dönüştürülmesinde kullanılan en temiz ve birden çok amaca hizmet eden yöntemlerden biridir. Bir gazlaştıncıda, kömür yüksek basınç ve sıcaklıklarda, ortamda buhar varken, kontrollü miktarlardaki hava veya oksijene maruz bırakılır ve moleküler yapısı parçalanarak karbonmonoksit, hidrojen ve diğer bileşenlerine ayrılır. Esas olarak hidrojen ve karbonmonoksitten meydana gelen bu gaza sentez

gaz (syngas) denmektedir. Gazdaki diğer bileşenler, hammaddenin türüne ve gazlaştmcınm koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. IGCC sistemlerinde kömür veya bir fosil yakıt, yakıt hazırlama ünitelerinden gazlaştırıcıya beslenir ve burada yine gazlaştırıcıya beslenen oksijen veya hava ve buhar karışımı ile reaksiyona girerek ham gazı oluşturur. Ham gaz içinde partiküller, CO, CO_2, H_2, CH_4, ve N_2 ve H_2S bulunmaktadır. Ham gaz, yüksek sıcaklıklarda çalışan bir Gaz Temizleme sisteminden geçirilerek içindeki partiküllerden ve daha sonra istenmeyen kirletici gazlardan (H_2S gibi) temizlenir. Temizlenen sentez gazı, gaz türbininde yakılarak elektrik enerjisi elde edilir (MMO, 2015, s.122).

Gaz türbininden çıkan sıcak gazlar, bu kez içindeki ısının geri kazanılması için bir ısı değiştiriciden geçirilir. Yüksek basınç ve sıcaklıkta üretilen buhar bu kez bir buhar türbinine gönderilerek elektrik enerjisi üretiminde kullanılır. Böylece, hem gaz hem de buhar türbininde elektrik üretilmiş olur. Bu nedenle çevrime "Kombine Çevrim" denilmektedir (MMO, 2015, s.123).

EGKÇ sistemlerinin verimi, gaz türbininin çalışma sıcaklığına ve üretilen elektrik enerjisinin frekansına göre değişmektedir. Tipik gaz türbini sıcaklıkları 1.100-1.260°C'dir. Tipik net üretimler 60-Hz istenen yerlerde 275 MW, 50-Hz istenen yerlerde 400 MW'dır. Tüm IGCC sisteminin net verimi % 40-44'tür (üst ısı değeri baz alınarak). Yeni geliştirilen gaz türbinleri kullanarak bu verimin %46-48'e çıkması beklenmektedir (MMO, 2015, s.123).

7.2.9.2 Kömür Sıvılaştırma

Kömürden sıvı yakıt üretimi, gazlaştırılan kömürden Fischer Tropsch (F-T) yöntemi kullanılarak sıvı yakıt ve kimyasal ürünler üretmek ile daha az gelişmiş bir teknoloji olan doğrudan sıvılaştırma teknolojilerini kapsamaktadır.

Petrol fiyatlannm yüksekliği ve istikrarsızlığı, gelişmekte olan ülkelerin artan eneıji talebi, petrol üreten ülkelerin bazılarında yaşanan jeopolitik istikrarsızlık,

yüksek enerji talebi olan ülkelerde kömürün mevcudiyeti ve azalan petrol rezervlerine karşın kömür rezervlerinin bolluğu kömürün sıvılaştırmasına olan ilginin artmasının ana sebepleridir.

Kömürden sıvı yakıt teknolojileri "doğrudan sıvılaştırma" ve "dolaylı sıvılaştırma" olmak üzere iki kategoride ele alınır (MMO, 2015, s.123).

Kömürün dolaylı sıvılaştırılması yönteminde, kömür önce buhar ve hava, ya da oksijen ile gazlaştırılarak sentez gaz (H_2 ve CO) elde edilmektedir. Parçacık madde, kükürt bileşikleri (özellikle H_2S, CS) ve azot gibi kirlilikler içeren bu karışım gazı temizlenip Fischer Tropsch veya Metanol prosesinden geçirilerek temiz, yüksek kaliteli ürünler (metanol, etanol, dizel, hidrokarbon, sıvı yakıtlar vb.) üretilmektedir. Temizlenen gazdan CO_2 tutulup ayrılabilmektedir, Ayrıca sentez gazından elektrik ile hidrojen üretilebilmektedir. Modern tesislerde enerji verimliliği %40'ın üzerindedir (MMO, 2015, s.123).

Kömürün doğradan sıvılaştırılması prosesi ile toz kömür, doğrudan bir çözelti içinde yüksek sıcaklık ve basınçta sıvı yakıta dönüştürülerek yüksek enerji yoğunluklu ürünler elde edilmektedir. Proses esnasında hidrojen/karbon oranı hidrojen gazı eklenerek artınlır. Hidrojen aynı zamanda oksijen, kükürt, ve azotun uzaklaştırılması amacıyla da eklenmektedir. Uzaklaştırma H_2O, H_2S ve NH_3 olarak gerçekleştirilmektedir. Katalizör kullanılarak gerekli reaksiyonları hızlandırmak mümkündür. Dolaylı sıvılaştırma prosesine kıyasla doğrudan sıvılaştırmada işletme maliyetleri yüksek olmasına karşın verimlilik modem proseslerle %60-%70 seviyelerine kadar yükselmektedir (MMO, 2015, s.123).

BÖLÜM SEKİZ
KÖMÜRÜN YAKILMASINDAN KAYNAKLANAN KİRLETİCİLER VE EMİSYON DEĞERLERİ

8.1 Giriş

Enerji üretmek amacıyla kömürün yakılması sonucu oluşan yanma ürünlerinin, önemli ölçüde hava kirliliğine neden olduğu bilinmektedir. Kömür yakma sistemlerinde baca gazlarıyla atmosfere atılan kirleticiler; kükürt oksitler, azot oksitler, karbondioksit, karbonmonoksit gibi çeşitli gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu kirleticilerden ve bunların atmosferdeki tepkimeleri sonucu oluşan ikincil kirleticilerden kaynaklanan kirlilik; insan ve hayvan sağlığının bozulmasına, bitki örtüsünün tahribine, toprak ve su kalitesinin bozulmasına, malzemelerin yıpranmasına, iklim değişikliklerine ve görüş mesafesinde azalmaya yol açmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

Kömürün yakılmasından kaynaklanan kirliliğin azaltılmasıyla ilgili ilk önlemlerin XIII. yüzyıl İngiltere'sinde alındığı bilinmektedir. XIX. yüzyılda, İngiltere'de gerçekleşen Sanayi Devrimi sonrası endüstriyel gelişmeye paralel olarak kömür kullanımı hızla artmış; kömür tüketimindeki bu artış önemli ölçüde kirliliğe neden olmuştur. Bu kirliliğin en çarpıcı etkileri, 1948'de Donora (Pennsyivania-ABD) ve 1952'de Londra'da gözlenmiştir. Her iki yerleşim biriminde de atmosferdeki kükürt oksitleri ve tanecik derişimlerinin çok artması sonucu binlerce ölüm ve hastalık olayı meydana gelmiştir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

Yaşamın sağlıklı olarak sürdürülebilmesi için gerekli en önemli kaynaklardan biri havadır. Hava kalitesini korumayı vazgeçilmez yapan unsur, havayı pratik olarak yeniden işleme ve tekrar kullanıma sunma gibi bir olanağın olmamasıdır. Hava kalitesi, nüfus artışı ile endüstri ve teknolojideki gelişmelerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Söz konusu bu etkiler, enerji kullanımım da artırdığından, enerji

ile hava kalitesi arasında kuvvetli bir ilişkinin olduğu açıktır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

8.2 Karbonmonoksit

"Renksiz, kokusuz, tatsız, yanıcı ve zehirleyici bir gaz olan karbonmonoksidin önemli fiziksel özellikleri Karbonmonoksit molekülü, düşük dipol momentli, kısa bağ uzunluğuna ancak, üç farklı şekilde olabilen kuvvetli molekül bağına sahip bir rezonans hibrittir" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

"Karbonmonoksit, en yüksek absorpsiyon bandı 4,7 μm dalga boyunda olan kızıl ötesi radyasyonu kuvvetli; uzak mor ötesi bölgede, 0,155-0,125 μm dalga boyu aralığındaki radyasyonu ise çok zayıf absorplayabilmektedir. Buna karşılık, görünür ışığı veya mor ötesi bölgeye yakın olanları absorplayamamaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

"Karbon içeren yakıtların, ideal olmayan koşullarda tam olarak yakılamaması, karbondioksit gazı yerine karbonmonoksit gazının oluşumuna neden olur. Yakıtların kısmi yanması, aşağıdaki faktörlerin yeterince yüksek olmaması sonucu meydana gelmektedir" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

- Oksijen miktarı
- Alev sıcaklığı
- Yanma gazlarının yüksek sıcaklıkta kalma süresi
- Yakma odası türbülansı.

"Karbonmonoksit yayınımının en önemli kaynakları motorlu taşıtlar ve yakma işlemleridir. Karbonmonoksidin molekül ağırlığı, havanın ortalama molekül ağırlığına eşit olduğundan, kaynaklandığı nokta etrafında iyi dağılmaz ve kolay farkedilmez. Ayrıca, atmosferde kalma süresi yaklaşık 2-4 ay arasında değişmektedir" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

Karbonlu yakıtların yakılması sonucu atmosfere atılan karbonmonoksidin, bitki ve diğer malzemeler üzerine zararlı bir etkisi söz konusu değildir. Ancak, kanda bulunan ve oksijen transferini sağlayan hemoglobinin karbonmonokside olan ilgisi, oksijene ilgisinin 200 katı kadardır. Bu nedenle, karbonmonoksit, hemoglobinle karboksihemoglobin verecek şekilde tepkimeye girerek kanın oksijen taşıma kabiliyetini azaltır ve dokulara oksijen gitmesini engelleyerek zehirlenmeye neden olur. Bu nedenle, karbon monoksit insan ve hayvan sağlığı açısından oldukça tehlikelidir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

8.3 Karbondioksit

"Karbonlu yakıtların tam yanma ürünü olan karbondioksit, zehirli olmayan, renksiz, kokusuz ve suda çözünebilen bir gazdır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

Karbondioksit molekülü (0=C=0) şeklinde lineer yapıya sahiptir ve (C=0) bağ uzunluğu 1.163 Â'e eşittir. Atmosferin doğal olarak oluşan bir bileşeni olan karbondioksidin, canlılar ve diğer malzemeler üzerinde belirgin bir olumsuz etkisi yoktur. Bu nedenle, karbondioksit kirletici olarak değerlendirilmemektedir. Ancak, fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan karbondioksidin atmosferdeki derişiminin artması, yarattığı sera etkisi nedeniyle istenmemektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

"Karbondioksit, 12-18 μm dalga boyu aralığında bulunan kızıl ötesi radyasyonu absorplama özelliğine sahiptir. 4 μm'den büyük dalga boylarında absorpsiyon gösteren gazlar, sera gazları olarak adlandırılmaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

Dünyaya gelen ve yerin yüzeyi tarafından absorplanan güneş ışığının dalga boyu 4 μm'den küçüktür. Isınan sıcak yüzeyler, 1-100 μm dalga boyuna sahip kızıl ötesi ışıma ile enerjilerini kaybederler. Atmosferdeki karbondioksit ve su buharı

derişimi normal seviyede ise, yeryüzüne giren güneş enerjisi miktarıyla karasal radyasyon sonucu yeryüzünden çıkan miktar birbirini dengelemektedir. Ancak, bu gazların atmosferdeki derişiminin normal seviyenin üzerine çıkması sonucu, büyük dalga boyuna sahip kızıl ötesi radyosyonun atmosfer tarafından absorpsiyonu artarken, küçük dalga boyuna sahip radyosyonda bir değişim olmaz ve doğal denge bozulur. Bu nedenle, atmosferdeki karbondioksit derişiminin artması dünyanın ısınması ve iklim kuşaklarının değişmesi gibi önemli sonuçları doğurmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.624).

8.4 Kükürt Oksitler

Kükürt oksitlerinin temel kaynağı, yakma sistemlerinde kullanılan kömürün içerdiği kükürttür. Kömürlerin kükürt içerikleri, oluşumları sırasındaki çevre şartlarına ve kömürleşme derecesine bağlı olarak %0,2 ile 11 gibi oldukça geniş bir aralıkta değişmektedir. Kömürde kükürt;

- Organik kükürt,
- Piritik kükürt (FeS_2) veya markasit (FeS_2) ve
- Sâlfat kükürdü olmak üzere üç farklı şekilde bulunmaktadır.

Kömür yanarken, içerdiği kükürtlü bileşikleri de yanar. Kükürdün yüksek sıcaklıklarda kararlı olan bileşiği kükürtdioksittir; ancak az miktarda kükürttrioksit de oluşmaktadır. Yanma sırasında oluşan kükürttrioksidin miktarı, yakma ünitesindeki sıcaklık profiline ve kullanılan hava fazlasına bağlı olarak değişmektedir. Kömürün yanması sonucu oluşan kükürt oksitlerin bir kısmı, yakma sistemindeki kül tarafından kimyasal olarak tutulmakta ve tutulan miktar külün bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

"Kükürtdioksit; renksiz, yanıcı ve patlayıcı olmayan, hafif kokulu bir gazdır. 0,3-1 ppm'lik derişimlerde ağızda karakteristik bir tat bırakmakta, 3 ppm'in üstünde ise boğucu bir hisse yol açmaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998,

s.625).

“Bağ uzunluğu (S - O) 1.432 Â ve dipol momenti 1.62 D olan kükürtdioksit molekülü polardır. Kükürtdioksidin atmosferde kalma süresi yaklaşık 40 gün olduğu için, kirlilik değerlendirmelerinde büyük önem taşımaktadır” (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

“Kömürün yakılması sonucu oluşan kükürtdioksidin miktarı basit bir hesapla bulunabilir. Kükürt içeriği %1 olan 1 ton kömürün yanması sonucunda, kömürde bulunan 10 kg kükürt oksijenle birleşerek 20 kg kükürtdioksit oluşturmaktadır” (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

“Kükürtdioksit gazı, atmosferde bulunan çeşitli bileşiklerle tepkimeye girebilmektedir. Bu tepkimelere örnek olarak, kükürtdioksidin (OH) serbest radikaliyle tepkimesi sonucu kükürttrioksit (SO_3) oluşumu verilebilir” (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

Renksiz bir gaz olan kükürttrioksidin, gaz fazdaki kükürttrioksit molekülü, bağ uzunluğu 1.43 Â olan bir mono merdir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

Kükürttrioksitin havada kalma süresi kükürtdiokside kıyasla çok kısadır (10^{-6} saniye). Ancak, bu gazın havadaki su buharıyla tepkimesi sonucu oluşan sülfürik asidin, asit yağmurlarını oluşturması önemli ölçüde kirliliğe neden olmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

Kükürttrioksit, atmosferdeki oksijenle hızla oksitlenerek sülfatlara da dönüşebilmektedir. Bu tepkime sonucu oluşan sülfatlar, yaklaşık 0,2-0,9 µm çapa sahip katı tanecikler olup, görünür ışığın 0,4-0,8 µm olan dalga boylarıyla girişim yaparak görüş uzaklığını azaltmaktadırlar (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

Atmosferdeki önemli kirleticilerden olan kükürt oksitlerinin canlılar, bitkiler ve eşyalar üzerinde olumsuz etkileri vardır. Özellikle kükürtdioksit, mukozayı tahriş ederek solunum sistemini etkiler ve bronşit, astım gibi kronik hastalıkların oluşmasına yol açar. Kükürt oksitlerinin diğer önemli etkisi yukarıda da belirtildiği gibi asit yağmurları meydana getirmeleridir. Hidrolojik çevrim, atmosferdeki su buharının yoğuşarak yağmura dönüşmesiyle meydana gelen nötr (pH=7) saf su içerisinde herhangi bir çözünmüş madde bulunmadığı için tamponsuz, yani tüm pH değişikliklerine açık bir ortamdır. Asidik özelliğe sahip gazların, çok az miktarda da olsa bu yağmur suyu içerisinde çözünmesiyle asidik (pH<5.6) yağmurlar oluşur. Yapılan çalışmalar, asit yağmurlarının %60-70'inin kükürtdioksit, kalanının ise azot oksit gazları etkisiyle oluştuğunu göstermiştir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.625).

Asit yağmurlarının çevreye olan zararlı etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir

- Yere düşen asidik yağmur sularının, yüzeysel akış sonunda karıştıkları alıcı ortamda doğal dengeyi bozması. Özellikle tatlı su göllerinde görülen bu durum, göl suyunun pH'mın 5,5'tan aşağıya düşmesiyle kitlesel balık ölümlerine, flora ve fauna değişmelerine yol açmaktadır.
- Asidik yağmurlarla yıkanan topraktaki besin maddeleri, bu suda daha çok çözünerek suyla birlikte topraktan gider. Ayrıca toprağın üzerinde bulunan bitki örtüsü ve mermer, kalker gibi malzemelerden yapılmış tarihi yapı ve antik eserlerde çok önemli zararlar meydana gelir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.626).

8.5 Azot Oksitler

"Kömür yakma sistemlerinden atmosfere atılan azot oksitlerin büyük çoğunluğu azotmonoksit (NO), çok azı ise azotdioksit (NO_2) formundadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.626).

"Amonyak, hidrojen siyanid, amin bileşikleri ve nitroz oksit (N_2O) gibi diğer azotlu bileşikler, yakma sistemlerinden kaynaklamnayan, antropojenik orijinli diğer

hava kirleticileridir" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.626).

"Moleküler azot (N_2), çevreyi olumsuz yönde hiç etkilemezken, azotlu bileşiklerin hemen hepsinin çevreye zararlı etkileri olduğu bilinmektedir" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.626).

Hava kirliliği değerlendirmelerinde, azotmonoksit ve azotdioksit gazları, atmosfere çok büyük miktarlarda atıldığı için büyük önem taşımaktadırlar. Renksiz, kokusuz ve zehirli bir gazdır. Azotmonoksit, 0,23 μm'den küçük dalga boylarında ışığı absorplar. Azotmonoksit molekülü, (N=0) şeklinde lineer yapıya sahip olup, bağ uzunluğu 1,14 Â'e eşittir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.626).

Azotmonoksidin yanma proseslerinde oluşumu üç farklı mekanizmaya göre gerçekleşmektedir

- Yüksek sıcaklıklarda, yanma havasındaki oksijen atomlarıyla moleküler azotun tepkimesiyle (termal NO)
- Yanma prosesinde yakıt içindeki azotun oksidasyonuyla (yakıt NO)
- Hidrokarbon serbest radikali ve moleküler azotun tepkimesiyle (promptNO).

Termal azotmonoksit oluşumunda aktivasyon enerjisi çok önemli bir etkiye sahip olduğundan bu oluşum, sıcaklığa çok bağımlıdır ve yüksek alev sıcaklıklarında gerçekleşmektedir. Yakma sistemindeki yüksek sıcaklık ve yüksek oksijen derişimi, azotmonoksit oluşumunu teşvik etmektedir. Termal azotmonoksit oluşumunu engellemek için bu iki değişkenden birinin veya her ikisinin aynı anda kontrol edilmesi gerektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.627).

Yakıta kimyasal olarak bağlı azot bileşiklerinin oksidasyonu sonucu, yakıt kaynaklı azotmonoksit oluşmaktadır. Yakıttaki azotlu organik bileşiklerin miktarının artmasıyla yakıt kaynaklı azotmonoksit oluşumu da doğal olarak artmaktadır. Kömürün yanması sırasında oluşan azotmonoksidin yaklaşık %50-90'ı yakıt kaynaklıdır. Yakma havasında bulunan moleküler azot çok kararlıdır.

Bu molekülün bağ parçalanma enerjisi 940 kJ/mol'dür. Yakıtta bulunan azot için bu değer, 250-627 kJ/mol arasında değişmektedir. Yakıta bağlı azotun aktivasyon enerjisi moleküler azota göre oldukça düşük olduğu için oksijenle, sıcaklığa bağlı olmaksızın hızla birleşebilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.627).

Yakıtın azot içeriğinden kaynaklanan azotmonoksit oluşumunu yakıt/hava oranı çok fazla etkilemektedir. Oranın düşük olduğu stokiometrik şartlarda yüksek oranda; zengin alev şartlarında ise düşük oranda azotmonoksit oluşmaktadır. Yakıt kaynaklı azotmonoksidin oluşumu üzerinde hidrokarbon oksidasyonunun da etkisi vardır ve bu durum oluşum kinetiğini daha karmaşık hale getirmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.627).

Yakma havasındaki moleküler azotun, serbest hidrokarbon radikaliyle tepkimeye girmesi sonucu da azotmonoksit oluşmaktadır. Yukarıdaki tepkimede oluşan HCN, serbest OH radikaliyle birleşerek CN'e, CN ise daha sonraki kademelerde azotmonokside oksitlenmektedir. Prompt NO'in oluşan azot oksitler içindeki miktarı oldukça düşüktür (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.627).

"Azotmonoksidin havadaki oksijenle tepkimesi sonucu oluşan azotdioksit, görünür ışığı absorpladığı için kırmızı - turuncu renktedir. Malzemeler üzerinde korozif etki yaratan bu gaz aynı zamanda insan sağlığı için de toksik özellik taşır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.628).

Havadan daha ağır olan azotdioksit, suda hızla çözünerek, nitrik ve nitröz asitleri oluşturur. Nitrik ve nitröz asit, yağmurlarla yeryüzüne düşer zararlı etkilere neden olur. Azotdioksit, atmosferdeki amonyakla birleşerek amonyum nitratı oluşturabilir. NH_4NO_3; bu durumda bitkiler için gübre görevi görür (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.628).

"Azotdioksit gazı, ultraviyole bölgedeki güneş ışınlarının iyi bir absorplayıcısı olduğu için, fotokimyasal sis gibi ikincil hava kirleticilerin oluşumunda önemli bir

rol oynar" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.628).

"Azotmonoksit, karbonmonokside benzer şekilde kandaki hemoglobinle birleşir ve kanın oksijen taşıma kapasitesini azaltır. Azotdioksit ise, solunum sistemini tahriş eder ve akciğer dokularının kırılganlaşmasına neden olur" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.628).

8.6 Hidrokarbonlar

Hidrokarbon, fosil yakıtlar gibi organik maddelerin yakılması sırasında oluşan çeşitli organik bileşikler için kullanılan genel bir terimdir. Hidrokarbonlar genel olarak; metan, etan, propan ile alifatik ve aromatik organik bileşiklerin türevlerini içermektedir. Biyolojik olarak aktif olan gaz halindeki hidrokarbonlar; iki sınıfa ayrılabilirler: biyokimyasal olarak inert olan alifatik (olefinler ve parafinler dahil) ve alisiklik hidrokarbonlar, hem biyolojik hem de biyokimyasal olarak aktif olan ve buharları mukoz membranlara en fazla zarar veren aromatik hidrokarbonlar (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.628).

Kömürün temel bileşeni olan karbonun değişik kimyası, metandan, uzun zincirli polimerlere kadar hemen hemen sonsuz sayıda farklı hidrokarbonların oluşumuna olanak vermektedir. Genellikle, atmosferdeki uçucu hidrokarbonlar, C_1-C_{10} aralığındaki hidrokarbonlar olarak bulunmakta ve tehlikeli olarak nitelendirilenler Hidrokarbonların insan sağlığına etkisi, bu maddelerin ağızdaki oksijenle etkileşimi sonucunda meydana gelmektedir. Zehirli fotokimyasal oksitleyiciler ve sis karışımı gibi ikincil kirleticilerin oluşumunda belirleyici rol oynamaları nedeniyle, kontrol edilmesi gereken bir kirletici olarak değerlendirilmektedirler. Hidrokarbonlar, ayrıca, SO_2 ve SO_3'ü H_2SO_4 dumanına (sisine) dönüştürebilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.628).

Atmosferdeki hidrokarbon miktarı, kentsel bölgelerde, sabahın ilk saatlerinde trafik yoğunluğuyla birlikte artmaktadır. Güneş yükseldikçe, fotokimyasal oksitleyicilerin oluşumuyla hidrokarbonlar tükenmeye başlamakta ve derişimleri

azalmaktadır. Öğleden sonra, daha küçük bir ikinci maksimum gözlenebilmekte ve gece boyunca derişimleri göreceli olarak daha düşük olmaktadır. Hidrokarbonların etkisini ifade eden değişken, üç saatlik bir zaman diliminde ölçülmüş olan, ortalama yıllık hidrokarbon derişimi cinsinden (ppm veya $\mu g/m^3$) verilmektedir. Zaman aralığı olarak da, birçok şehirde, pik hidrokarbon derişiminin gözlendiği zaman dilimi olan sabah 6-9 arası alınmaktadır. Metan, reaktif olmayan bir hidrokarbon olarak göz önüne alınmaktadır ve diğer hidrokarbonlara göre daha yüksek derişimlerde oluşmaktadır. Bu nedenlerden ötürü, hidrokarbon derişimleri, metan ve metan içermeyen hidrokarbonlar şeklinde rapor edilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.629).

8.7 Tanecik Kirleticiler

Tanecikler genel olarak, boyutları tek bir küçük molekülden (çapı 0,0002 μm) büyük, 500 μm'den küçük olan katı veya sıvı maddeler olarak tanımlanmaktadır. Bu boyutlardaki tanecikler, birkaç saniyeden birkaç aya kadar değişen sürelerde askıda kalarak, atmosferdeki konumlarım koruyabilmektedir. 1 g/cm^3 yoğunluğa sahip taneciklerin yaklaşık çökme hızları aşağıdaki gibi verilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.629).

"Çökme hızlarındaki bu farklılıklar, tanecik kirleticilerin atmosferdeki davranımlarının önemli ölçüde değişmesine neden olmaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.630).

Atmosferde doğal olarak, belirli seviyede tanecik yapıya sahip madde bulunmaktadır. Ancak, çeşitli aktiviteler sonucu oluşan emisyonlar, atmosferdeki tanecik derişimlerini artırmaktadır. Tanecikler, bronşite, anfızeme, damar hastalıklarına ve artan oranlarda ölümlere neden olabilen kirleticilerdir. 15 μm'den daha büyük tanecikler, solunamayacak kadar büyük tanecikler olmaları nedeniyle, sağlık bakımından doğrudan bir etkiye sahip olmamaktadırlar. Taneciklerin çevreye olan diğer zararlı etkileri; atmosferde meydana gelen

kimyasal reaksiyonları artırmak, görüş alanını azaltmak, çökme, sis ve bulut olasılığını artırmak, güneş ışınımını azaltmak suretiyle çevre sıcaklığı ve bitki büyümesinin biyolojik hızını değiştirmek ve önemli ölçüde malzemelerin kirlenmesine yol açmak şeklinde özetlenebilir. Söz konusu etkilerin şiddeti, bölgesel konuma bağlı olarak, atmosferdeki tane boyut aralığından, tanecik madde derişiminden ve taneciğin fiziksel ve kimyasal yapısından etkilenmektedir. Tanecik maddeler, doğrudan kirletici olmalarının yanı sıra, diğer kirleticiler için bir katalizör görevi de görmektedir. Örneğin, tanecik derişiminin 24 saatlik bir zaman diliminde 750 $\mu g/m^3$'e ulaşması halinde ve SO_2 derişimininde 715 $\mu g/m^3$ olması durumunda ölümcül vakalar meydana gelebilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.630).

Kömürün yakılmasından kaynaklanan taneciklerin boyut dağılımı ve miktarı, kömürün özelliklerine ve yakıcı tipine bağlı olarak değişmektedir. Tanecikler, geniş bir aralıkta değişen tane boyutuna ve bileşimine sahip olabilmekte ve uçucu gazlar tarafından yakma odasının dışına taşınmaktadırlar. Uçucu gazla taşman tanecikler toz veya grit şeklinde olabilmektedir. Kömürün yakılmasından kaynaklanan tanecikler, kimyasal olarak; karbon, silis, alumina, demir oksit, kükürt ve organik bileşiklerden oluşmaktadır. Ayrıca, eser miktarlarda diğer elementler de bulunabilmektedir. Yanma ürünleri olarak oluşan füme, duman ve fotokimyasal aeresoller, 0,1-1 μm çapındaki taneciklerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bunlar, boyutları küçük olduğu için, uzun süre, atmosferde serbestçe yüzen bir konumda askıda kalma eğilimine sahiptir ve genel olarak askıda kalan tanecikler olarak adlandırılmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.630).

"Kömürün yakılması sonucu oluşan tanecik emisyonlarının en önemli kaynakları, evsel ve endüstriyel yakma sistemleri ile güç santralleri şeklinde smıflandırılabilmektedir. Toplam tanecik yayınımının yaklaşık %85-90'ı, elektrik üreten güç santrallerinden kaynaklanmaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.630).

Evsel yakma sistemlerinden yayılan tanecikler, genellikle duman şeklinde olmaktadır ve küçük miktarlarda ince küller de içermektedir. Güç santrallerindeki toz kömür yakma sistemlerinde, kül çok ince olmaktadır ve bu külün %90'na yakın bir kısmı, uçucu kül şeklinde fırından dışarıya taşmabilmektedir (sadece %10-30'luk bir kısım taban külü olarak kalmaktadır). Modern bir güç santralinden tanecik atık emisyonu, yaklaşık olarak, oluşan toplam taneciklerin %0,6'sıdır (veya yanmış kömürün ağırlığının %0,1'idir). Bu, 2.000 MW'lık bir güç santrali için, 20 ton tanecik anlamına gelmektedir. Bu taneciklerin büyük bir bölümü de 20 µm'den küçüktür. Büyük taneciklerin %5'inden daha küçük bir miktarı, güç santraline yakın bölgelerde birikmektedir ve maksimum birikme miktarları genellikle 4-5 km'lik bir alanda meydana gelmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.630).

Yanma olayı genel olarak dört farklı tipte taneciğin oluşmasına neden olabilmektedir.

- Isı, daha sonra yoğuşabilen maddeleri buharlaştırabilir; böylece 0,1-1 µm arasındaki tanecikler meydana gelir.
- Yanma prosesindeki kimyasal tepkimeler, yaklaşık 0,1 µm'nin altında, kararsız moleküler kümeler içeren kısa ömürlü tanecikler oluşturabilir.
- Mekanik prosesler, daha büyük boyutlarda kül veya yakıt taneciklerinin yayınımına neden olabilmektedir.
- Yakma işleminin sıvı yakıtlarda olduğu gibi spreyler halinde gerçekleştirilmesi durumunda, çok ince kül doğrudan kaçabilmektedir.
- Fosil yakıtların kısmi yanması, kurum oluşturabilmektedir.

Tanecik derişimi, 24 saatlik bir zaman aralığında, bütün katı ve sıvı taneciklerin ortalama derişimi cinsinden ölçülmektedir. Etkinin değerlendirilmesi için, belirli bir bölgedeki 24 saatlik tanecik derişimlerinin yıllık aritmetik ortalama değeri belirlenir. 24 saatlik yıllık geometrik ortalama tanecik derişimi değerleri ve taneciklerin insan sağlığı üzerine etkileri göz önüne alınarak, tanecik değer fonksiyonu oluşturulmuştur (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.631).

8.8 Diğer Kirleticiler

"Kömürün yakılması sonucu, çevre kirliliği yaratan temel kirleticilere ilâve olarak çevreye yayılan diğer kirleticiler; asit sisi, eser elementler, radyoaktif atomlar ve atık ısıdır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.631).

"Asit sisleri, sıcaklığın düşük olması nedeniyle, kükürt oksitlerinin ve azot oksitlerin su damlacıkları tarafından absorplandığı, güç santrali çıkışı yakınlarında oluşmaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.631).

Eser elementler ise, kömürde bulunan mineral maddede mevcuttur ve çevreye iki şekilde yayılmaktadır

- Kül ve maden artıklarından çözünerek suya karışma
- Yakma sistemlerinden baca gazı ile atmosfere taşınım (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.631).

Bazı eser elementlerin, kömürden uzaklaşma şekli aşağıda verilmektedir:

Arsenik	Uçucu kül halinde
Kadminyum	Uçucu kül halinde
Civa	Yanma gazlarında buhar halinde
Kurşun	Uçucu kül halinde
Vanadyum	Cüruf ve uçucu kül halinde
Flor	Yanma gazlarında buhar halinde

"Kömürde bulunan eser elementlerin derişimi, yer kabuğundaki ortalama derişimlere yakındır. Yanma sonucunda, bu elementlerin çoğunun külde kalması nedeniyle derişimleri, karbon ve nemin uzaklaşmasından dolayı artmaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.631).

Radyoaktiflik, eser elementlerin özel bir durumudur. Kömür, radyoaktif özelliğe sahip birçok elementi (uranyum ve toryum gibi) içermektedir ve herhangi bir kaya

veya toprağın sahip olduğu radyoaktiviteye sahiptir. Yanma sonucunda, radyoaktif elementlerin çoğu külde kalmakta ve bu nedenle kül, kömürden daha yüksek radyoaktiviteye sahip olmaktadır. Ancak, yapılan çeşitli araştırmalarda, bu radyoaktifliğin granit, şist, bazalt ve kil gibi kayaçlardan daha fazla olmadığı sonucuna varılmıştır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.631).

Fosil yakıtların yakılması sonucu açığa çıkan ısı enerjisi, çevreye transfer olmaktadır. Konutların ısıtılması, ulaşım gibi amaçlarla tüketim sonrası çevreye verilen ısının, geniş alanlara yayılması nedeniyle, önemli bir etkisi söz konusu değildir; ancak, güç santralleri gibi büyük ölçüde enerji dönüşümünün gerçekleştirildiği sistemlerden verilen atık ısı, doğal yapıda bazı değişikliklere neden olmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.632).

8.9 Kirleticiler için İmisyon Kriteri

Hava kalitesi için çeşitli kirleticilerin zararlı ve tehlikeli miktarları, belirli standartlarda verilmektedir ve bunun için iki tip standart söz konusudur. Bunlar; çevre kalite standartları ve kaynaklar için emisyon standartlarıdır. Bu standartlarda insan sağlığını, doğal dengeyi ve eşyayı korumak esas alınır. İmisyon terimi, hava kalitesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. İmisyon sınır değerleri, atmosferdeki kirletici derişimlerinin izin verilen en yüksek değerleridir. Kirleticilerin imisyon sınır değerleri, alıcı kaynağa (insan, bitki ve hayvan gibi) bağlı olarak değişmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.632).

Atmosferdeki katı, sıvı ve gaz kirleticiler için yaygın olarak kullanılan imisyon kriteri, bu kirleticilerin havadaki kütlesel derişimidir ve $\mu g/m^3$ birimiyle ifade edilmektedir (ISO 4226). Çökebilen ve çökmeyen tanecikler için ise imisyon kriteri çeşitli birimlerde verilmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ve uluslararası standartlar (ISO 4226) tarafından kabul edilmeyen, ancak imisyon kriteri olarak kullanılan boyutsuz birimler de meveuttur. Amerika'da yaygın olarak kullanılan (ppm) ve (ppb) boyutsuz birimleri, gazlar için hacim, katı maddeler için kütle kriteri olarak kullanılmaktadır. Genellikle, havadaki çok

düşük derişimler için (ppb) birimi kullanılmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.632).

8.10 Kirleticiler için Emisyon Kriterleri

Kirleticilerin emisyon kriteri olarak çeşitli büyüklükler kullanılabilmektedir. Bu kriterlerin kullanılmasındaki temel neden, kirletici kaynaktan yayılan gerçek emisyon miktarının belirtilmesidir. Bu miktar, kaynaktan ayrılan bütün gazların zamana bağlı olarak kütle ve hacim miktarları, kaynağın verimi veya kapasitesi, kullanılan ham maddenin hacmi, sonuç ya da ara ürün gibi değişkenlere bağlı olarak yüzdece, hacimce ve kütlece olarak verilebilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.632).

Emisyon miktarı için nicel ve nitel kriterler de kullanılabilmektedir; bunlar, bacadaki veya bacadan ayrılan dumanın koyuluğu ve yoğunluğu, ışığı yansıtma ve absorplama yeteneği gibi özellikleri olabilir. Emisyon kriteri olarak, türetilmiş veya bağımlı ikincil kriterler de kullanılmaktadır (Örnek: Separatör kullanım süresi ve ayırma derecesi gibi) (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.632).

Emisyon kriteri, yalnız kirletici emisyonları ölçmek için değil, ikincil amaçlar için de kullanılabilmektedir. Ayrıca, belli bir kaynağın tek bir kısmında veya tamamında, farklı zaman aralıklarındaki verilerin değerlendirilmesinde veya bölgesel verilerin değerlendirilmesinde de emisyon kriterlerinden yararlanılmaktadır. Bu kriter, herhangi bir kaynaktan yayılan kirletici emisyonların kontrolü için de gerekmektedir. Genel olarak, ayırma donatımlarının çalışması, ürünün ve yanma rejiminin teknik seviyede değerlendirilmesi, kirletici yayınımının minimize edilmesi, emisyon kriterinin bilinmesiyle mümkün olmaktadır. Bunlara ilâve olarak, emisyon kriteri, tehlikeli bir şekilde artan hava kirleticilerde sınır değerleri saptamak için gereklidir. Kaynaktan atmosfere verilen emisyonların sınır değerlerini belirtmek için, havaya yayılan kirleticilerin izin verilen en yüksek derişim değerleri, en yüksek emisyon derişim değerleri, kabul

edilebilir emisyon derişim değerleri, kabul edilebilir emisyon katsayısı gibi çeşitli terimler kullanılmaktadır; ancak, bütün bu terimler emisyon sınır değeri tanımı altında toplanabilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.633).

8.10.1 Kütlesel Emisyon Debisi

Kütlesel emisyon debisi, birim zamanda atılan kirleticinin kütlesidir ve kg/s, kg/h ya da t/yıl birimleriyle ifade edilmektedir. Zaman birimiyle ilişkili bir kütle kriteri, emisyon miktarının tamamı için bilgi vermektedir. Bu kriter, temel olarak diğer emisyon verilerinin doğrudan kullanılamadığı bölgesel analizlerde ve alan analizlerinde, atmosfer kirlilik derecesinin ölçümü için gereklidir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.633).

8.10.2 Kütlesel Emisyon Derişimi

Kütlesel emisyon derişimi, belli sıcaklık ve basınçtaki nemli ya da kuru birim gaz hacmindeki kirletici emisyon kütlesidir ve (mg/m^3) ya da (g/m^3) birimleriyle ifade edilmektedir. Kaynağı terk eden gazın birim hacmiyle ilişkili bu kütle kriteri, kaynağı terk eden toplam gaz hacmi içindeki kirleticinin derişimini tanımlamaktadır. Derişim kriteri, kirletici kontrol teknolojisinde çok kullanılan bir kriterdir. Gaz emisyonlarındaki kirleticiyi ayırma derecesi ve derişimi bu kriterle ifade edilebilir ve gaz emisyonun temizlenmesinin gerekli olup olmadığı saptanabilir. Derişim kriteri, birçok ülkede, emisyon sınır değer koşulu olarak kullanılmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.634).

Derişim kriteri, hacim ya da kütle oranları olarak da tanımlanabilir. Kütle oranı; kirletici emisyon kütlesinin, gaz emisyon kütlesine oranı şeklindedir. Bu oran, katı (toz) emisyonların ölçümlerinde kullanılır ve (g/kg) veya (mg/kg=ppm) olarak ifade edilir. Hacim oram ise; kirletici emisyon hacminin, toplam gaz emisyon hacmine oranıdır. Gaz emisyonundaki kirletici gazların derişimlerini ifade etmede kullanılır ve ppm (ml/m^3) ya da (ppb) birimleriyle gösterilir. ISO 4226'da (1980), katı ve gaz emisyonların derişimleri (mg/m^3) olarak ifade edilmektedir (Karatepe,

Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.634).

8.10.3 Spesifik Bölgesel Emisyon

"Bir bölgenin yüzey alanına veya boşluk hacmine ait (emisyon yoğunluğu) kütle kriteridir ve atmosferik kirleticinin bölgesel değerlendirilmesinde kullanılmaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.634).

8.10.4 Emisyon Faktörü

Emisyon faktörü, herhangi bir kaynaktan atmosfere verilen kirleticinin aktivite başına ortalama miktarıdır ve genellikle kirletici ağırlığı/ilgili birim aktivite birimiyle ifade edilmektedir. Bu faktör kullanılarak farklı kirletici kaynaklardan oluşan emisyonlar tahmin edilebilir. Emisyon faktörleri genel olarak, kabul edilebilecek hassasiyetteki basit ortalama değerlerdir ve prosesle ilgili birçok parametre (sıcaklık, reaktan derişimi gibi) dikkate alınmadan hazırlanmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.634).

Emisyon faktörleri, farklı kaynaklardan yayılan kirleticilerin tahmini miktarını hesaplamak için kullanılmaktadır. Ancak, emisyon faktörlerinin, farklı hassasiyette ölçülmüş verilerden türetilmesi, bu faktörler kullanılarak yapılan hesaplamaların sonucunda elde edilen emisyon değerlerinin, gerçek değerlerden farklı olmasına neden olmaktadır. Yerinde ve gerçek şartlarında yapılan ölçümler, en doğru emisyon değerlerini vermektedir. Bununla beraber, bu yöntem pahalı ve güç bir işlem olduğu için tercih edilmemektedir. Bir tesis kurulmadan önce, çevreye olan olumsuz etkileri veya olası bir kapasite artışıyla meydana gelecek etkilerin tahmini için emisyon faktörlerinin kullanılması gerekmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.634).

Bir emisyon faktörünün hassasiyet derecesi mutlaka belirtilmelidir. Hassasiyet derecesi, Amerikan sisteminde (A)'dan (E)'ye kadar, İngiliz sisteminde ise (l)'den (5)'e kadar olmak üzere aynı kabullerle verilmektedir. (A); 10 veya daha fazla

kaynakta, genel kabul görmüş test yöntemleriyle yapılan ölçümlerin ortalamasını esas alan veya en iyi durumu gösteren emisyon faktörünü temsil eder. Buna karşılık emisyon faktörü, doğruluğu tartışılabilen tek bir ölçüm sonucundan veya benzer herhangi bir prosesten ekstrapolasyon yoluyla elde edilmişse, (D) ya da (E) sınıfında yer alır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.634).

8.11 Ülkemizdeki Durum ve Uygulamalar

Türkiye'de, yakma sistemlerinden kaynaklanan emisyonlar. Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği (1986) tarafından kontrol edilmektedir. Yönetmelikte, yakma sistemlerinden kaynaklanan önemli kirleticilerin emisyon değerlerine sınırlar getirilmektedir. Getirilen sınırların çoğu, Türkiye'deki mevcut yakıtların kalitesi için ulaşılması güç değerler olup, yakıt kalitesinin artırılması gerekmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.634).

Özellikle, arıtma işlemlerinin uygulanmasının mümkün olmadığı küçük tesislerde, yönetmeliğin uygulanması mümkün olmayacaktır. Bu yönetmelikte esas olarak;

- Türkiye'deki yakıt kalitesinin daha gerçekçi ve ayrıntılı tanımı,
- Yakma sistemlerinin spesifikasyonlarının, diğer ilgili yönetmelikleri de kaynak göstererek belirlenmesiyle, yakma veriminin sadece baca gazı bileşenleri olarak değil, yakma tipi ve yakma esasları belirtilerek ve akışkan yataklı yakma sistemleri gibi verimli yakma sistemleri kullanılarak artırılması yoluna gidilmesi,
- Emisyon standartlarının, bu tanım ve spesifikasyona uygun ve uygulanabilir seviyede belirlenmesi.
- Arıtma işlemlerinin, kirletici emisyonu yüksek büyük yakma sistemlerinde uygulanması, gerektiği belirtilmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.635).

"Türkiye'de, yakıt kaliteleri ve geliştirilmesi konusundaki çalışmaların, yukarıda belirtilen unsurlara bağlı olarak hızlandırılması ve enerji politikaları çerçevesinde,

yakıtların kullanım yerlerinin plânlanması gerekmektedir. Bu durum, konvansiyonel kirleticilerin dışında spesifik kirletici kontrolü açısından da büyük önem taşımaktadır" (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.635).

Bilindiği gibi, Türkiye'de elektrik üretiminin yaklaşık % 60'ı termik santrallerden elde edilmektedir. Türk linyitlerinin kükürt ve kül içeriklerinin yüksek olması nedeniyle, büyük miktarda linyit kömürü kullanan termik santrallerin kirletici emisyonları da çok yüksek olmakta ve çevreye verdikleri zarar da bununla orantılı olarak artmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.635).

Linyitlerin yanması sonucu oluşan gazlar ve küller, bacalardan atmosfere karışmaktadır. Toz kömür yakan tüm termik santrallerde, toz kontrol sistemleri bulunmakta olup, kullanılan sistem elektrostatik filtre sistemidir ve toz tutma verimleri %98-99,6 arasında değişmektedir. Termik santrallerden sadece Çayırhan'da 1991 yılında işletmeye açılmış bir kükürtdioksit kontrol sistemi (desülfürizasyon) bulunmakta olup, bu tesisin verimi % 90'dır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.636).

Bu kirletici emisyonlar, Hava Kalitesinin Korunması Yönetmeliği'nde verilen standartlarla karşılaştırıldıklarında. Kükürtdioksit ve azot oksitler emisyonları belirlenen maksimum sınırı aşmaktadır. Karbonmonoksit ve diğer emisyonlar, sınır değerlerinin altında kalmaktadır. Azot oksitlerin kirletme miktarlarının yanma kontrolüyle azaltılması mümkün olmakta ve bu miktar, ölçüm cihazlarının bulundukları santrallerde, sınırların altında kalmaktadırlar. Kirleticilerden, sadece tanecik ve kükürtdioksidin miktarları doğrudan yakıt özelliğine bağlıdır. Diğer kirleticilerin miktarları ise yakıt özelliği ile yakma teknolojisine ve yanma koşullarına göre değişmektedir (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.636).

Türkiye'de linyitle çalışan termik santrallerin kirletici emisyon debileri oldukça yüksektir. Bu santrallerin toplamında, tanecik emisyonları 7,7 t/h, kükürtdioksit 213,8 t/h, azot oksitler 48,5 t/h, karbonmonoksit 2,4 t/h, uçucu hidrokarbon

bileşikleri 0,3 t/h ve metan emisyonları ise 0,12 t/h olarak hesaplanmıştır. Yönetmelikteki mevcut sınır değerlerle karşılaştırıldıkları zaman, tanecik kontrolü açısından, mevcut sistemlerin bir çoğunun yetersiz olduğu ve desülfürizasyon sistemlerine gereksinim duyulduğu ortaya çıkmaktadır (Karatepe, Yavuz, Meriçboyu ve Öztürk, 1998, s.636).

BÖLÜM DOKUZ
TÜRKİYE'DE KÖMÜR YAKAN TERMİK SANTRALLER VE BU SANTRALLERDE KÖMÜRÜN YANMASI SONUCU OLUŞAN ÜRÜNLER

9.1 Türkiye'de Kömürle Çalışan Termik Santraller ve Özellikleri

Ülkemizin 2014 sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü bir önceki yıla göre 2.208 MW artarak 14.771 MW düzeyine yükselmiş olup toplam kurulu gücün %21,2'sine karşılık gelmektedir. Toplam kurulu güç içerisinde yerli kömüre dayalı kurulu güç 8.708 MW (%12,5) ve ithal kömüre dayalı kurulu güç ise 6.063 MW (%8,7) şeklindedir. 2014 yılında kömüre dayalı santrallerden bir önceki yıla göre %15,6 oranında artışla 73,7 TWh brüt elektrik üretilmiş olup toplam brüt elektrik üretimi içerisindeki payı %29,4 düzeyindedir. Bu miktarın 39,2 TWh kısmı yerli kömüre aittir. Yerli kömürün toplam brüt elektrik üretimi içindeki payı 2014 yılında %15,7 olmuştur (TKİ, 2015, s. 27).

"2015 yılında kurulu güç geçen yıla oranla %5,22 artarak 73.147 MW olmuştur. Puant talep ise %5,58 artarak 43.289 MW değerine ulaşmıştır" (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu - EPDK, 2016, s.ii).

"2015 yılında elektrik üretim miktarı 2014 yılına göre %3,07 artarak 259,69 TWh olmuştur" (EPDK, 2016, s.ii).

"Tüketim miktarı ise 2014 yılına göre %2,69 artarak 264,14 TWh'a ulaşmıştır" (EPDK, 2016, s.ii).

"Üretim miktarının %37,81'i doğal gazdan, %25,76'sı hidroelektrikten, %12,83'ü taş kömürü ve linyitten, %15,22'i ithal kömürden, %4,45'i rüzgardan, geri kalan kısım ise diğer kaynaklardan elde edilmiştir" (EPDK, 2016, s.ii).

"Yakıt türleri arasında en yüksek kurulu güç payına %34,1 ile doğal gaz (sıvı ve doğal gaz yakıtlı santraller dahil) sahiptir. Doğal gazı, %26,08 ile barajlı hidrolik santraller ve %11,84 ile linyit santraller izlemektedir. Yenilenebilir enerji

kaynaklarının (hidrolik dahil) toplam kurulu güç içerisindeki payı %42,71 olarak gerçekleşmiştir. Toplam termik kurulu gücün oranı ise %57,29 olarak gerçekleşmiştir" (EPDK, 2016, s.6).

Yerli kömürün ülkemiz elektrik kurulu gücü ve brüt elektrik üretimi içindeki payı hızla düşmektedir. 1986 yılında %37,3 düzeyine kadar yükselen kurulu güç içindeki pay 2004 yılında %18,4 düzeyine kadar gerilemiş, 2005 ve 2006 yıllarında devreye alınan Çanakkale Çan ve Afşin-Elbistan B santralleri ile %21 seviyesine kadar yükseltilebilmişse de daha sonra bu alanda yeni bir yatırımın devreye girmemesi nedeniyle 2013 yılında yerli kömürün kurulu güç içindeki payı %13,5 2014 yılında ise %12,5 olarak gerçekleşmiştir (TKİ, 2015, s. 28).

"Ülkemizde yerli kömür kullanan 40 adet elektrik santrali işletmededir. Bunlardan 26 adedi küçük kapasiteli otoprodüktör, 14 adedi büyük ölçekli santrallerdir. 2 adedi taşkömürü, 37 adedi linyit ve 1 adedi ise asfaltit santralidir" (TKİ, 2015, s. 29).

Yerli kömüre dayalı olarak işletmeye giren son termik santraller; 2005 ve 2006 yıllarında devreye alınan 320 MW kapasiteli Çanakkale Çan ve 1.440 MW kapasiteli Afşin-Elbistan B santralleri ile 2009 yılında devreye giren Ciner Grubu'na ait 135 MW gücündeki Silopi Santrali'dir. Son yıllarda, çeşitli girişimlerde bulunulmasına karşın yerli kömüre dayalı termik santral yatırımları konusunda önemli bir gelişme sağlanamamıştır. Bu konuda, belirli ölçüde yol alabilmiş sadece üç örnek mevcuttur. Bunlardan Bolu-Göynük Sahası TKİ tarafından özel bir firmaya termik santral kurma şartıyla ve rödövans ihalesiyle verilmiştir. Firma tarafından proje çalışmalarına başlanılmış ve 2x135 MW gücündeki santral için elektrik üretim lisansı alınmış olup santralin kuruluş çalışmaları sürdürülmektedir. Eskişehir-Mihalıçık'da bulunan kömür rezervinden elektrik üretimine ilişkin proje de yine aynı model kapsamında bir özel firma tarafından yürütülmektedir. 2x145 MW gücündeki santralin kuruluş çalışmaları devam etmektedir. Özel sektör tarafından sürdürülmekte olan bir diğer kömüre dayalı santral projesi ise Sabancı Holding tarafından yürütülen 450 MW gücündeki Tufanbeyli Santrali'dir. (TKİ, 2015, s. 29).

“EÜAŞ’a ait Hamitabat, Seyitömer ve Kangal Termik Santrallarının 2013 yılında, Çatalağzı, Kemerköy, Yeniköy ve Yatağan Termik Santrallarının ise 2014 yılında özelleştirmeleri işlemleri tamamlanmıştır” (EÜAŞ, 2016, s.21).

Diğer yandan, 07.08.2014 tarihinde özelleştirme kapsam ve programına alınan Soma-B, Tunçbilek ve Orhaneli Termik Santrallarının özelleştirilmesine ilişkin ihale süreçleri tamamlanmış ve 22 Haziran 2015 tarihinde bu 3 santral ihaleleri kazanan firmalara devredilmiştir. Afşin-Elbistan "A” Termik Santralının devri ile ilgili süreç ise devam etmektedir (EÜAŞ, 2016, s.22).

“Elektrik üretiminde dışa bağımlılığın azaltılması amacıyla, "Elektrik Enerjisi Piyasası ve Arz Güvenliği Strateji Belgesinde "Elektrik enerjisi üretiminde yerli kaynakların payının artırılması öncelikli hedeftir." Bilinen Linyit kaynakları ve taşkömürü kaynakları 2023 yılına kadar elektrik enerjisi üretimi amacıyla değerlendirilmiş olacaktır” (Yüksek Planlama Kurulu – [YPK], 2009).

Ancak, yerli kömürlerin elektrik üretiminde kullanımının arttırılması hususunda istenilen mesafe alınamamıştır. Son 14 yıldır yerli kömüre dayalı olarak temeli atılan santral kapasitesi toplam kurulu gücümüzün %1'i düzeyine bile yaklaşamamaktadır. Bunun sonucu olarak, yerli kömürlerimizin toplam elektrik üretimindeki payı %15'lere kadar gerilemiştir. Bununla beraber, ülkemizde elektrik üretimi amaçlı kullanılabilecek önemli kömür rezervleri bulunmaktadır. Söz konusu rezervlerden en yüksek ekonomik yararın elde edilmesini sağlamak amacıyla, kömür üretim faaliyetleri devam etmekte olan sahalarda mevcut proje ve planlamaların güncellenerek geliştirilmesi, henüz herhangi bir işletme projesi bulunmayan sahalarda işletme proje ve planlamalarının ortaya konulması, havza niteliği taşıyan bölgelerde ise havza madenciliğinin gerektirdiği orta ve uzun dönem planlamaları içeren ana master planlarının hazırlanması uygun olacaktır. Bu kapsamda, ülkemizde 20.000 MW'ın üzerinde kurulu güç yaratabilecek bir linyit/asfaltit potansiyeli bulunmaktadır (TKİ, 2015, s. 30).

“Türkiye elektrik sisteminde kurulu gücün kaynaklara göre gelişimi incelendiğinde bazı kaynakların miktar olarak arttığı, bazılarının ise sabit kaldığı görülmekte, ancak her yılın toplam kurulu gücü içinde kaynakların payları zaman içinde değişiklik göstermektedir” (Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü – TEİAŞ, 2015, s.81).

- Linyit payı 1984 yılında %27,9 iken, 2014 yılında %12,5 seviyesine düşmüş, bu çalışma sonuçlarına göre 2019 yılında %10,9 seviyesine düşmesi beklenmektedir
- Hidrolik payı 1984 yılında %45,8 iken, 2014 yılında %34 seviyesine düşmüş, bu çalışma sonuçlarına göre 2019 yılında %34,2 seviyesine yeniden yükselmesi beklenmektedir
- Doğal Gaz payı 1984 yılında sıfır iken, 2014 yılında %36,9 seviyesine yükselmiş, bu çalışma sonuçlarına göre 2019 yılında %34,2 seviyesine düşmesi beklenmektedir
- İthal Kömür payı 1984 yılında sıfır iken, 2014 yılında %8,7 seviyesine yükselmiş, bu çalışma sonuçlarına göre 2019 yılında %6,7 seviyesine düşmesi beklenmektedir
- Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesislerinin toplam kurulu güçteki payının ise 2008 yılında %0,8 iken 2014 yılında %5,2’ye yükselmiş olup, bu çalışma sonuçlarına göre 2019 yılında %6,5 seviyesine yükselmesi beklenmektedir
- Güneş enerjisine dayalı üretim tesislerinin toplam kurulu güçteki payı 2014 yılında %0,1 seviyesinde iken, bu çalışma sonuçlarına göre 2019 yılında %3,3 seviyesine yükselmesi beklenmektedir (TEİAŞ, 2015, s.81).

EPDK verilerine göre, 2015 yılı Mayıs ayı itibariyle yerli kömüre dayalı toplam 51 adet üretim lisansı yürürlükte olup bunların toplamı 11.188 MW'ı bulmaktadır. Ayrıca, yürürlükte olan 8 adet (2.360 MW) ön lisans ve değerlendirmede olan 3 adet (600 MW) ön lisans başvurusu bulunmaktadır. İnşa halinde olan yerli kömür yakıtlı santral sayısı 12 olup toplam gücü 3.446 MW düzeyindedir. Bunlardan 1.078 MW büyüklüğündeki 5 adet santral ise tamamlanma aşamasına gelmiştir (TKİ, 2015. s. 30).

Yerli kömüre dayalı santral yatırımları konusunda beklenen gelişme sağlanamamakla beraber, ithal kömüre dayalı santral kapasitesi giderek artmaktadır. 2000 yılına kadar elektrik sistemimizde ithal kömür santrali bulunmazken 2014 sonu itibariyle söz konusu santrallerin kurulu güç kapasitesi 6.063 MW düzeyine ulaşmıştır. Bu büyüklük, 2014 yılı sonu itibariyle toplam santral kurulu gücümüzün %8,7'sine karşılık gelmektedir. Mevcut gelişmeler, ithal kömür santral yatırımlarının önümüzdeki yıllarda da artarak süreceğini göstermektedir (TKİ, 2015, s. 31).

"Ülkemizde işletmede olan 9 adet ithal kömür santrali bulunmaktadır. Toplam kurulu gücü 6.063 MW olan bu santrallerin 2 adedi Çanakkale Biga'da, diğerleri Adana-Yumurtalık, Kahraman Maraş, Kocaeli-Gebze ve Zonguldak-Çatalağzı'nda kuruludur" (TKİ, 2015, s. 31).

İthal kömür yakıtlı elektrik üretim tesislerine ilişkin olarak; 12.059 MW gücünde 17 adet yürürlükte olan ve 11.535 MW gücünde 14 adet değerlendirmede olan üretim lisansı ile 4.788 MW gücünde yürürlükte olan 7 adet ve 5.480 MW gücünde değerlendirmede olan 6 adet ön lisans bulunmaktadır. EPDK verilerine göre, inşaat halindeki ithal kömüre dayalı santral toplam gücü 5.980 MW düzeyindedir (TKİ, 2015, s. 31).

Ülkemizde kurulu termik santralların büyük bir çoğunluğunda, yakıt olarak linyit kullanılmaktadır. Termik enerji üretiminde 1970 öncesi en büyük payı taşkömürüne dayalı santraller alırken, 1970'lerden itibaren linyite dayalı bir üretim politikası uygulanmıştır. Linyitlerimizin büyük bir kısmı termik santrallarda tüketilmektedir. Mevcut santrallarımızda ortalama 2.000 Kcal/kg düşük ısı değerli kömürler kullanılmaktadır. Türkiye'de kömürle çalışan termik santraller ve bazı özellikleri Tablo 9.1'de verilmiştir (Akar, 2009, s. 22).

Tablo 9.1 Türkiye'de kömürle çalışan termik santraller ve özellikleri (Akar, 2009).

Santral	Ünite x Gücü, MW	Kömür tüketimi, t/h	Kömür Özelliği			
			AID, kcal/kg	Kül, %	Nem, %	Kükürt, %
Yatağan	3x210	3x230	2100	20,5	36	2,7
Afşin-Elbistan	4x344	4x800	1050	15,3	57,7	1,4
Yeniköy	2x210	2x280	1750	29	33	2,72-5,96
Kemerköy	3x210	3x280	1750	29	33	2,72-5,96
Seyitömer 1-2-3	3x150	3x200	1800	35	34	1,5-2
Seyitömer 4	1x150	1x266	1400-2000	30-50	30-40	1,5-2
Soma A	2x22	2x44	3592	24,55	25,22	0,71
Soma B 1-2	2x165	2x166	2200	32	21	1,5
Soma B 3-4	2x165	2x166	2200	32	21	1,5
Soma B 5-6	2x165	2x275.5	1550	40,5	20.84	1,5
Tunçbilek 1-2	2x35	2x30	3650	33	22	
Tunçbilek 3	1x65	1x50	3900	25	23	
Tunçbilek 4-5	2x150	2x175	2000	42,4	22-24	1,17
Çayırhan	2x150	2x127.3	2800	29,91	27,5	4,65
Kangal	2x150	2x277	1300	21-22	45-51	1,5-2,3
Orhaneli	1x210	1x200	2560	23,8	32-36	1,9
Çan	2x160					
Çatalağzı	2x150					
Yumurtalık	2x605					

9.1.1 Soma Termik Santrali

Soma Termik Santralı, Soma ve civarında üretilen 2.500 kcal/kg ısıl değerden düşük kalorili kömürlerin yakılarak elektrik enerjisi üretmek, Batı Anadolu'nun elektrik ihtiyacının en kısa mesafeden karşılamak ve yörenin sosyal ve ekonomik yönden kalkınmasını sağlamak amacıyla, 1.034 MW kurulu gücünde ve yıllık üretimi 7,45 milyar kWh olarak Manisa ili Soma ilçesine bitişik Bakır çayı vadisinde 1.200.000 m^2'lik bir alan üzerine kurulmuştur. Sekiz tane üniteye sahiptir (Akar, 2009, s. 26).

Santralın kömür ihtiyacı TKİ Genel müdürlüğüne bağlı ELİ merkez bölgesinin Darkale ocaklarından sağlanmaktadır. Bölgede 2.000-5.000 kcal/kg ısıl değere sahip ocaklarından üretilen kömürler, I-IV. ünitelere %50'si bant - %50'si kamyon, V ve VI. ünitelere tamamı bant, VII ve VIII. ünitelere ise kamyonla

nakledilmektedir (Akar, 2009, s. 27).

Soma 1-4 Ünitesi (Aralık 2015 sonu itibariyle) değerleri;

Toplam Net Kömür	: 3.528.172 ton
Ortalama Toplam Nem	: %18,06
Ortalama Orijinal Kül	: %34,73
Ortalama Kuru Kül	: %42,38
Ortalama Alt Isıl Değeri	: 2.440,86 Kcal/kg
Baz Kalori	: 2.400 (2.000-2.800) Kcal/kg

Soma 5-6 Ünitesi (Aralık 2015 sonu itibariyle) değerleri;

Toplam Net Kömür	: 2.927.175 ton
Ortalama Toplam Nem	: %17,77
Ortalama Orijinal Kül	: %40,95
Ortalama Kuru Kül	: %49,80
Ortalama Alt Isıl Değeri	: 1.774,98 Kcal/kg
Baz Kalori	: 1.550 (1.300-1.900) Kcal/kg

"Elektrik üretiminde ihtiyaç duyulan su, kullanma hakkı tamamen şirkete ait 127.000.000 m^3 hacimli Seyisler barajından 80 cm çapında çelik borularla sağlanmaktadır" (Akar, 2009, s. 27).

Kömür; 1.600 ton/saat kapasiteli bantlar ve kamyonlarla santrale gelmekte kırma ve eleme tesislerinde 0-30 cm ebadında hazırlanarak stok sahasına serilmektedir. Kömür stok sahası santralın bir aylık kömür ihtiyacının karşılayacak durumdadır. Yıllık kömür ihtiyacı 7,2 milyon ton olan sistemde yanan kömür miktarının tespiti için radyoaktif kantarlar kullanılmaktadır (Akar, 2009, s. 27).

Kırıcı eleklerden ve kömür stok sahasından alınan kömür, bunkerlere her biri 800 ton/saat kapasiteli biri yedek, iki bantla taşınmaktadır. Bant uzunluğu 17,036 km.dir. Konveyör uzunluğu ise 8.456,5 m.dir. Kazanın temel dengesi için kömür bunkerleri her biri 500 m^3 olarak dört ayrı köşeye yerleştirilmiştir. Her kazanda 37

ton/saat kapasiteli ve 550 KW gücünde 6 adet değirmen bulunmaktadır. Değirmenlerin 4 adedi direkt birer bunkerden, 2 adeti çift bunkerden beslenmektedir. Öğütülen kömür, değirmenin yarattığı hava akımı ile kazanın içine toz halinde püskürtülerek yakılmaktadır (Akar, 2009, S. 27).

Yanma sonucu meydana gelen küller gazla birlikte bacaya giderken %99 verimle çalışan elektro filtreler yardımıyla tutulmakta ve curuf ile elektro filtrelerin alt çıkışından alınıp su ile karıştırılarak (1/7,9 litre) su toplama havuzuna buradan da pompalar yardımıyla kül barajına pompalanmaktadır. Dolan baraj kademelerinin üzeri topraklanarak, düzgün tarım alanı haline getirilmektedir (Akar, 2009, s. 27).

Baca yüksekliği I, II, III ve IV. gruplar için 150 metre, V. ve VI. gruplar için 275 metredir. Meteorolojik ve coğrafi şartlar etkisi ile de gaz ve kül çevreye herhangi bir zarar vermeyecek ölçüde düşürülmektedir. Curuf kazan altında bulunan paletli curuf çıkarıcı vasıtasıyla bantlı konveyörlere yüklenerek taşınmaktadır. Santralde yılda yakılan yaklaşık 8 milyon ton kömürden açığa çıkan kül miktarı yaklaşık 4.000.000 tondur (Akar, 2009, s. 22).

9.1.2 Yatağan Termik Santralı

Yatağan Termik Santralı, Muğla-Yatağan linyit havzasındaki düşük kalorili kömürün değerlendirilmesi ve ulusal enerji sistemin ihtiyacının karşılanması maksadıyla 1975 yılında yatırım programına alınmıştır. 3x210 MW gücünde ve yıllık üretimi 4.095.000.000 kWh/yıl olan Yatağan Termik Santralı Yatağan-Milas karayolunun üzerinde ve Yatağan ilçesine 3 km mesafedeki 1.163.600 m^2'lik bir alan üzerine oturtulmuştur (Akar, 2009, s. 22).

Yatağan Termik Santralında kullanılacak kömürün açık ocaklardan çıkarılışı ve 0-200 mm. boyutlarında TEAŞ'a verilişi Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Genel Müdürlüğü'ne bağlı Güney Ege Linyitleri İşletmesi tarafından yapılmaktadır. Yatağan Termik Santralinin kömür ihtiyacı 3 ünite için günde 18.000 ton civarındadır (Akar, 2009, s. 22).

Kömür işletmelerinden gelen kömürün şartnameden alınan analiz değerleri:

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

İşletmenin kömür kırma-eleme tesislerinde 0-40 mm boyutlarına indirilen kömür, konvektör bantlarla 885.000 ton kapasiteli stok sahasına alınır. Stok sahasından alınan kömür, %100 yedekli konvektör bantlarla +42 metre yükseklikteki kazan üstü bunkerlerine boşaltılmadan önce, sistemde yanan kömür miktarının tespiti için radyoaktif kantarlarla tartılmaktadır. Sahada 3 adet kömür park makinası mevcuttur. Bu makinalar kömürü stoklama, stoktaki kömürü alarak sisteme verme, gelen kömürü stoklamadan sisteme verirken üzerine stoktaki kömürü ilave edebilen pozisyonlarda çalışabilmektedir (Akar, 2009, s. 29).

"Su temini ise santralin ihtiyacı olan 1.600 m^3/h ham su 5 km uzaklıktaki Dipsiz su kaynağından, 6.000 m^3 hacimli ham su havuzuna alınır. Ayrıca 200 m uzaklıktaki 7 kuyular pompa istasyonlarından sağlanmaktadır" (Akar, 2009, s. 29).

Santralde mevcut %99,2 verimle çalışan elektro filtreler yardımıyla bacalardan kül çıkışı büyük oranda önlenmektedir. Ancak santrala verilen kömürdeki kül oranının yüksek olması halinde %35 kül oranına göre projelendirilmiş olan kül sevk tesisatında kapasite yetersiz kalmaktadır. Bu durumda önlem olarak ünitelerden yük düşülmekte ve böylece kül miktarı azaltılmaktadır. Ayrıca, ünitelerin devreye alınış ve devreden çıkışları esnasında baca gazı 135°C ulaşmadan elektro filtreler devreye alınmadığı için yaklaşık 1-2 saat süre ile bacadan kül çıkışı önlenememektedir. Normal işletme şartlarında elektro filtrelerin verimini yüksek tutabilmek için bütün hücreleri çalışır vaziyette olmasına azami titizlik gösterilmektedir. Elektro filtre altından, kazanın ara geçişinden, eko altından, bacadan ve luvo altından alınan kül, kül silolarında; kazan altından alınan curuf ise 1.200 ton kapasiteli curuf bunkerlerinde

toplanmaktadır (Akar, 2009, s. 29).

Kül silolarında biriken kül, her bir silonun altında bulunan kül ıslatma helezonlarında ıslatılarak konveyör bantlara aktarılır. Curuf bunkerlerinde biriken curuf da aynı banta boşaltılarak 2 km. mesafedeki kül stok sahasına taşınır ve burada raylar üzerinde hareket edebilen kül serme makinası ile santral sahasından gönderilen kireçli su ve diğer atık sular eşliğinde sulu sistem ile kül barajına atılmaktadır (Akar, 2009, s. 29).

"3x210 MW grup için gerekli linyit miktarı 753 ton/h tır. Açığa çıkan kül-curuf miktarı orijinal baz olarak 753 ton/h x 0,205=154 ton/h tır" (Akar, 2009, s. 30).

"Bunun 154 ton/h x 0,04 = 6 ton/h'lik kısmı curuf; 154 ton/h x 0,96 = 148 ton/h'lik kısmı da küldür" (Akar, 2009, s. 30).

9.1.3 Seyitömer Termik Santalı

Dünyada elektiriğin gün geçtikçe artan önemi karşısında Yurdumuzda mevcut fosil ve hidrolik kaynakların elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacıyla yapılacak etüt ve proje hizmetlerini yürütmek üzere 1935 yılında özel bir kanunla kurulan Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ) 1936-1939 döneminde Kütahya Linyit havzalarında kurulması düşünülen termik santrallerin ilk etüt ve projesi üzerinde çalışmalar yapmıştır.

Aynı kuruluş 1940-1944 döneminde Seyitömer Linyit havzasında bir Termik Santralin tesis edilmesi çalışmalarını sürdürmüş ancak II. Dünya Savaşı nedeniyle bu çalışmalar sekteye uğramıştır

I. Beş yıllık (1962-1967) Kalkınma devresine kadar herhangi bir çalışma olmamış ancak II. Beş yıllık kalkınma planına girecek büyük üretim tesislerini tespit etmek gayesiyle 1966 yılında yapılan çalışmalarla Seyitömer Linyit havzasının, kurulacak Termik Santralın fizibilite raporlarını ve ön projesini hazırlamıştır.

Daha sonra ETİBANK tarafından Fransız SOFRELEC ve STEIN et ROBAIS firmalarına bölgede bilinen 203 milyon ton linyit ile 140 milyon ton bitümlü sist (marn)'ın öğütülmesi ve yanma deneyleri ile fizibilite etütleri yaptırılarak önce 67. D. 02/0220 proje no'su ile 150 MW'lık bir ünite bilahare 67. D. 02/0221 proje no'su ile ikinci 150 MW'lık ünitenin tesisi öngörülmüş ve Aralık 1968 ile Şubat 1969 yıllarında Fransız Steın Industrıe (SI) ve İtalyan Gruppo Industrıe Elektro Mecanıche Per Impıantı All'entero (GIE) firmaları ile sözleşme imzalamıştır.

1974-1978 döneminde III. Ünite ve 1984-1989 döneminde ise IV. Ünite tevsii edilmiştir.

Seyitömer Linyitleri İşletmesi 1970 yılında 1312 Sayılı Kanunla Kurulmuş ve 08.06.1984 tarih, 233 sayılı Kamu İktisadi Teşebbüsleri hakkında Kanun Hükmünde Kararname Hükümlerine tabi olarak faaliyet gösteren Kamu İktisadî Kuruluşu statüsündeki Türkiye Elektrik Kurumu Genel Müdürlüğüne bağlı iken yeniden yapılanma doğrultusunda Kurumun 15.09.1993 tarih ve 93/4789 sayılı Bakanlar Kurulu kararıyla;

- Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. (TEAŞ)
- Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ)

Ünvanlı iki ayrı İktisadi Devlet Teşekkülü şeklinde teşkilatlandırılmasına müteakip 102896 Ticaret Sicil no'lu Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. (TEAŞ) Genel Müdürlüğü Termik Santraller İşletme ve Bakım Daire Başkanlığına bağlı bir üretim birimi iken; Türkiye Elektrik Üretim - İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Bakanlar Kurulu'nun 05.02.2001 tarih, 2001/2026 sayılı Kararı ile

- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ)
- Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ)
- Türkiye Elektrik Ticaret ve Taahhüt A.Ş.(TETTAŞ)

ünvanlı üç ayrı İktisadi Devlet Teşekkülü şeklinde yeniden teşkilatlandırılmıştır.

Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğünün Yönetim Kurulunun oluşması ile 01.10.2001 tarihinde fiilen faaliyetine başlamış, İşletmemiz Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü Termik Santrallar ve Maden Sahaları Daire Başkanlığına bağlı bir üretim birimidir.

Seyitömer Linyitleri İşletmesi hızla kalkınmakta olan Yurdumuz Ekonomik ve Sosyal yaşamında vazgeçilmez yeri olan ve her geçen gün artan elektrik enerjisinin karşılanmasında katkıda bulunmak ve Seyitömer Havzasında istihsal edilen ticari değeri bulunmayan düşük kaliteli linyit rezervlerinin değerlendirilmesi amacıyla tesis edilmiştir.

Kütahya'nın 28 km Kuzeybatısındaki Seyitömer Bölgesinde SLİ Tesisleri ile entegre olarak 150 MW gücünde 4 ünite halinde inşaa edilen ve toplam 600 MW kurulu gücündeki Seyitömer Termik Santrali, Türkiye toplam kurulu kapasitesinin %1,1'ini temsil etmektedir (Çelikler Holding, b.t).

I.Ünitesi : 1973
II.Ünitesi : 1974
III.Ünitesi : 1977
IV.Ünitesi : 1989 yılında üretim faaliyetine geçmiştir.

Seyitömer Termik Santrali, Türkiye'nin sanayi ve yerleşim açısından yoğun elektrik talebi yaratan kuzey batı bölgesinde, 27 km'lik demiryolu ile Eskişehir-Balıkesir demiryolu hattına bağlıdır (Çelikler Holding, b.t).

Santralin ünitelerinin her birinin yıllık üretim kapasitesi 975 Milyon kWh olup dört ünitenin toplam yıllık üretim kapasitesi 3,9 Milyar kWh'dır. Üretilen bu enerji I.-II. ve IV. ünitelerde 380 kV çıkışlı olarak, III. ünitede ise 154 kV çıkışlı olarak enterkonnekte sisteme verilmektedir (Çelikler Holding, b.t).

Her ünitenin 500 t/h buhar üretim kapasiteli tabii sirkülasyonlu ve kızdırıcılı tip kazanlarında yakılan kömürün;

I-II-III. Üniteler için;

Kalorifik Alt Isıl Değeri	: 1.750 +- 100 kCal/Kg
Kül nispeti	: % 35 (Orijinal)
Rutubet	: % 40 (Orijinal)

IV. Ünite için;

Kalorifik Alt Isıl Değeri	: 1.600 +- 100 kCal/Kg
Kül nispeti	: % 45 (Orijinal)
Rutubet	: % 40 (Orijinal)

değerlerinde olup kWh başına yaklaşık 1.500 gr ve Santralın nominal üretimine karşılık 5,850 milyon ton kömür tüketilmektedir.

kWh başına 2,5 litre olarak tüketilen su ise; 4,5 milyon m^3 rezerv kapasiteli Enne Barajından pompa ve isale hattı vasıtasıyla temin edilmektedir.

Bunun yanında kül döküm sahalarının toprakla kaplanması ve yeşillendirilmesi çalışmaları da devamlı olarak yapılmaktadır.

Çelikler Seyitömer Linyit İşletmelerinde yer alan maden sahalarında 200 milyon tonun üzerinde kömür rezervi bulunmaktadır. Santralde yakılan kömürün ortalama kalorifik değeri 1.700 Cal/kg olup santralin normal üretimine karşılık yılda yaklaşık toplam 6.000.000 ton kömür tüketilmektedir (Çelikler Holding, b.t).

Çelikler SLİ Linyit üretim kapasitesi 7.700.000 ton/yıl dır. Tablo 9.2'de ruhsat sahaları gösterilmiştir. Tablo 9.3'de 1960 yılından 01.01.2013 tarihine kadar üretim ve dekapaj miktarları gösterilmiştir.

Tablo 9.2 Çelikler Seyitömer Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü ruhsat sahaları (01.12.2013 itibari ile)

RUHSAT ALANI (ha)	RUHSAT YERİ	BAŞLAMA TARİHİ	BİTİŞ TARİHİ	KÖMÜRLÜ ALAN (ha)	OCAK	REZERV MİKTARI (TON)	KALORİ (kCal/kg)	İTFA TON/M3
6.877,91	Seyitömer	04.01.1998	04.01.2054	1.442	Açık	145.115.440	A Damarı 1550	1/3,11
2.022,89	İsakcilar	08.11.2012	21.03.2042	31	Açık	18.488.811	B Damarı 1776	1/3,11
754,94	arslanlı	30.11.2012	30.11.2022	0,0525	Açık	3.765	2017	1/0,34

Tablo 9.3 Seyitömer Linyitleri İşletmesi'nin kuruluşundan (1960), 01.01.2013 tarihine kadar kömür üretimi

ÜRETİM (TON)	
E.Ü.A.Ş.	168.759.970
TÜGSAŞ	17.338.690
TESHİN	41.607.924
TOPLAM SATIŞ	227.706.584
ZAYİAT VE İÇ TÜKETİM	15.974.799
ÜRETİM (TON)	243.681.383
DEKAPAJ PROGRAM (m^3)	659.963.000
DEKAPAJ FİİLİ (M^3)	541.779.578

Kazanlar

Kazanlar, tabii sirkilasyonlu, domlu, radyasyonlu, ocak bölümü gaz sızdırmaz şekilde kaynaklı ekran boru duvarlı, çift duman gazı geçişli ve tekrar kızdırmalı tiplidir.

Kazanlarda linyit ve marn karışımı dengeli çekiş tipinde ve teğetsel yakma sistemi ile yakılmalıdır.

Kızdırıcılar

I. ve II. Ünite kazanlar 500 t/h, III. ve IV. Ünite kazanlar 480 t/h maksimum devamlı buhar debisine göre imal edilmişlerdir. Kızdırıcı ve tekrar kızdırıcılarda buhar çıkış sıcaklığı 540°C'de sabit tutacak şekilde su püskürtmeli olup kızgın buhar çıkış basıncı 140 Kg/cm^2 dir.

Kızdırıcılar I. ve II. Ünitelerde yatay, III. ve IV. ünitede dikey tiptir. Tekrar kızdırıcılarda çıkış sıcaklığı 535-540^{o}C'de sabit tutulmak üzere su püskürtmelidir.

Kazan Altı Sistemleri

I. ve II. Ünite kazanlarda sıcak curuflar direk kazan altı tekne suyuna düşmekte III. ve IV. Ünite kazanlarda ise ocak hopper'ı altına yerleştirilen mekanik çalışmalı bir ızgara ile hem büyük ve sıcak curufların kazan altı tekne suyuna direk düşmesini önlemekte hem de curuftaki yanmamış karbon miktarını azaltmaktadır.

Kazan altı curuf paleti çıkarıcılarıyla curuf I.-II. ve III. ünitelerde TC1 bandına verilmektedir. III. Ünitede TC1 bandında bir problem olduğu zaman, üretimin düşmemesi amacıyla curufu D2 bandına verecek bir curuf çıkarıcı daha vardır. 4. Ünite curufu paletli çıkarıcılar sistemiyle curuf silosuna verilmektedir.

Kurum Üfleme Tesisatı

I.-II. ve III. Ünitelerde kurum üfleme işlemi hava ile yapılmaktadır. Ocak içi; sabit kurum üflemelerle, kızdırıcılar ise hareketli kurum üflemelerle temizlenmektedir. IV. ünitede ise kurum üfleme işlemi buharla yapılmaktadır. Ocak içi; sabit kurum üflemelerle, kızdırıcılar; hareketli kurum üflemelerle temizlenmektedir.

Değirmenler

I. ve II. Ünitelerde fanlı santrifüj tip değirmenler kullanılmaktadır. Her bir ünitenin 6 adet değirmeni vardır. 5 değirmen devrede 150 MWh'ı verecek şekilde dizayn edilmiştir. Bir değirmen yedektir.

III. ve IV. Ünitelerde fanlı ve çekiçli tip değirmenler kullanılmıştır. Her bir ünitede 6 değirmen vardır. Dizayn'da 5 değirmen devrede, 1 değirmen yedek olarak düşünülmüştür. IV. ünite değirmen kapasiteleri büyük olduğu için dizayn kömüründe 4 değirmenle 150 MW üretim yapılabilmektedir.

Buhar Türbünleri

Türbinler, iki silindirli, tandem kompound, çift eksozlu kondensatlı ve tekrar kızdırmalı tiplidir.

I. ve II. Ünite türbinlerde yüksek basınç, orta basınç, ara orta basınç ve alçak basınç kısımları, 3. ve 4. grup türbinlerde yüksek basınç, orta basınç ve alçak basınç kısımları vardır.

I. ve II. Ünite türbinlerde, yüksek basınç-impuls kanatları 1 adet körtis kademesi ve 14 çift reaksiyon kanatları kademesinden ibarettir. Ara basınç-reaksiyon kanatları 16 kademedir. Alçak basınç reaksiyon kanatları her akış için 6 kademe olmak üzere toplam 12 kademedir. Besi suyunu ısıtmak için 7 adet ara buhar çıkışı vardır. 4 Alçak basınç ısıtıcısı, 2 Yüksek basınç ısıtıcısı ve 1 besi suyu tankı vardır.

III. Ünite türbinde, Yüksek basınç türbini 1 körtis kademesi, 12 çift reaksiyon kanatları dizisi, Orta basınç türbini 12 çift reaksiyon kanatları dizisinden oluşmuştur. Alçak basınç türbini ise iki akışlı her biri 6 çift reaksiyon kanatlarından oluşmuş olup 12 kademedir. Besi suyunu ısıtmak için 6 adet ara buhar çıkışı vardır. 1 besi suyu tankı 3 alçak basınç ısıtıcısı ve 2 yüksek basınç ısıtıcısı vardır.

IV. Ünite yüksek basınç türbini 1 körtis kademesi,18 çift reaksiyon kademesinden ibarettir. Orta basınç türbininde 22 çift reaksiyon kademesi mevcuttur. A.B.Türbininde ise iki akışlı 7 çift kademe olmak üzere 14 çift kademedir. Besi suyunu ısıtmak için 6 adet ara buhar çıkışı vardır. 1 besi suyu tankı 3 alçak basınç ısıtıcısı ve 2 yüksek basınç ısıtıcısı vardır.

Her bir ünitenin çift bölmeli, çift geçişli ve yüzeysel soğutmalı kondenserleri mevcuttur.

Soğutma kuleleri cebri çekişli fanlı soğutmalı tip ve dikdörtgen şeklindedir. I. ve II. Ünite soğutma kuleleri ahşap yapıya sahip olup, 9 hücreden oluşmuş hava akımı çekişli çift ve çapraz akışlı buharlaştırıcı tiptir.

III. ve IV. Ünite soğutma kulesi ise 6 hücreden ibaret olup, beton yapıya sahiptir. Çift çapraz akışlı, buharlaştırmalı sisteme sahiptir.

Generatörler

Generatörler, hidrojen soğutmalı, tamamen kapalı, yatay millidir. Generatörlerin ürettiği elektrik enerjisi transformatörlerden geçirildikten sonra 380 kV - 154 kV olarak Enterkonnekte sisteme, 33 kV olarak Köyler, SLİ, Etibank Gümüş üretim tesislerine ve Enne Barajına verilmekte 6 kV olarakta Santralın iç ihtiyacında kullanılmaktadır.

Generatördeki hidrojenin soğutulması, Hidrojen su soğutucularıyla olmaktadır. Soğutma suyu sirkülasyon suyu hattından alınmaktadır. Yardımcı soğutma suyu pompaları çıkışından alınan soğutma suyu hattıyla soğutma suyu sağlanmaktadır.

Generatörlerden hidrojenin kaçmasını önlemek için sızdırmazlık yağ sistemi mevcuttur. Sızdırmazlık yağ sistemi; Sızdırmazlık labirentlerinde yağ basıncını hidrojen basıncının üstünde tutarak hidrojen gazının kaçmasını önlemektedir.

Kül Curuf Tesisleri

Kazanlarda yakılan kömürün külü baca gazı ile sürüklenirken her ünite'de 2'şer adet elektrofiltreler tarafından tutulur. Burada tutulan küller pnomatik sistemle kül, kül silolarına gönderilir.

Ayrıca yakılan yakıtın curuflarıda içinde su bulunan kazan altı teknesine düşer ve burada soğur. Kazan altı paleti vasıtasıyla alınan curuflar konveyör bantlarla silolara verilir.

Elektrofiltre altında toplanan uçucu küller, I. ve II. Ünitelerde ara bunkerlere toplanarak pnomatik olarak ejektör sistemiyle 900 m^3'lük kül silolarına gönderilir. III. ve IV. Ünitelerde ise elektrofiltre altında toplanan uçucu küller 85m^3'lük ara bunkerde toplanmakta, peters pompalarla ve hava sistemiyle III.Ünitede 900 m^3'lük kül silosuna, IV. Ünitede ise 1.100 m^3'lük kül silosuna gönderilmektedir.

III. ve IV. Ünite elektrofiltre altında toplanan küllerin çok küçük boyutta olanları, ara ince kül toplama bunkerine alınmakta, buradan da uçucu kül satış bunkerine nakil edilmektedir.

Paletli curuf çıkarıcılarından alınan curuf, curuf silolarına nakledilmekte, buradan curuf vibratörleri vasıtasıyla bant üzerine aktarılmaktadır.

Kül silolarından alınan kül nemlendirilerek curuf silolarından alınan curufla birleştirilerek sulu sistem ile ve 450 t/h kapasiteli konveyör bantlarla Santraldan 3 km uzaklıktaki kül barajına atılır.

9.2 Yanma Sonucu Oluşan Ürünler ve Davranışları

"Kömür; havanın oksijeni ile doğrudan doğruya yanabilen, %55 ile %95 arasında, serbest veya bileşim halinde karbon ihtiva eden, katı organik kökenli kayaçlar olarak tanımlanmaktadırlar" (Akar, 2009, s. 33).

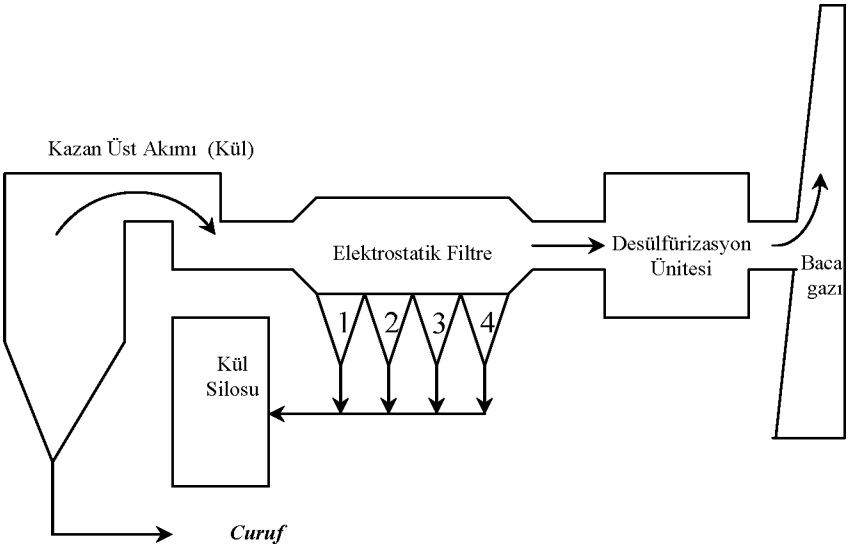
Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, özellikle endüstrinin diğer kesimlerinde değerlendirilme imkanı bulunmayan düşük kalorili, kül oranı yüksek linyit kullanılmaktadır. Kömür ile çalışan termik santraller, doğaya saldıkları katı ve gaz atıklar sebebiyle, gerek atmosferin kirlenmesinde gerekse de ekosistemin zarar görmesinde çok etkili rol alırlar. Yetmişli yıllarda termik santrallerin üretimini arttırmak amacıyla yeni tekniklerin uygulanması, düşük kaliteli kömürlerin değerlendirilmesi olanaklarını arttırmış ve yanma sonucunda da düşük kaliteli

linyit kömürlerinin oluşturduğu gaz ve toz emisyonları ile büyük miktardaki katı atıklar (uçucu ve taban külü, curuf ve baca gazı) meydana gelmiştir. Bu sorunlar hem linyitin hem de yakma sisteminin özelliklerinden kaynaklanmaktadır (Akar, 2009, s. 33).

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 ile dolu ve periyodik olarak boşaltılan curuf oluklarına boşaltılır. Curuf katı olarak ya da su içerisinde çökeltilerek taşınır. Curuf/uçucu kül oranı, kömür içerisindeki kül miktarına ve curuf/elektro filtrede tutulan kül oranına bağlıdır. Bu oran genelde 5/95 ile 20/80 arasında değişmektedir. Ancak bu oran tam olarak kesin değildir (Akar, 2009, s. 33).

Geri kalan katı maddeler ise uçucu kül ve taban külü olarak tanımlanırlar. Uçucu küller 10-200 μm çapa sahip, camsı yapıda ve çoğunlukla küresel tanelerdir. Bunlar kazanı hava akımı ile terk ederler ve bacadan atılmadan önce elektrostatik veya bez filtrelerde tutulur. Çok ince uçucu kül tanelerinin bir kısmı da baca gazı ile atmosfere salınırlar. Taban külleri ise uçucu küllerden daha büyük ve ağır, yerçekimi ile kazan tabanına çökelen küllerdir (Akar, 2009, s. 33).

Günümüzde termik santrallerde elektrik üretimi sırasında genellikle pulverize kömürün yakıldığı kuru dip şarjlı kazanlar kullanılmaktadır. Bu tip termik santrallerde kömürü yakmak için genellikle fuel-oil tercih edilmektedir. Yanma sonrası oluşan uçucu gazlar yüksek verimlerde çalışan elektrostatik filtrelerde tutulmakta ve desülfürizasyon ünitelerinde kireç ile muamele edilmektedir. Şekil 9.1 de yanma sonrasında oluşan ürünlerin yanma kazanından hangi bölümlere gittikleri gösterilmektedir (Akar, 2009, s. 33).



Şekil 9.1 Kömür yakan termik santrallerde kazandan çıkan ürünlerin dağılımı (Akar, 2009).

Kömür yakan termik santrallerde yanma kazan içerisinde kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak 900-1.400°C arasında gerçekleşir. Kömür parçaları kazan içerisinde ısınır, buharlaşabilen maddeler gaz haline gelir ve yanma gerçekleşir. Mineraller yüksek ısı altında bozunup erimeye, parçalanmaya başlar ve aglomere olurlar. Bir başka şekilde ifade edilecek olursa yanma sırasında kömürdeki anorganik yapıdaki değişikliğin, kömür kül yapısını ve ergime sıcaklığını etkilediği ve bununda yanma koşullarında aglomerasyona neden olduğu bilinmektedir. Oluşan bu madde termik santrallerimizde büyük problemlere yol açmaktadır. Zamanla kazan içinde curuflanmalar meydana gelmekte buda yanma verimini düşürmektedir. Dolayısıyla enerji üretimini olumsuz etkilemektedir. Zaman zaman kazanı temizlemek amacıyla santral durdurulmakta buda enerji üretiminin durmasına sebep olmaktadır (Akar, 2009, s. 34).

BÖLÜM ON
BU KONUDA DAHA ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu çalışma, Çan havzasından eser elementlerin jeokimyasal ve Miyosen linyit kömür kalite parametreleri üzerinde duruluyor. Oniki kömür numuneleri, yakın ve nihai analizler kullanılarak incelenmiştir, X-ışını toz kırınımı, endüktif plazma kütle spektrometresi, indüktif eşleşmiş plazma atomik emisyon spektrometresi, enerji dağılımlı X-ışını mikroanaliz ve organik petrografik analizleri ile taramalı elektron mikroskobu birleştiğinde bir hava kurutulmuş bazda Çan kömürlerinin (%4,42'den %36,72 arasında değişen) kül geniş varyasyonu, (%8,10 kadar) yüksek toplam kükürt içeriği ve yüksek brüt kalorifik değerler (3.870-6.612 kcal/kg). ile karakterize edilir. Çalışılan kömür numunelerinin mineral madde içeriğinde kuvars, pirit, kil minerallerinin ve alçı oluşur. Ana elementler kuru kül içeriği inorganik bileşenleri ile bir ilişki gösteren ile pozitif korelasyon göstermektedir. As, B, Ba, Be, Cd, Cu, Co, F, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Th, Tl, U, V ve Zn olmak üzere yirmi eser elementler, çevre ve insan sağlığı ile ilgilidir. İstatistiksel analizlere dayanarak, Ba, Mo, Se ve U hariç iz elementlerin, çoğu kül içeriğine bir yakınlık göstermektedir. Cu, Co ve Hg gibi elementler pirit ile ilişkili olduğu görünmektedir. Eser elementlerin konsantrasyonları, Dünya kömür ortalamasının aralığında bulunmaktadır. Ancak, V içerik dünya kömür değeri ve bazı kömür örneklerinde, B ve U gibi bazı uçucu elementlerin değerlerinden daha yüksektir (Gürdal, 2008).

Bir çevre odası tarafından maden kömür kullanımından civa akışını ölçmek için inşa edilmiştir. UCT (CUB) örnekleri, uçucu kül, FGD alçıtaşı ve FGD alçı yapılmış duvar panosu örnekleri test edildi. Civa açıklamaları; uçucu kül için -6.8 ila 73 ng/m^2 h arasında değişen 7 günlük deneme ortalamaları ile, çok çeşitlilik numuneler ve OGG/sunta örnekleri için -5.2 ng 335/m^2 h. İlk civa içeriği, kül türü ve ışığa maruz kalma civa akısının hiçbir gözlemlenebilir tutarlı etkisi vardı. Bir civa kontrol teknolojisinin etkisi emisyonunu azaltmak için, uçucu kül numuneler için oldu (Pekney, Martello, Schroeder ve Granite, 2009).

İz elementleri ve oksijen yanma artıklarını özelliklerinin akıbeti kömür ve kireçtaşı (yatak malzemesinin) ile beslenen akışkan yatak (BFB) oksi yanmalı pilot tesis 90 kWth değerlendirilmiştir. Sam-örnekleme katı akışları (kömür, kireçtaşı, alt kül, siklon uçucu kül ve torba filtre uçucu kül) ve egzoz gazı (SOx, NOx, CO2, CO ve Hg) %70 yükte çalışan 4 saat boyunca gerçekleştirilmiştir. Ham gaz ve tek olarak 800-820 °C 70:30 CO_2/O_2 oranı oksi-yanma test çalışması (re-dolaşımı olmadan). Cl düşük tutulması (%19) elde edilir SO_2 (% 98,2), NOx (%99,9) ve Hg (%92,5) ve geri kalan elemanları, (%99,9) tutma, yüksek verim elde edilir. Gaz halindeki Hg türleşme gazhalindeki Hg en Hg0 egzoz gazı meydana olduğunu ortaya çıkarmıştır. Egzoz gazındaki Cl ve Hg oranlan egzoz gazının kısmi yeniden sirkülasyonu ile daha sonra CO_2 bakımından zengin, gaz işleme ve oksi-yakma döngüsüne göre endişe düşünülebilir. Elementlerin çoğu için yüksek azaltma kapasitesi (Hg, S, B, Se, Cd, ve Sn, As NHJ, F, Se) çoğunlukla torba filtreler yoğunlaşma etmektir. Düşük gaz sıcaklığı (45 °C) ve yüksek Ca içeriği torba filtrelerde toplanan uçucu külün üzerinde yoğunlaşmayı teşvik etmektedir. Torba filtreler Hg gaz türleşme ve zenginleştirme Hg çoğu Hg- sülfat türü olarak büyük olasılıkla, Hg_2 + olduğunu koruduğunu göstergesidir. Kalsit ve kireç torbası filtre uçucu kül siklon uçucu kül ve alçıtaşı-bazanit taban külü, kuvars, illit ve kalsit ana kristal fazlar vardır. Bu türlerin çözülmesi taban külü ve siklon uçucu kül sızıntı suları ve torba filtre uçucu kül sızıntı suları hafif (pH = 8) ve orta derecede alkalinite (pH = 10,7-11,1) üretir. oksi-yanma artıklarının elemanların çoğunun liç potansiyeli Kararı 2003/33 / EC sayılı göre tehlikeli olmayan malzemelerin aralığında düşüktür. Sızabilir potansiyelini artırmak olur ve sonuç olarak, uçucu kül, bu tip bertaraf etkileyebilir bahsedilen elemanlar bakımından zengin bir yakıt kullanımı ile birlikte, çevre endişe edilebilir (Font ve diğer., 2012).

Bu yazıda UNEP raporunda küresel atmospherik civa değerlendirmesi katkı olarak UNEP ve Amap tarafından hazırlanan çalışma ortamı bileşenine insankaynaklı emisyonların 2005 küresel envanter sunar. 'Yan ürün' emisyonları ve 'kasıtlı kullanımı' emisyon Aynı zamanda küresel ölçekte civa emisyonlarını azaltmak için eylemlerin olası sonuçlarını araştırmak için kullanılabilir 2020 (basitleştirilmiş) senaryo emisyon envanterleri geliştirmek için bazı iş ilk sonuçlarını göstermektedir.

(Pacyna, Pacyna, Sundseth, Munthe, Kindbom, Wilson, Steenhuisen ve Maxson, 2010).

Kömür yakıtlı santrallerden civa serbest bırakılmasını engelleyen bir sorun olmaya devam etmektedir. Tasarımı etkili ve uygun fiyatlı kontrol stratejileri yüksek sıcaklık gelen civa türleşmenin bağlıdır. Hem homojen ve heterojen oksidasyon yolları arasında bir sıcaklık aralığında Civa türleşmeyi belirlenmesinde rol oynayabilir. Kinetik sınırlı homojen ilişkili bilginin mevcut durumunu araştırıyor. Heterojen oksidasyon işlemleri ile ortaya çıkan karmaşık ek olarak reaksiyon yolları içinde seçici katalitik indirgeme ve değerli metal katalizörleri ile ilgili özel oksidasyon yolları dikkate alındı. Ayrıca, çeşitli malzemelerin adsorpsiyon mekanizmaları da dahil olmak üzere uçucu kül ve yakıt gazı uygulamaları için baca gazı uygulamaları ve değerli metaller için aktif karbon tartışılmıştır (Wilcox, Rupp, Ying, Lim, Negreira, Kirchofer, Feng ve Lee, 2012).

Kömür yakıtlı enerji tesislerinden kaynaklanan hava emisyonlarının civa kontrolü devam eden bir sorundur. Uçucu kül yerli yanmamış karbon sıcaklığının bir azalma ile artan Hg yakalama ile hava kirliliği kontrol cihazında sıcaklık ve baca gazı bileşimi, bağlı Hg değişen miktarlarda yakalayabilir; Hg yakalama karbon artışla artan uçucu kül, karbon miktarı; ve Hg yakalama karbon formu ve karbon sonucu yüzey alanı, yüzey alanındaki bir artış ile artmaktadır. İkincisi bitumli şist ve antrasit-dereceli kömürler gelen karbondan daha büyük yüzey alanına sahip, düşük-dereceli kömürler yanması sonucu oluşan karbonlar ile, kömür etkilenir. Besleme kömür ve baca gazı elde edilen bileşimin kimya uçucu kül karbonlar tarafından Hg yakalama artırır. Bu Hg yakalama artırılması, $HgCl_2$ Hg oksidasyona besleme kömür Cl içeriğinin korelasyon özellikle belirgindir. Asit (küçük konsantrasyonlarda) HCI ve H_2SO_4 içeren gazlar, ve çıkış gazı içindeki HC_1 ve NO_2 combinasyon Hg oksidasyonunu artırabilir (Hower, Senior, Suuberg, Hurt, Wilcox ve Olson, 2010).

Bu çalışma kömür yakma uçucu kül içerdiği farklı karbon türleri civa ve kömür yanma inorganik fraksiyonu uçucu kül değişken emme yetenekleri akrabası olması hipotezleri test etmek için Enerji ve Çevre Araştırma Merkezi (EERC)

gerçekleştirildi. Kül karbon tarafından emilimi farklı mekanizmalar yoluyla civa SORB olabilir. Bu çalışmanın amacı, daha iyi kömür yanma uçucu kül üzerinde civa emilimi olgusunu anlamak için laboratuvar deneyleri yapmak oldu. Testler EERC ticari ölçekli yarar kazanlar ve pilot ölçekli yakma ekipmanı hem üretilen örnekler kullanılarak laboratuvar ölçeğinde yapılmıştır. Seçilen örnekler kaybı ön ateşleme içerik değişen ve karbon türleri farklı kombinasyonlar sergileme, çeşitli kömür kaynaklarından kül temsil etti. Sonuçlar bireysel kül örnekleri arasında karbon içeriği ve civa bölümleme arasında doğrudan bir korelasyon göstermektedir. Karbon içeriği ve yükleme deneylerinde gösterilmiştir, toplu kül örneklerinin civa kapasitesi arasında doğrudan bir ilişki düşük ve yüksek karbonlu kesir verilerle yansıtılmaz. İnorganik fraksiyonun civa kapasite kül içindeki karbon mevcut göre son derece düşüktür. Bu çeşitli karbon formlarının civa Sorbent kapasiteleri arasında anlamlı farklılıklar olması muhtemeldir vardır. Bu araştırmada kül civa kapasitesi yüksek sıcaklığa bağlı idi. Ek iş daha da araştırılması gerekir. Özellikle yüksek karbon kül örneklerinin yükleme değerlendirmek için deneysel tasarım ihtiyaç vardır (Hassett ve Eylands, 1999).

Amerika Birleşik Devletleri santrallerinde civa emisyonlarının düzenleme yapılması ile yanma sürecinin her aşamasında onun kontrolü önemlidir. Madende kömür civa miktarının bir anlayış bu sürecin ilk adımıdır. Springfield kömür (Orta Pennsylvanian) Illinois Havzası'ndaki en önemli kömür kaynaklarından biridir. Indiana ve batı Kentucky, Hg içeriği 0,02 ila 0,55 ppm arasında değişir. Küçük alanlarda değişim bir havza bazında değişim karşılaştırılabilir. Önemli farklılıklar da 0,04 itibaren bir Kentucky yerinde 0,224 ppm aralığında kömür sütununda içinde bulunmaktadır. ESP + baca gazı kükürt giderme (FGD) için soğuk tarafı elektrostatik çökelticiler (ESP) ve %47-81 Hg yakalama tarafından %9-53 yakalama anda yüklü kirlilik kontrol ekipmanları aralığına göre Hg yakalama tahminleri. Birçok Illinois havzası kömürlerinin yüksek Cl içeriği ve NOx Seçici Katalitik İndirgeme kurulumu Hg yakalamak için ESP ve OGG yeteneğini geliştirmek, Hg türlerinin oksidasyonunu artırır (Hower, Mastalerz, Drobniak, Quick, Eble ve Zimmerer, 2005).

Polonya'da civa emisyon kaynakları konusunda mevcut durumunu gözden geçirmektedir. Gereken şu anda yanmış kömür büyük miktarlarda için, hem de, kömür hesabı mevcut rezervleri dikkate alınarak olarak Polonya'da enerji ana enerji kaynağı olmaya devam etmektedir. Geçmişte Polonya'da kömür tüketimi verileri, Şu anda ve gelecekte de tartışıldı. Polonya civa içeriği ile ilgili bilgiler kömürlerin sunulmaktadır. Elektrik ve ısı üretimi için kömür yakma işlemleri antropojenik ana kaynağıdır. Polonya'da civa emisyonu, verimli kontrol önlemlerinin uygulanması mevcut emisyon nedeniyle gelecekte azalacağı tahmin edilmektedir. Emisyonunun azaltılması için olan bu önlemler tarif edilmektedirt. Üst bulunan kömür yakıtlı enerji santrali tahmin civa emisyonunun Sonuçları Silesia Bölgesi, Polonya incelenmiştir. Hava ve civa emisyon arasında bir ilişki elektrik santralinde tüketilen kömürün civa içeriği elektrostatik filtreler ile donatılmıştır (Glodek ve Pacyna, 2009)

Ontario Hydro Yöntemi (OHM) dayalı civa emisyon alan ölçümleri vardı Çin'de altı kömür yakıtlı santraller için gerçekleştirilmiştir. Civa için kütle denklikleri altı santrallerin tüm sistem için giriş kömür civa %139,5 kadar %100,3 arasında değişmekteydi. Civa yaklaşık %0,02 %-1,2 külü kaldı. ilk beş santrallerde öğütülmüş kömür kazanı ile donatılmış, civa çoğu yığından elde edildi atmosfer elektrofiltre (ESP) sistemi ile bitkilerin daha Hg0 yayılan Hg_2, Kumaş Filtre (FF) ile bitkiler Hg_2 daha az Hg0 yayılan iken. Hemen hemen tüm HGP ESP veya FF çıkarıldı. FF sistemleri daha iyi Hg0 ve Hg_2 kaldırılmasını vardı. ESP sistemlerine göre verimleri baca gazı kükürt giderme sistemi (FGD) kadar kaldırıldı. Hg_2 ve % 78,0 ve çıkış gazı içindeki Hg0 sadece %3,14 iken orijinal civa %8,94 Kömür FGD sistemi ile uzaklaştırılmıştır. ESP ortalama civa giderme verimleri sistem FF sistemlerinin bu %52,3 idi,%11,5 idi ve kombine ESP + FGD bu Sistem kirlenmesi kontrolünde ortalama giderim verimleri daha %13,7, çok daha düşük oldu Çin civa önceki çalışmalarda kullanılan Amerikan tesislerinde cihaz sistemleri emisyon envanteri. Hg0, önceki tahminlerinde kabul yerine Hg_2 den olduğu gibi, bulunmuştur. Atmosferde yayılan baskın tür olarak ortalama emisyon faktörü oldu. Yanma ABD deki bitkiler için daha yüksektir. 4,70 g / TJ (10,92 BL / TBTU) olduğu bulunmuştur (Zhang, Zhuo, Chen, Xu ve Chen, 2008).

Bu rapor geçerli, geçmiş tartışıyor ve büyük endüstriyel kaynaklardan atmosfere civa emisyonlarının tahmin ve seçilen doğal kaynaklardan bölgesel civa bütçesine katkı ilk değerlendirmesini sunuyor. Fosil yakıtlar yanma (29,8 ton yr^{-1}), çimento üretimi (28,8 ton yr^{-1}) ve katı atıkların yakılması (27,6 ton yr^{-1}) kaynaklı emisyonlar (1995 tahmini), hep birlikte bölgesel antropojenik toplam (105,7 ton yr^{-1}) yaklaşık %82 için hesaplanmıştır. Bölgede diğer endüstriyel kaynaklar dökümcü (4,8 ton yr^{-1}), demir-çelik tesisleri (4,8 ton yr^{-1}) ve diğer küçük kaynaklar (klor-alkali tesisleri, krematoryum, kimyasallar üretimi) Çeşitli kategoride arada ele alınmıştır (9.6 t vardır yr^{-1}). Antropojenik kaynaklardan bölgesel emisyon 1983 ile 1995 %3 yr^{-1} bir oranda artmıştır ve emisyon kontrol politikasında hiçbir iyileşme meydana gelirse, önümüzdeki 25 yıl içinde %1.9 yr^{-1} oranında artacağı tahmin edilmektedir. Bir ülke ile ülke bazında, Fransa, Türkiye (16.1 ton yr^{-1}), İtalya (11.4 ton yr^{-1}), İspanya (9,1 ton yr^{-1}), eski Yugoslavya 7,9 (t yr^{-1}) takip 22,6 ton yr^{-1} lider yayıcı ülkedir Fas (6,9 ton yr^{-1}), Bulgaristan (6,8 ton yr^{-1}), Mısır (6,1tyr^{-1}), Suriye (3,6 ton yr^{-1}), Libya (2,9tyr^{-1}), Tunus (2,8 ton yr^{-1}) ve Yunanistan (2,7 ton yr^{-1}), oysa Geri kalan ülkeler, bölgesel toplam en az %7'sini. Bu rakam sadece yüzey suları ve volkanlar kaynaklanan emisyonlara element civa volatilizasyonu içermesine rağmen doğal kaynaklardan yıllık emisyon bu ilk dahil edilmemiştir. Katkısı ise sebebiyle üst toprak ve bitki örtüsünün gelen civa gazının alınmasına, 110 ton yr^{-1} olduğunu değerlendirmesi, bu nedenle, Avrupa'da ve küresel atmosfere salınan toplam civa bütçesine önemli bir katkı temsil Akdeniz bölgesi civa salınımı yılda yaklaşık 215 ton, doğal ve insan kaynaklıdır (Pirrone, Costa, Pacyna ve Ferrara, 2001).

Bu makalede yorumlanan konular şunlardır: (a) analitik ve tarihsel bir giriş; (B) Hg çevresel jeokimyasal bazı özellikleri; (C) Hg kömür Clarke değerinin tahmini; (D) yüksek Hg kömürlerin oluşumu; (E) kömür Hg oluşumu modu; (F) kömür Hg dağılımını etkileyen faktörleri; Kömür Hg ve (g) kökeni. nedeniyle kömür yakma ve koklaşma için Hg çevresel etkinin Yönleri gözden boyunca belirtilmiştir. Kömür (dünya çapında ortalama Hg içeriği) Hg için Clarke değeri 0,10 (0,01 ±) ppm Hg, ne olursa olsun kömür değerdeki, ancak Hg içeriği bir kül olarak ifade edilir ise, bitümlü değerdeki kömürlerin ortalama 0,87 (0,08 ppm ±) Hg ve alt kömür değerleri ortalama 0,62 (0,06 ±) ppm. Genel olarak, Hg bir çok "coalphile" elementtir; yani, organik ve

inorganik kömür konuda güçlü bir yakınlık var, ama zorunlu otijenik olduğunu, Clarke değerin üzerinde 1 ile 2 büyüklük düzeni kadar Hg zenginleştirilmiş bir kömür vardır. Bu tür kömürler Donbas (Ukrayna), Appalachian havzası ve Texas (ABD), Rusya'nın Uzak Doğu ve Güney Çin'de bulunmaktadır. Bu kömürlerin civa genellikle diğer kalkofil eser elementler eşlik ediyor. Hg genellikle fakir düşük kükürtlü kömürlerin, içinde sadece iki Hg siteleri hakim: Hgorg ve Hgsulfide (genellikle piritik civa, Hgpyr). Yüksek kükürt kömürleri Hgpyr olarak genellikle Hg, daha yüksek miktarda içerir. Benzersiz Hg zenginleştirilmiş Donbas kömürlerde, HGS ve metalik civa (Hg °) hem de meydana gelir. Hümik konuda Hg_2 + 'nın son derece güçlü bir afinitesi, peats ve linyit birikmesine sinjenetik (veya erken epigenetik) Hg teorik olarak mümkündür. Gerçekten de, bazı tropik ve orta bölgesi peats Hg miktarı, tipik kömür Hg içeriğine daha büyük ya da eşittir. Kanadalı kömürlerin de Sinjenetik volkanik Hg birikimlerin son keşfi kadar, kömür gibi Hg birikimlerini bilinmiyordu. Kömürlerin Hg en önemli zenginlik tip epigenetik, düşük sıcaklık hidrotermal bir süreçtir; Nikitovka (Ukrayna), Savaşçı (ABD), ve Guizhou (Çin) havzaları iyi örneklerdir. Son iki kömür havzalarında, parajenetik dernek Hg-As-Au-Tl Carlin tipi Au mevduat benzer. En önemlisi Hg zengin havza Ukrayna ve Rusya'da yer alan Donbas-Donetsk kömür havzasıdır. Donbas sayısız coalfields kömür Clarke seviyesinden büyüklük tek emriyle Hg zenginleştirilmiştir. Donbas Hg kesilmiş bölgeleri geçerek hidrotermal mineralizasyonu nedeniyle oldu. Hg taşıyan Donbas kömürlerin çıkarma ve kullanım Ukrayna halkı için çok zor çevre sorunlar yaratmıştır (Yudovich ve Ketris, 2005).

Pulverize kömür yanması sırasında, Hg çoğu uçucu. Hg değişken miktarlarda uçucu kül tarafından yakalanır ve esasen hiçbiri külü birikir. Hg gazlı (hakim) ve katı faz kirletici olarak atmosfere yayılır. Çünkü Hg ve bileşiklerin yüksek toksisite, öncesinde kullanımı ve yanma sürecinde kömür Hg içeriğini azaltmak için tercih edilir. Azalma elde etmek birkaç yolu vardır: Düşük kükürt ve düşük Hg kömürlerin seçici madencilik; pirit çıkarılması ile temizlik standart kömür; Ayrıca, kaba bir ret, genellikle pirit bakımından zengin, enerji santralinde pulverization malzeme eklenebilir; belki, uçucu kül, yanmamış kömür parçacıklarının oluşumu yoluyla daha fazla Hg yakalama yol açacak bazı iri taneli kömürlerin, yanma; baca gazı

sıcaklıkları düşürülmesi ve toplanan uçucu kül (düşük NOx brülörleri ve diğer cihazlar) üzerinde Hg yakalama artırarak yanma rejim değişikliği; Cı taşıyan kömürlerin ECO işleminde yanma sayesinde daha yakalanabilir $MgCl_2$, baca gazları içindeki elementel Hg oksidasyonu; baca gazı kükürt giderme ve Hg yakalamak için kuru ve ıslak yıkayıcı sistemlerinin daha geniş kullanımı; Daha iyi Hg yakalama ve, Hg fazla kapasiteye sahip modifiye karbon sorbent özellikle, kullanım için baca gazı kanallarına karbon sorbent enjeksiyonu daha fazla kullanılması; ESP (elektrostatik çökelticiler) daha Hg daha etkili temizleyiciler özellikle FF tipi (kumaş filtreler) başka bir çok umut verici sorbent ve filtrelerin kullanımı, çünkü ciddi çevresel etkilerin, ek araştırma Kömürlerin Hg jeokimyasal gereklidir (Yudovich ve Ketris, 2005).

Mevcut kirlilik kontrol cihazlarının ve Çin dört kömür santrallerinin civa kütle dengeleri ile civa taşınma alüminyum matris sorbent ile ölçüm yöntemine dayalı yürütülmüştür. Tüm bitkiler soğuk tarafı elektrostatik presipitatör (ESP) ve seri bir ıslak baca gazı kükürt giderme (FGD) ile donatılmıştır. Kömür akımının sırasında, kömür, külü gibi örnekler, kül, alçı ve baca gazı, toplandı. Kömürlerin Hg konsantrasyonları uygun hazırlanması ve asit sindirim sonra CVAAS ile ölçüldü. Diğer katı numuneler RA-915 + Zeeman Merkür Spektrometre ile ölçüldü. buhar fazlı Hg, baca gazından bir sorbent tuzağı ile toplanmış ve daha sonra da asit süzme, ardından CVAAS kullanılarak ölçülmüştür. Civa kütle dengeleri bu çalışmada tahmin edilmiştir sırasıyla % 91,6, %77,1, % 118 ve dört santraller için% 85,8 idi. Baca gazı toplam Hg konsantrasyonları 1,56-5,95 qg / m^3 arasında değişmektedir. Külü Hg nispi dağılımı, %0,110, %-2.50, %2,17, %-23,4, %2,21, %-87,1 ve % 21,8 sırasıyla %-72,7 arasında değişmektedir. Dağıtım profilleri ESP, WFGD ve yığın kömür türü ve çalışma koşulları ile değiştirilmiştir. Baca gazı içinde Hg %51,8 arasında bir ortalama çıkarma verimliliği ve ESP FGD sistemi ile çıkarılabilir. Hesaplanan ortalama emisyon faktörü on yıl önce elde edilen sonuçlardan çok daha düşük 0,066 gr / ton oldu (Wang, Wang, Xu, Wang ve Zhao, 2011).

Polonyalı kömürlerin ısıl işlem sırasında civa serbest bırakılmasıyla ilgilenir. Elektrik üretim endüstrisi için yakıt temini için Polonyalı kömür madenlerinde üç

kömür türleri (iki sabit kömürleri ve bir linyit) deneyde kullanıldı. Civa salma sıcaklık derecelerinde 170 °C-410 °C ve orta ısıtılmış bir akışkan yataklı reaktör içinde araştırılmıştır. Civa ısıl işlem, çeşitli ortamlarda (hava, azot ve karbon dioksit) yürütülmüştür. Baca gazı içinde civa konsantrasyonu haricinde ki, CO, CO_2, O_2 emisyon de saptanmıştır. Deneysel sonuçlar gaz atmosferi üzerinde kuvvetle bağlı sabit kömürlerin gelen civa tahliye belirtti. Hava ya da azot gazı içinde Hg salma önemli ölçüde daha düşük iken, en yüksek civa salma, CO_2 atmosferinde belirlenmiştir. Civa salınımı üzerindeki gaz çeşidi linyit hiçbir etkisi durumunda belirtilmiştir. Araştırmanın sonuçları, bağımsız olarak CO ve CO_2 emisyonunun hesaplanan kömür tipine ve işlem sıcaklığı, kömür numuneleri kimyasal enerji kaybı, %5 den az olduğunu gösterdi (Wichlinski, Kobylecki ve Bis, 2014).

Yüksek uçucu bir bitümlü Manchester kömür yatağı merkezi Kil County, güneydoğu Kentucky beş maden sahalarında örnekleri alındı. Kömür yatağı, özellikle yüksek kükürtlü üst litolojideki, belirli bölgelerde yüksek civa konsantrasyonuna sahiptir. Tüm kömür Hg içeriği %3,36 piritik kükürt ile bir numunede 0,52 ppm'e kadar değişir. Hg sitelerin birkaç üst litotipi zenginleşmektedir. Arsenik içeriği tüm kanal örneklerin tümü için, 700 ppm (kül esas) aşar ve litotipi numunelerin birkaçının 1.000 ppm aşmaktadır. Bölgesel jeokimyasal eğilimler, yaklaşık 75 x 60 km'lik bir alandan, ABD Jeolojik Araştırmalar tarafından yayımlanan veriler ile birlikte bu çalışmada elde edilen veriler kullanılarak tespit edildi. Bölgenin Kuzeybatı kısmında Hg, As, Pb, ve Cı içeriği sergiler çıkışlar. Ayrıntılı maden Çalışma kapsamına alınan küçük alan içinde, iki batılı siteler hem As ve Hg yüksek düzeyde içeren bir yüksek kükürtlü üst litotipi var. Daha önce Çalışma alanında tanımlanan yapılar, muhtemelen hidrotermal sıvılar için kanallar olarak görev yapan, bölgesel kömür değerleri ve jeokimya etkilemiş olabilir (Sakulpitakphon, Hower, Schram ve Ward, 2004).

Kömür yanması civa emisyonlarının artan enerji talepleri kömür tüketiminin arttığı gibi küresel bir endişe haline gelmiştir. Arıtma teknolojilerinin etkin bir şekilde uygulanması baca gazı, kazan çıkışındaki element, yükseltgenmiş ve partikül civa yani konsantrasyonlarda civa türleşme bilgi gerektirir. Doğru baca gazında civa

türleri tahmin modeli bu bağlamda yararlı olacaktır. Burada, Bayes beş kömür özelliklerini kullanır ve yanma sıcaklığı işleme teknolojisi uygulamaya konulmadan önce baca gazları civa türleşme tahmin etmek geliştirilen yapay sinir ağı (BRANN) belirleninceye, modelin sonucu civa türlerinin konsantrasyonu varyasyon kadar yüzde 97 BRANN en kullanımı ile yakalanır göstermektedir. BRANN modeli kömür klor içeriği ve kömür kalorifik değeri yanma sıcaklığının ardından en hassas parametreler olduğunu ortaya koymuştur parametrik duyarlılık yapmak için kullanıldı. Kömür kükürt içeriği az önemli parametre idi. Sonuçlar, yanma baca gazındaki civa konsantrasyon ve türleşmeye tahmin etmek için BRANN uygulanabilirliğini göstermek ve diğer gelişmiş olmayan mekanistik modelleme stratejilerinde karşılaştırıldığında daha etkin ve etkili bir teknik sunmaktır (Ticknor, Hsu-Kim ve Deshusses, 2014).

Civa (Hg) kömür içirisindeki tehlikeli eser elementlerden biridir. Kömür civa neredeyse tamamen kömür yanma sırasında atmosfere yayılır. Düşük kükürtlü kömürlerin yanma programlar için, Hg azalma ihmal edilecektir. Çin altı il farklı kömür sahalarının 52 düşük kükürtlü kömürlerinin Hg bolluk bir akış enjeksiyon civa sistemi (FIMS) ile belirlenmiştir. Sonuçlar seçilen düşük kükürtlü kömür Hg bolluk ortalama Çin kömür (0,19 ppm) daha yüksek olduğu, 0,24 ppm bir aritmetik ortalama, 0,03 ppm ila 0,79 ppm arasında olduğunu göstermektedir. Korelasyon analizi ve ardışık ekstraksiyon prosedürleri düşük kükürtlü kömürlerin Hg oluşma olası modlarını incelemek için yapılır. Hg oluşma şekilleri düşük kükürtlü kömürler değişkendir ve sülfür bağlı ve organik bağlı Hg baskın formlar olabilir. Buna ek olarak, silikat bağlı Hg nedeniyle magmatik sokulum bu kömürlerin bazı ana formu olabilir (Zheng, Liu ve Chou, 2008).

Bu çalışma 81 kömür örneklerinde konsantrasyonları ve eser elementlerin oluşum modları sunuyor. Türkiye'nin kuzeybatı Çan havzası. Kömür eser elementlerin konsantrasyonu ile belirlendi. Endüktif plazma kütle spektrometresi ve indüktif eşleşmiş plazma-atomik emisyon spektrometresi birleştiğinde. Buna ek olarak, geleneksel bir kömür parametreleri yakınında nihai, X-ışını kırınımı ile incelenmiştir As, B, Ba, Be, Cd, Cu, Co, F, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, Se Sn, Th dahil yirmi eser

elementler, Tl, U, V, Zn, nedeniyle ilgili çevre ve insan sağlığı kaygıları çok dikkat alırsınız. Bu çalışmada incelenen Çan kömürler kül verimleri geniş bir yelpazesi ile, alt bitümlü kömür linyit ve kükürt içeriği. eser element konsantrasyonları havzadaki kömür damarlarının içinde çeşitlilik göstermektedir, ve eğilimleri konumları arasında değişir. B, Ba, Be, Cd, Cu, Co, F, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, e, Sn, Tl ve konsantrasyonları Çan Külde Zn gibi, Pe, U ve V hariç, Swaine dünya çapındaki bir konsantrasyon aralığı içindedir. Diğer taraftan, dünya kömür ile karşılaştırıldığında, Çan havzası kömürler olarak, B, Cu, Co, Mo yüksek içeriklerine sahip Pb, Pe, U, V ve Zn. İstatistiksel analizlere dayanarak, eser elementler çoğu, U dışında, bir afinite göstermektedir kül verimi farklı, Cd, Hg, Se, Cu, Mo, Ni ve Zn içeren Elemanları, pirit ile olası bir ilişki olduğunu ortaya koymaktadır; Ancak, elementler Se, B ve Mo organik ve inorganik birlikler sahip olabilir (Gürdal, 2011).

Kükürt emdirilmiş bir adsorban üzerine, sulu bir çözeltiden civa adsorpsiyonu incelenmiştir. Ham kömür K_2S toz ile karıştırılmış ve daha sonra kükürt emprenye adsorban üretilmesi için azot içinde 30 dakika boyunca 800-1.000 °C'de ısıtıldı. Kükürt içeriği ve spesifik yüzey alanı tespit edildi, ve sulu solüsyon içinde civa emmek için adsorban kabiliyeti araştırılmıştır. adsorbent sülfür içeriği hemen hemen sabit iken, sülfür emdirme, hemen artar spesifik yüzey alanı sıcaklığının artırılması ile 900 ° C 'de elde edilen adsorban, 25 ° C'de, sulu bir çözeltiden civa en yüksek ve en hızlı adsorpsiyonunu gösterir ve adsorbe civa ayrıştırma boyutları sırasıyla 0,1 M HCI çözeltisi içinde damıtılmış su ve % 10 ihmal edilebilir. Adsorpsiyon kinetik sözde birinci sıra ve sözde ikinci dereceden reaksiyonlar için test edildi ve bu kinetik modeller için adsorpsiyon hız sabitleri hesaplandı. Adsorpsiyon deneyleri tutma işlemi sözde birinci dereceden modeline göre sözde ikinci dereceden kinetik modele karşılık geldiğini göstermektedir. Sulu çözeltinin sıcaklığının artması ile, adsorpsiyon kinetikleri daha hızlı ve emen artar adsorbe civa miktarı olur. termodinamik değerleri AG0, AH0 ve AS0, adsorpsiyon bir endotermik ve spontan bir süreç olduğunu göstermektedir (Wajima ve Sugawara, 2011)

Bu yorum numunenin her tür kendine özgü özellikleri ve genellikle bu ürünler ile ilgili sorunlara odaklanan, katı, sıvı ve kömür yakma sürecine dahil gaz örneklerinin

farklı türde civa mevcut analizi ile ilgilenir. Çalışmanın temel amacı mevcut gelişme aşamasında, her bir durumda, tercih edilir yöntemleri tarif etmek için (yani en çok en çok laboratuar ve standart yöntemler) kullanılır. Avantaj ve her yöntemin dezavantajları sonuçlarının kalitesi ve kömür yakma işlemleri sırasında civa davranışının değerlendirilmesi yer alan belirsizliklere atıfta bulunularak tartışılmıştır (Lopez-Anton, Díaz-Somoano, Ochoa-Gonzalez ve Martinez-Tarazona, 2012).

Güney Afrika civa (Hg) emisyonları dünyada 2. en yüksek bir ülke olarak kabul edilir. Ülkenin kömür santrallerinin de civa emisyon tahminleri dayanmaktadır. Yılda tüm santrallerde yakılan kömür toplam miktarı (112.3 MTY-1), Hg içeriği Her enerji kullanılan Güney Afrika kömür (0,2 ppm) ve emisyon kontrol cihazları sonuçlar Hg emisyonları Güney Afrika'nın kömür yakıtlı santrallerden kaynaklandığını göstermektedir. (2,6 ila 17,6 ton arasında değişen Y-1, 9,8 ton tahmini ortalama emisyon es y-1) literatürde önerilen göre anlamlı derecede düşük olduğu (yaklaşık 50 ton y-1). 0,02 ila 0,16 g Hg ton-1 kömür değişen hesaplanan emisyon faktörü (yanmış) ve kişi başına düşen tahminleri (kömürden üretilen elektrik 0,24 g Hg kişi-1 y-1 R-1, R, toplam bölümüdür.) Hg stoklar için bildirilen değerler aralığında düşmek diğer ülkelerde elde edilen ve kömür yakıtlı güç için bu Hg emisyon tahminleri göstermektedir (Dabrowski, Ashton, Murray, Leaner ve Mason 2008).

Uygulamalı Enerji Araştırma Merkezi her beş yılda Kentucky kömür yakıtlı enerji santrallerinin bir anket yapar. Son anket 2002 yılında yapılan ve Kentucky bitkilerin tüm en birimlerini kaplıydı. Özel önem mümkün olan her yerde ESP veya ek odacıklar numunelerin her satırında, kül ürünlerin mekansal dağılımı üzerine yerleştirilmiştir. Bu sayede, baca gazının nispi sıcaklık eser elementlerin konsantrasyonundaki değişikliği izleyebilir. Zn, Pb ve As gibi bazı elementler, sıcaklığa bağlı olduğu bilinmektedir. Hg davranışı, bir yandan da sıcaklığa bağlı olarak uçucu kül, karbon üzerinde Hg adsorpsiyon ile çok daha karmaşıktır. Baca gazındaki Hg davranışlarını belirleyen tüm önemli kömür kaynakları, ESP toplama sıcaklıklarının geniş bir dizi sağlar. Buna ek olarak, birçok bitki sonrası ESP baca

gazından Hg yakalayan FGD etkinliğinin bir değerlendirmesini sağlayan, FGD sistemleri var (Mardon ve Clark, 2005).

Üç kuyu, Yatağan Termik Santrali yakınında bulunan bir kül-gölet ve içme suyu ölçüldü. Alınan yeraltı suyu örneklerinde Hg, Pb, As, Cd, Cu, Fe, Mn ve Zn gibi metaller iz. Hg, As, yeraltı suyunun Cu ve Zn içerikleri EEC (Avrupa Ekonomik Topluluğu) ve (Dünya Sağlık Örgütü) kurallarına rapor daha düşük bulunmuştur. Buna karşılık, bazı yeraltı suyu örneklerinde Fe, Pb, Cd ve Mn düzeyleri AET ve DSÖ kılavuz değerleri daha yüksek bulunmuştur. Kömür külü-gölet suyunda eser metal konsantrasyonları Pb hariç su kalite standartlarından daha düşük olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlar örneklenmiş içme suyu sitesinde eser metal konsantrasyonu sınırlar dünya sağlık örğütü değerlerini aşmamıştır (Demirak, Balcı, Dalman ve Tüfekci, 2004).

Parametrik deneyler civa, SO_3 in etkileşimleri incelemek için gerçekleştirilebilir ve bir kömür çıkış gazı akımı içinde aktive karbon (AC) enjekte edilmiştir. baca gazında bulunan SO_3 buharı daha önce tek tek, çıkış gazı içinde, baca gazı sıcaklığı, nem ya da sodyum dumanı enjeksiyon ile değiştirildi. Bununla birlikte, elektrostatik çökelticinin (ESP) yukarı AC enjeksiyonu (ACI) civa emisyon çeşitli SO_3 konsantrasyonlarında değerlendirilmiştir. Bir yoğunlaştırma yöntemiyle SO_3 ölçümleri baca gazında düşük sıcaklık ve yüksek nem oranı ve sodyum dumanı enjeksiyonu takiben ACI ile civa yakalama iyileştirilmesi, parçacık halinde faza buhardan SO_3 bölümleme kaymıştır olduğunu göstermiştir. SO_3 buharı yoğunluğu en az 2 ppm düşürülmüştür, 0,08 g/m_3 sadece 28 ppm SO_3 içeren bir bitümlü kömür baca gazındaki ESP genelinde yaklaşık % 20 civa azalma sağladı DARCO Hg-LH enjeksiyon, ancak civa yakalama %80 arttı. Deneysel veriler açıkça yüksek SO_3 buharı SO_3 doğrudan aynı bağlanma siteleri için civa karşı yarışıyor başlıca nedeni, ac civa adsorpsiyonu engelleyen önemli bir faktördür ve ezici tüm bağlayıcı siteleri tükettiğini göstermektedir (Zhuang, Martin, Pavlish ve Botha, 2011).

Bu ön çalışma, on Türk kömürle çalışan santraller (Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek, Orhaneli, Soma, Yatağan, Yeniköy, Elbistan, Kangal ve Çatalağzı)

besleme kömürlerin büyük ve eser element konsantrasyonlarının belirlenmesi ve karşılaştırılması üzerinde duruluyor. Besleme kömür on üç numunenin bu bitkilerin birimlerinden toplanarak ve elementel analiz, X-ışını toz kırınımı, indüktif olarak bağlanmış plazma atomik emisyon spektrometresi, indüktif olarak bağlanmış plazma kütle spektrometrisi, ve taramalı elektron mikroskobu ile kullanılarak incelenmiştir. enerji dağılım X-ışını mikro analiz teknikleri. Kömürleri yüksek nem (%14-47) içeriğini, yüksek kül (%23-64) verim ve toplam kükürt içeriğinin geniş bir yelpazede (%0,4-4,8), ve brüt kalorifik değerleri (1.370-4.980 kcal/kg olması). Kömürlerin mineral madde esas kil mineralleri (simektit, illit, kaolinit / klorit), kuvars, feldispat, kalsit, dolomit, pirit ve alçı oluşur. Ayrıca, bu gibi Seyitömer, Tunçbilek ve Soma gibi bazı linyit siderit kayda değer içeriğini içeren; Elbistan aragonit düşük içeriği; zeolitler (klinoptilolit / hölandit ve analsim) ve Çayırhan yüksek içeriğidir. Kömürlerin çoğu Cr, Cs, Mo, Ni, Rb, Th, U ve V göreli zenginleştirilmiş olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca, As, Co, Cu, Ga, Mn, Li, Sc, Sn, Ta, Tl konsantrasyonları ve bazı kömürlerin bazı nadir toprak elementleri çoğu dünya kömürleri için mevcut aralıklarını aşmaktadır (Karayigit, Gayer, Querol ve Onacak, 2000).

Kömür yakıtlı santrallerden civa emisyonları yoğun Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından olası düzenlemeyi belirlemek için yaklaşık 10 yıldır değerlendirildi. Bir mahkeme kararı uyarınca, bir saptama bu tespit edilirse düzenlemelerin ardından, gerekli olduğu 15 Aralık 2000 tarafından kömür yakıtlı yarar kazanlardan toksik hava kirletici emisyonları (civa odaklanma) düzenlemek için uygun ve gerekli olup olmadığı konusunda yapılacak düzenleyici işlem sabit takvim olacaktır. Bir önerilen düzenleme nedeniyle en geç 15 Aralık 2003 olacak ve 15 Aralık daha sonra yürürlüğe olacak, yasal uyumluluk Temiz Hava Yasası beri Aralık 2007 tarihine kadar olmalıdır. Kontrol Teknolojisi (MACT) düzenlemelerin yürürlüğe girdiği tarihten sonra 2004 ten sonra 3 yıl endüstri kaynakları elde edilebilecek maksimum ile uyumlu hale getirilicektir. Kömür yakıtlı yarar endüstrisinin çeşitli doğa, muhtemelen mevcut nüfus için herhangi bir teknolojinin uygulanabilirliğini ve maliyet-etkililik sınırlayacaktır. Potansiyel düzenleyici belirlenmesi ışığında, bu makale daha fazla dikkate garanti bir kaç kontrol seçenekleri inceler. Civa yakalama teknolojileri ve ilgili maliyetler bir ön değerlendirme sorbent enjeksiyon teknolojisi

için yapılır. Civa kontrolü için uygun olabilir. Emici tabanlı teknolojiler şunlardır: Enjeksiyonuyla ve mevcut parçacık kontrol cihazları yani, elektrostatik filtreler ve kumaş soğuyan akımı sprey olmayanlardır (Brown , Smith, Dowd ve Hargis, 2000).

Kömür numunelerinin kimyasal buhar üretiminin (soğuk buhar tekniği) dayalı kömür civa tayini için sağlam ve güvenilir bir yöntemdir, geliştirilmiştir. Bu elektrotermal atomik absorpsiyon spektrometresi ile altın veya kalıcı düzenleyici olarak rodyum ve kararlılıkla işleme tabi tutulmuş bir grafit tüp içinde civa buharı, toplanmasını gerektirir. Kömürü <50 µm bir parçacık boyutuna öğütülmüştür. civa kantitatif bir örnek dışında, 48 saat içinde 1 mol L-1, nitrik asit içine kömür referans malzeme süzülerek (BCR 180), <öğütülerek 30 µm ya da 72 saatlik bir liç süresi kullanılan gerekiyordu. Civa tespit edilebilir bir miktarda çamur partiküllerinin doğrudan oluşturulabilir, ancak çözüm filtre için gerekli değildi. yöntemin en büyük avantajı reaktifler ve numune alma adımları sadece minimum, rutin analizler doğru sonuçlar için bir ön koşul gerekli olmasıdır. Sonuçlar sertifika veya incelenen referans malzemelerin bilgi değerine yakın %95 güven düzeyinde de içinde idi. Kalıcı değiştirici olarak altın elde 110 pg karakteristik kütle %100 civa verimliliği yakalama yakın gösteren çözümler doğrudan analizi için bildirilen değerlere yakındır. Tespit sınırı 90 pg mutlak (LOD) kömür 0,009 pg g-1 Hg LOD karşılık gelen bu değiştirici, elde edilmiştir. Bu kömür 10 mg içeren bulamaç 1 ml dayalı ve incelenen referans malzemeleri en düşük civa içeriği daha düşük büyüklükte bir emirdir edilir (Flores, Welz ve Curtius, 2001).

Pratik Japon santrallerde ve sektörlerde kullanılmaktadır kömürlerin, Elli bir çeşit, Hg için analiz edildi resmi bir yönteme dayalı bir otomatik civa analizörü (AMA) (ısı buharlaşma atomik absorpsiyon tarafından spektrometrisi). Hemen hemen tüm kömürlerin çeşitli ülkelerden kömürleri ithal edildi. Bu kömürlerin bir tedarik edilmektedir örnek miktarı beri bir Japon kuruluş tarafından standart örnekleri ve sözde "SS-kömürlerin". olarak toz formu AMA ölçümünde kullanılan kömür genellikle küçük, kömür tanecik boyutu büyük ölçüde ölçümü etkileyebilir. Ancak konuyla ilgili sistematik bir çalışma olmamıştır. Daha ince olan, SS-kömür, bazıları sık kullanılan sertifikalı referans malzemeler (NIST SRM kömürleri), veri

büyük bir sapma (bağıl standart gösterdi sapması (RSD) Hg belirlenmesinde) yüksektir. SS-kömürlerin ince toz haline daha öğütülmüş edildi ve Elde edilen kömürler (zemin SS-kömür) alt MSB değerleri vermiştir. Ayrıca, yüksek nem ve kömür özelliği olduğu durumlarda düşük Hg içeriği bulunmuştur (Ohki ve diğer, 2014).

Güney Afrika Limpopo (kuzey-batı bölgesi) bulunan Waterberg Kömür Havzası, kömür yatağı, tipik olarak yüksek bir vitrinit içerir, Kunguriene Grootegeluk Formasyonu yüksek kül kömürler ve yüksek inertinit, Artinskiyen düşük kül kömürler oluşumu, kömür ve yoğunluk fraksiyone belirlemek için numuneler analiz edildi. İz element içeriği kömürlerin çoğu iz elementlerin konsantrasyonları aşan genellikle küresel ortalamalar ve bazı küresel aralıkları, ve diğer Afrika Güneyinde kömür için bildirilen değerleri aşmaktadır. Özellikle, Hg konsantrasyonları bir numunede 2,43 ppm'e kadar bütün kömürlerin (içinde yüksek çok yüksek Vryheid Formasyonu), Cd ve Se konsantrasyonları karşılaştırılabilir ya da küresel ortalamaların daha düşüktür, ve As çok olduğu Vryheid Formasyonu (1,57 ppm) düşüktür (Wagner ve Tlotleng, 2012).

Civa küresel emisyonları ile ilgili bilgi mevcut durumunu gözden geçirir ve fosil yakıtların yakılmasından oluşan 2000 yılından küresel atmosfere Hg büyük emisyon için antropojenik kaynaklardan atmosfere civa küresel emisyonların yeni bir envanter sunar programı, endüstriyel ve konut kazanlarda ağırlıklı olarak kömür, olduğu kadar yaklaşık toplam emisyonu üçte ikisi Dünya çapında 2000 yılında tüm antropojenik kaynaklardan yayılan Hg 2.190 ton fosil yakıtların yakılmasından geldi. Kömür yanması Hg emisyonları ülkeye bağlı olarak yağ yakma kaynaklanan emisyonlar, daha yüksek büyüklükte bir ila iki emirlerdir. Çeşitli endüstriyel prosesler, dünya çapında bu kaynak kategoriden emisyonlarına 2000 Büyük katkısı antropojenik kaynaklardan Hg emisyonlarının %30 ek Hg teknolojisini kullanarak altın üretimi geliyor. Asya ülkeleri, Rusya (% 11) Avrupa yakasında olmak üzere, Afrika (%18) ve Avrupa izledi 2000 yılında antropojenik kaynaklardan küresel Hg emisyon yaklaşık % 54 katkıda bulundu. Çin antropojenik faaliyetlerin en yüksek Hg emisyonları ile 10 ülkenin başında geliyor. Çin civa küresel emisyonları yaklaşık Hg

600 tondan fazla, Çin civa küresel emisyonları yaklaşık % 28 katkıda bulunmaktadır. Değerlendirme büyük bir dikkatle tedavi edilmelidir rağmen 2020 yılına kadar dünya çapında antropojenik kaynaklardan Hg emisyonlarının gelecek değişiklikler, mevcut tahminlerin %7 ile %20 içinde olmalısı beklenmektedir (Pacyna, Pacyna, Steenhuisen ve Wilson, 2006).

Kömür özellikleri (KKB) ürünleri kömür yanma kalitesini etkileyebilir. Harmanlanmış kömür kalite özelliklerini karşılamak için beslemeleri kullanır çünkü takip etkileri genellikle özellikle doğu Amerika Birleşik Devletleri, zor olabilir. Tek bir dikiş / tek maden kömürü 220 MW'lık duvar ateş kazan yakılmak için bu sorunu aşmak için, biz düzenlemeler yaptı. Besleme kömür Knox County, doğu Kentucky orta kükürt, yüksek uçucu bir bitümlü olduğunu, kömür 2 günlük çalıştırmak için yeterli yakıt programı sağlamak amacıyla 2 haftalık süre içinde edildi. Kömür santralindeki sevk kömür, formu (madende bir bütün kanal ve banklar gibi) bir konum örneklenmiş ve bir pulverize kömür gibi önce kazanın içine enjeksiyon yapıldı. pülverizatör da örnek alınmıştır, genellikle programları tarafından 'pirit' 'olarak adlandırılan, reddediyoruz. Uçucu kül Tutumlayıcıların, mekanik silosu iki satır ve elektrostatik çökelticinin (ESP) hazneler dört satır örnekleri alındı. Taban külü de numune alınmıştır. Maden ve bitki örneklerinin analizleri, uygun, yakın / nihai / kükürt formları / ısıtma değeri, büyük oksitler, iz elementler, X-ışını kırınım ve petrografik bileşimi bulunmaktadır. Bu izole edilmiş durumda uçucu kül özellikleri kömür özelliklerinin etkisi tartışılacaktır (Mardon ve Hower, 2004).

Kömür yanması sırasında Hg zenginleştirme / tükenmesi davranışı ortaya çıkarmak için, bir ayrılık prosedürü oldu İki Bulgar termik santrallerin, Maritza 3 TPP ve Varna üç uçucu kül (FA) örnekler üzerinde uygulanan DYP, aşağıdaki gibi: 1-st ve elektrostatik çöktürücü (ESP) ofMaritza3TPP 3-rd satırları FAs; ve Varna TPP ESP 5-inci sıradan (2) FA. Beş adet fraksiyon sonucu, her dökme FA numuneden elde edilmiştir ardışık ayırma şeması, yani uygulamalı: FA su sızıntı suyu; Su FA (FAW) ile yıkanır; karakter konsantrasyonlarının tartarate (FAC); Manyetik fraksiyon (FAM); ve FA Kalıntı (FAR). Civa toplu örneklerinin içeriği ve ayrılmış kırıklı iyonlar Brunauer-Emmett-Teller (BET)

spesifik yüzey alanı, Barrett-Joyner-Halenda (BJH) mezo gözenek hacimleri, gözenekli doku karakterizasyonu için mikro-gözenekli yüzey alanı, tek tabakalı kapasitesi ve mikro gözenek hacimleri Fas ve ilgili karakter fraksiyonları de ölçülmüştür. Ağırlıklı olarak yanmamış organik madde içerdiğini kömürü, açığa elde edilen veriler, önemli bir role sahiptir Kısmi yakalama ve Finansman Hg tutma. (Kül karakter fraksiyonu (FAC) alt dereceden linyit üretilen Maritza Fly 3 TPP) FAC yüksek dereceden bitümlü kömürler (VarnaTPP) kaynaklanan karşılaştırıldığında Hg daha yüksek zenginleştirme vardır. Hg konsantrasyonu ve BET / Langmuir spesifik yüzey alanı, BJH arasında güçlü bir pozitif korelasyon vardır. Mezo gözenek hacmi, mikro gözenek yüzey alanı ve 3rd FA türetilen karakter fraksiyonunun tek tabakalı kapasitesi Hg mesopores ve kömür adsorbe olduğunu göstermektedir. Maritza 3 DYP, at ESP satır ticles ve linyit kaynaklı uçucu kül karakter numunesi için gözeneklerin hacmi dolum, bunun aksine, Hg konsantrasyonu mikro-gözenekli yüzey alanına ve mikro ile orta düzeyde pozitif korelasyon ile güçlü pozitif korelasyon göstermektedir gözenek hacmi ve Varna DYP 5. ESP satırın finansman kurumu elde edilen karakter fraksiyonun tek tabaka kapasitesi beklenebilir. Böylece, karakter mikro char parçacıkları ve alt hacim doldurma micropores üzerine adsorpsiyonu gözenekler bitümlü türetilmiş uçucu kül karakter için tercih edilen civa adsorpsiyon mekanizmaları olarak beklenebilir (Kostova, Vassileva, Dai, Hower ve Apostolova, 2013).

Uçucu kül C civa yakalama beş linyit ve subbituminous-kömür yakan Bulgar araştırıldı; enerji santralleri (Republika, Bobov Dol, Maritza Doğu 2, Maritza Doğu 3, ve Sliven). C içeriğine rağmen küller asla % 1,6 aşan, düşük, birim C bazında Hg yakalama gösteren düşük değerde olduğunu kömür kaynaklı uçucu kül karbonlar kül karbon uçan daha Hg yakalayan daha verimli termik santrallerdir. Bazı düşük C ve düşük Hg külleri C karşı Hg herhangi eğilimleri açığa yok iken, 2 ve özellikle, enerji santralinde 3 elektrostatik çökeltici (ESP) satırları ölçülebilir miktarlarda yakalamak için yeterince serin yeterli uçucu kül C aralığı ve deneyim baca gazı var Hg. Brunauer-Emmett- bir artış ile civa yakalama artar Teller (BET) yüzey alanı ve mikro-gözenekli yüzey alanı. Bulgar arasında Hg yakalama farklılıklar düşük seviye kömür ve yüksek uçucu bitümlü beslenen Kentucky santrallerin yakma tesisleri

düşündürmektedir. Farklı sıralarında yanmasından ortaya çıkan Cı formları varyasyonlar da etkinliğini etkileyen Hg yakalamadır (Kostova, Hower, Mastalerz ve Vassilev, 2011).

Wudang yeraltı kömür damarı yangın, Çin İç Moğolistan 50 yılı aşkın bir geçmişi ile dünyanın en ciddi kömür yangınları biridir ve kentsel alanda rüzgar komşuları tehlikeye sokar. Yangın bölgesi ve kentsel alanda uygulanmıştır Lumex RA-915 + civa analizörü kullanılarak toplam gaz civa (TGM) konsantrasyonunun yerinde gerçek zamanlı ölçüm kömür damarı ateşten potansiyel civa emisyonu ve göç, araştırılmıştır. Sonuçlar ~ 257 ng m^{-3} yükseltilmiş TGM konsantrasyonuna yol açan yangın bölgesi yüzey delikleri ve çatlaklar çıkan dumanların, 3 (211-375 ng m^{-3}) 464 ng m^{-3} ortalama TGM konsantrasyonu göstermek yangın bölgesinde yüzeye yakın hava ve 89 ng m^{-3} (23-211 ng m^{-3}) çevresel alandadır. Wuda kentsel alanda rüzgar bitişik ortalama TGM konsantrasyonu 33 ng m^{-3} olduğunu gösterir. (Liang, Liang ve Zhu, 2014).

Civa (Hg) topluma bilinen ve antik çağlardan beri kullanılmaktadır. Metal nedeniyle kömür yakıtlı araçları yanı sıra diğer çeşitli yüksek sıcaklık süreçlerinden emisyon sonra atmosferde toksisitesi, biyolojik birikim ve uzun menzilli taşıma hayli dikkat ve endişe çekmiştir. Kömür ısı ve elektrik üretimi için yıllık taşkömürü üretimi yaklaşık 5.000 milyon metrik ton (Mt, t = 1.000 kg) düzeyine yaklaşmıştır. Yan ürünler kömür ve kömür kullanımı yoluyla akar. Dünya çapında işleme kömür toplam Hg miktarı kömür, 0,3 mg / kg'lık bir ortalama küresel konsantrasyonuna bağlı olarak 2003 yılında 15.341 olarak saptanmıştır. Orada küresel üretim ve kömür uçucu kül (FA) tüketim üzerinde hiçbir ayrıntılı istatistikler ve bu çalışmada, pulverize kömür kömürlerin ve tipik baca gazı kontrol teknolojisi kül içeriğine dayalı 2003 yılı için toplam küresel FA üretimi tahmini vardır. Yanma ve oluşum ve farklı ülkeler için kömür ve kömür FA Hg konsantrasyonu modu değerlendirilip ve bu çalışmada sunulmuştur. Kömür durumunu ele alınmış, Avustralya, Çin, AB devletleri, Hindistan, Japonya, Kore, Rusya, Güney Afrika ve Güney Amerika ülkeleri de dahil olmak üzere bir kaç kömür üreten ülkeler odaklı olmuştur ve kömür FA kullanımı ve mobilize edilir (Mukherjee, Zevenhoven, Bhattacharya, Sajwan ve

Kikuchi, 2008).

ABD kömür yakıtlı santrallerden civa emisyonları on yılın sonundan önce, ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA) tarafından düzenlenir. Bu nedenle kömür içinde Hg kontrolü önemlidir. Kontrol temelde, maden zenginleşmiş ve aynı ateş kömür Hg miktarlarda bilgisine dayanmaktadır. Doğu Kentucky kömürleri, bir rezerv ilçe düzeyinde, madenlerde kömür ABD ortalamasına benzer Hg içeriği var. Bireysel kömürler genellikle pirit kükürt gelişmiş düzeyleri ile ilişkili üst derece ortak Hg zenginleşme ile derce ölçekte büyük değişim göstermektedir. Doğu Kentucky parçaları arasındaki varyasyon bazıları da büyük arızalara pozisyonda dayanmaktadır. Pine Mountain itme arıza itme kayacını tarafında kömürlerin de, Hg dahil element zenginleşme, sorumlu olduğu görülmektedir. 1999 yılında santrallerin sevk Doğu Kentucky kömürler, yıl USEPA, kömür teslimatlar kömür kaliteli bilgi talep bölgeden sevk kömürler ABD'de tüm teslim kömürlerin için 0,10 ppm ile karşılaştırıldığında, 0,09 ppm Hg sahip olduğunu göstermektedir. Eşit enerji bazında, ve Hg verilen eşit konsantrasyonları üzerine, doğu Kentucky yüksek uçucu bitümlü kömürler diğer ABD bölgelerden düşük dereceli kömürler daha az Hg yayarlar (Hower, Eble ve Quick, 2005).

Batı Kanada alt bitümlü kömür madenciliği yöntemleri kullanılarak çıkarılmaktadır. Kömür elektrik üretimi için kömür yakıtlı santrallerin beslemek için kullanılır. Bu kömürlerin civa içeriği etkileyen parametreler oluşumunu ve ayrışma içinde ayrılıktan sıklığını ve epigenetik mineralizasyon bulunmaktadır. Çoğu ayrılığın en yüksek Hg içeriğine sahip tek bentonit yatak ile aynı dikiş kömür katmanları daha yüksek civa içeriği vardır. Ancak, bu tür kumlu silttaşı gibi bazı yüksek kül bileşenleri, bu trendi takip etmez. Kömür içine yüksek civa besleme kömür içerisinde Hg içeriği artabilir. Epigenetik mineralizasyon da mineralizasyon doğasına bağlı olarak, kömür civa içeriği arttırabilir. Litolojik bileşenlerinin çeşitli kombinasyonu için civa içeriğinin ağırlıklı ortalama hesaplanması bu bileşenlerin toplam civa içeriği nasıl etkilediğini göstermektedir. Bu yaklaşım aynı zamanda kömür civa azaltmak için kullanılmış olabilir (Goodarzi ve Goodarzi, 2004).

Tibet'te en büyük kömür kaynakları vardır. Tibet'te kömür arama ve kullanımı sırasında bazı sağlık sorunları gündeme getirmiştir. Elli Geç Triyas kömür (ya da kömürlü) örnekleri mineraller, potansiyel olarak tehlikeli elementler oluşum ve olası kaynakları kendi modunu belirlemek için Qiangtang Havzası (Tümen madeni, Woruoshan ve Hongshuihe alanları) kaldırdı. Qiangtang Havzası kömür numuneleri düşük veya orta-yüksek toplam kükürt içeriği (0,04-4,86%) ile orta ve yüksek kül verimleri (15,20-47,88%) vardır. Qiangtang Havzası kömür mineraller kil mineralleri, dolomit, kuvars, pirit, siderit ve hematit içerir ve halit, feldspat, anhidrit, barit, kromit ve galen eser miktarda görülür. Kömür örneklerinde potansiyel olarak tehlikeli iz elementler As, Hg, Pb ve Se bulunur. Arsenik alüminosilikat mineralleri ağırlıklı olarak kontrol edilir. Civa organik bağlı formda ağırlıklı olarak ortaya çıkar. Organik bağlı Pb hakimdir. Selenyum Fe-rulman (muhtemelen pirit) ağırlıklı olarak kontrol edilir. Qiangtang kömür gibi, Hg, Pb ve Se yükseltilmiş konsantrasyonları bir kısmı, arka plandaki şist Oda ile ilişkili olabilir. Bu elementler aşınmış ya da sonradan kömür oluşturan turba bataklıklarında syngenetically taşınan ve birikmiş edildi (Fu, Wang, Tan, Feng ve Zeng, 2013).

X-ışını soğurma ince yapı (XAFS) spektroskopisi deneysel açıdan kömür seçilen eser elementler oluşma modunu belirlemek için tarif edilmiştir. XAFS spektrumu elemanın derişiminin yaklaşık 5 ppm aşan Resim bir oluşum şekline ilişkin periyodik tabloda kalsiyum ve molibden arası eleman, bilgi için çıkarılabilir. Bu kömür, organik fraksiyon hem de elemanın mineralojik formlarına dağılmış elemanlar formlara bilgi sağlaması nedeniyle meydana elemental modları saptanması bu spektroskopik yöntem, elektron mikroskop ya da mikroprob yöntemleri tamamlar. Yarıçaplı litofil elemanları, Ti, V, Cr ve muhtemelen Mn için XAFS spektrumları bu elementler mineraller (özellikle illit) ve yüksek uçucu bitümlü kadar derece kömürlerdeki maceráis hem ile ilişkili olabileceğini göstermektedir. XAFS veriler de Mn, Zn, As ve Br büyük ölçüde organik bazı kömürlerin de ilişkili olabilir. As, XAFS spektrumları ve daha az bir ölçüde, Se, kömür havaya maruz kaldıktan sonra, bu elemanlar, zaman içinde okside olduğu göstermektedir (Huggins ve Huffman, 1996).

Besleme kömür, temizlenmiş kömür, orta kalite, balçık ve gang örnekleri Xiqu, Antaibao ve Heidaigou kömür hazırlama tesisleri, Çin de toplanmıştır. Mineraller, kül, kükürt ve 20 tehlikeli eser elementlerin analizleri SEM / EDX, Inaa, ICP-AES, CV-AAS, GaAs ve aynı zamanda deneysel ürünlerden numuneler (üzerinde, elektrostatik ayırma tarafından numuneler üzerinde yapılmıştır ileri-yüzdürme). sülfür ve değişik kömür dereceleri ve kömür hazırlama türleri koşullarında bu eser elementlerin bölümlerde tartışıldı. Sonuçlar, zenginleştirme işlemi sırasında, belirli bir elemanın bölümleme davranışı esas olarak meydana geldiği de modları, taşıyıcı minerallerin dağılımı formları ve zenginleştirme tekniği tipleri tarafından kontrol edildiğini göstermektedir. Tehlikeli eser elementler, farklı kömür sıralarında ve kömür yıkama türleri çıkarılması çeşitli derecelerde olmasına rağmen, elemanlar etkili bir şekilde fiziksel bir kömür azalma olmayacak ince mineral (örneğin, Pb, U ve Be) ve organik maddeler (örneğin, Br ve Cl) ile ilişkili zenginleştirme ve de zenginleştirilmiş kömür bakımından zengin olabilir. İri boyutlu beslemeler (partikül büyüklüğü> 0.5 mm) gibi, iri / epigenetik mineraller ile ilişkili elemanlar gravite ayırma yöntemleri ile daha kolayca çıkarılabilir ve gang ve balçık rapor ince taneli besleme (<0.5 mm) gibi yüksek dielektrik katsayısına sahip minerallerin ile ilişkili elemanlar kolayca elektrostatik ayırma ile kaldırılır; Daha büyük boyutlu fraksiyonlar (74-150 μm), daha küçük boyutlu fraksiyonlar ile karşılaştırıldığında (<74 μm) bir bütün olarak ortaya yüzdürme ile elemanların yüksek çıkartılabilirliğini göstermektedir. Fiziksel kömür temizleme kül ve kükürtün bertaraf sadece etkili değildir, aynı zamanda en tehlikeli eser elementler, konsantrasyonlarını azaltmaktadır. Bununla birlikte, bu parçalar, çevresel bir risk potansiyeline sahiptir ve doğrudan yakıt olarak kullanılmamalıdır için, özellikle Slimes tercihan, pek çok zararlı unsurların (örneğin, Cr, Ni ve Mo) 'de zenginleştirilmiştir (Wen-feng, Yong, Jun-yi ve Jian, 2009).

Kömür yakıtlı santrallerin çevresel etkileri üzerinde endişeler büyümektedir. Alberta batı Kanada eyaleti, Hg en büyük nokta kaynaklarından biridir ve Ulusal diğer eser elementler başından beri santrallerin toplam kümülatif etkisi faaliyetleri birkaç yıl önce endüstri, hükümet kurumları için kritik bir soru olmuştur ve Araştırma topluluğu; Bu makale ile etkisi kümülatif coğrafi sınırlarını belirlemek

amacı dokuz çevre merkezi cıva ve diğer eser elementlerin dağılımını araştıran Alberta kömürle çalışan santrallerin çevreleyen geniş bir alanı kapsayacak tatlı su gölleri, kurşun belirlemek için biriken uçucu külün fiziksel kanıtlar ile birlikte kullanılmıştır. 1956 yılında kömür yakıtlı enerji üretiminin başlangıcından tekabül dolayısıyla beri bütünleşmiş değerlerle çevresel kaygı unsurları toplam ortalama konsantrasyonları ve tozları 1956 daha sonra tespit edilmiştir. 2005 yılında Wabamun As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Sb, V, W, ve Zn sonrası 1956 yükseltme oranları genellikle sediment çekirdeklerinden en yüksek santrallere bitişik iki gölde elde edildi. Ancak, değişken hakim rüzgar yön Hg ve diğer hava dağılımını belirlemede önemli bir rol oynamıştır. Genesee santralinin yakınındaki 2007 yılında toplam Hg bir atmosferik modeli tahmini oldu Hg entegre en etkiledi göl çökelleri ile gösterilen çok daha düşük 1956 yılından bu yana model tortu farkı için en olası açıklama ya o keskin mekansal vardır. Birikimi gradyan bölgede bulunan ve / veya enerji santralleri tarafından son teknoloji gelişmeler ile var olan Hg emisyonları önemli ölçüde azaltılmıştır (Sanei, Goodarzi ve Outridge, 2010).

Güney yarımkürenin Permiyen kömürler genellikle sülfürler, halojen düşük konsantrasyonlarda içerir ve kuzey yarımküre karbonifer kömürlerin karşılaştırıldığında iz element olarak kabul edilir. Az sayıda çalışmada Güney Afrika kömürlerin iz element içeriği göz önüne aldık ve Highveld kömürleri için yayımlanmıştır. Ondört eser elementler (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, V, ve Zn, As), bu unsurlar için tehlikeli olabileceğini küresel algı dayalı bu çalışma için seçildi insan sağlığı ve / veya kömür kullanımı sırasında açığa çıkan çevresel etkiler için, birkaç örnek hazırlama teknikleri bu kömürlerin en tekrarlanabilir tekniği belirlemek için sertifikalı referans malzemeler (SARMs 18, 19 ve 20) kullanılarak test edildi. Numuneler ICP-AES ve CVAA (HG) ile analiz edilmiştir. Mikrodalga, birkaç farklı yöntem kullanımı rağmen genel olarak güvenilmez olduğunu kanıtladı. ICP-AES içine bir besleme direkt enjeksiyon yöntemi referans malzeme ile iyi korelasyon sağlanan, ancak bu nispeten keşfedilmemiş tekniğinde güven düzeyini artırmak için daha da geliştirilmesi gerekmektedir. Numuneler çoğu durumda tekrarlanabilir sonuçlar sağlanan kömür eser element tayini için üç ASTM standartlarına dayanan ve Highveld kömürlerin için kullanılan hazırlama yöntemleri

vardı hazırlanan. Highveld kömürleri için belirlenen eser element değerleri Hg, Mn ve Cr hariç, Güney Afrikalı kömürlerin için literatürde mevcut değerler ile iyi bir uyum içinde genellikle, burada bildirilen Hg değerleri, Cr ve yüksek Mn düşüktür. Sonuçlar genel olarak Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırmalar tarafından yapılmıştır. İz elementler için küresel aralıkları göz önüne alındığında, Highveld aralık değerleri Cr hariç Swaine yelpazesi sınırları içinde bulunmaktadır. Belirlenen on dört eser element için belirtilen küresel ortalama değerleri ile karşılaştırıldığında, Highveld kömürleri için elde edilen değerler genellikle Cr ve Mn hariç, bu ortalama değerlerin altında altında, Cd ve Cu konsantrasyonları düşük küresel ortalama değerleri karşılaştırılır ve As, Mo, Pb, Se, Sb, Zn çok düşük düşük kabul edilebilir. Arsenik, tipik ABD değerleri ile karşılaştırıldığında on kat daha düşüktür. Co ve Ni konsantrasyonları V ve Hg çok hafif daha yüksek olduğu, genel ortalamaları benzerdir. Orta kalitede örnekler, bu örneklerin daha yüksek kül içeriği ile ilgili çok elemanların yüksek konsantrasyonlarda bildirildi. İlgili, belirlenen kalkofil elemanları tüm global ortalamalara göre Highveld kömürlerin içinde tükenmiş ve siderophile elemanları zenginleştirilmiş ya da küresel ortalamalarına karşılaştırılabilir (Wagner ve Hlatshwayo, 2005).

Kütahya'da Tuncbilek kömür yakıtlı enerji santralinin yakınındaki içme suyunda iz element ve radyoaktivite seviyeleri araştırılmıştır. Doğal radyoaktivite (Hg, Pb, Cd, Cu, Cr, Fe, Mn ve Zn, As) eser elementler üzerine bir ön çalışma sekiz içme suyundan örneklerden belirlemek amacıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar genel olarak içme suyu sekiz örneklemeden, iz elementler konsantrasyonu sınırlar DSÖ'yi geçmemiş olduğunu göstermiştir (Öztürk ve Yılmaz, 1999).

BÖLÜM ONBİR
ÖRNEK SAHALARDA KÖMÜR MİNERAL İÇERİĞİNİN ARAŞTIRILMASI VE BULGULARIN İRDELENMESİ

11.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda Soma Karanlıkdere Eynez Yeraltı, Soma Işıklar Yeraltı, Soma Doğu Eynez Yeraltı, Yatağan Eskihisar, Seyitömer Kızık, Seyitömer Ayvalı, Seyitömer S-49, Tunçbilek FC 48 panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden üretilen kömürler kullanıldı.

11.1.1 Numune Alma

Bu çalışmada kullanılan numuneler hiçbir hazırlama işlemine tabi tutulmamış olup, TS 5125 (kahverengi kömür ve linyitler - numune alma prensipleri - rutubet oranı tayini ve genel analizler için numune alma) standartlarına göre numune alındı. Soma Karanlıkdere Eynez Yeraltı, Soma Işıklar Yeraltı, Soma Doğu Eynez Yeraltından üretim sırasında banttan numune alınmıştır. Yatağan Eskihisar, Seyitömer Kızık, Seyitömer Ayvalı, Seyitömer S-49, Tunçbilek FC 48 üretim yapılan açık ocak panolarından ekskavatörler yardımıyla numune alınmıştır. Tunçbilek Lavvar tesisi nihai üründen numune alınmıştır. Bu farklı bölgelerden alınanan numuneler, numune azaltma yöntemiyle azaltılarak, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarına getirildi. Hazırlanan her numune birbirlerini ve alınan asıl numuneyi temsil edecek şekilde azaltılmıştır.

11.1.2 Numune Hazırlama

Numuneler TS 4744 (Kahverengi Kömür ve Linyitler- Numune Alma Prensipleri-Rutubet Miktarı Tayini ve Genel Analizler İçin Numune Hazırlama) standartlarına göre hazırlandı. Kömür numunelerin tamamı, laboratuar tipi Çeneli Kırıcı kullanılarak, numuneler -2mm altında olana kadar kontrollü bir şekilde kırılarak hazır hale getirildi. Hazır hale getirilmiş numune, numune azaltma yöntemleriyle

azaltılıp, 500 gr kadar numune hazırlandı. Hazırlanan her numune birbirlerini ve alınan asıl numuneyi temsil edecek şekilde azaltılmıştır. Bu işlem daha sonra yapılacak testlerin uyumluluğu için çok önemlidir. Kaba nemini atması için 500 gr kadar numune oda sıcaklığın da bekletilerek, tartım sabitlenene kadar ölçümler yapıldı. Bu işlemden sonra yine numune azaltma yöntemiyle 100 gr numune öğütmek için ayrılarak, Halkalı Değirmen ile öğütülüp boyutları -100 µm altına indirildi. Kimyasal analize numune hazırlama için hazır hale getirildi. Analiz numunesi ile tamamen aynı koşullarda ve aynı nitelikte eş zamanlı olarak alınan, numune ile bire bir aynı özelliği gösteren şahit numune de alındı.

11.2 Metod ve Test Yöntemleri

Toplam Nem Tayini: Analizler "Toplam Nem Tayini TS 4744- TS 4745" standartlarına göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numuneleri, (105)°C'deki hava dolaşımlı etüvde sabit tartıma ulaşana kadar kurutuldu. Numune kütle kaybından toplam nem ve çalışma ortamı nemi tespit edildi. Nem Tayini analizi için kullanılan etüv, Nüve FN 500 cihazı kullanıldı.

Kül Tayini: Analizler "Kül Tayini TS ISO 1171" standartlarına göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numuneler Kül Tayini için (550)°C sıcaklığındaki fırında 4 saat yakıldı. Kalan katı bakiyeden kül oranı hesaplanır. Kül Tayini analizi için kullanılan fırın, Protherm Furnaces cihazı kullanıldı.

Uçucu Madde Tayini: Analizler "Uçucu Madde Tayini TS ISO 5071" standartlarına göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numuneler Uçucu Madde Tayini için; analiz numunesi, fırın içerisinde 6 dakika süresince (950)°C sıcaklığa maruz kaldı. İşlem sonunda analiz numunesindeki kütle kaybından uçucu madde oranı tespit edildi. Uçucu Madde Tayini için kullanılan fırın, Lenton cihazı kullanıldı.

Kalorifik Değer: . Analizler "Kalori Tayini TS-2678 TS 2390" standartlarına

göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numunelerin Kalorifik Değeri için; ısı kapasitesi bilinen kalorimetrede kütlesi bilinen analiz numunesi saf oksijen ile doldurulmuş yüksek basınç altında bir tüp içinde yakıldı. Yanma sonucu meydana gelen sıcaklık artışı, cihazın ısı kapasitesi, numunenin kütlesi ve diğer veriler kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda numunenin kalorifik değeri tespit edildi. Kalorifik Değer analizi için kullanılan kalorimetre, İKA C 200 cihazı kullanıldı.

Toplam Kükürt Tayini: Analizler "Toplam Kükürt Tayini TS 363" standartlarına göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numunelerin Toplam Kükürt Tayini değeri için; analiz numunesi 1.350°C sıcaklıktaki fırın içerisinde yakıldı. Numune içerisindeki kükürtlü bileşikler parçalanıp yanarak kükürt dioksit gazına dönüşür. Bu gaz cihaz detektörleri içerisinden geçer. Gaz içerisindeki kükürt dioksit miktarı tespitinden sonra ilgili hesaplamalar ile numunenin kükürt oranı bulunur. Toplam Kükürt Tayini analizi için kullanılan kükürt analiz cihazı, Eltra CS 2000 cihazı kullanıldı.

Küldeki İz Elementlerin Tespiti: Analizler "ASTM D6357-11" standartlarına göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numunelerin Küldeki İz Elementlerin tespiti için kül alınması için; 50 ml'lik kuvars veya yüksek slika pota'da kömür numunesi 0,5 g olacak şekilde tartılarak koyuldu. Pota, fırına ilk bir saat 300 °C sıcaklık ve daha sonra ise 500 °C sıcaklığa kontrollü bir şekilde ayarlandı. En az 2 saat boyunca fırın sıcaklığı 500 °C de muhafaza edildi. Arada bir numune karıştırılarak, karbonlu maddenin hiç bir görünür emare kalmadığında, kül haline getirme işlemi tamamlanmıştır. Bir desikatörde kül soğutulup, numuneler çözeltiye alınması için hazır hale getirildi. Kül numunelerinin çözeltiye alınması; analiz için 0,2-0,5 gr arası ilk aşamada elde edilen kül teflon behere alınarak ve 20 ml Kral suyu (HNO_3: HCL=1:3) + 20 ml konsantre HF ilave edilip Hot plate üzerinde 130°C-150°C arasında kuruluğa kadar buharlaştırıldı. Numunenin yanmasına izin verilmemelidir. Beherin etrafı az miktarda su ile yıkanıp kuruluğa kadar buharlaştırılıp oda sıcaklığına kadar soğutulacaktır. 1 ml HNO_3 ve 20 ml saf su ilave edilerek ağzı kapatılıp 90°C-100°C arasında 1 saat ısıtılacaktır. 100 ml hacme

tamamlanıp HDPE şişelere alınmıştır. Çözeltiye alınmış numunelerin, iz elementlerine Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimyasal ve Çevresel Madencilik Laboratuvarında, Varian 710-ES ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) cihazında bakıldı.

İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi (ICP-OES): İndüktif Eşleşmiş Plazma (ICP), düşük derişimdeki elementlerin ölçüldüğü bir analitik tekniktir. Örnek, 6.000-10.000 K sıcaklığındaki argon plazmaya gönderilir. Plazma içinde moleküler bağlar kırılır, atom ve iyonlar oluşur. Bu oluşan atom ve iyonlar plazma içinde uyarıldıktan hemen sonra karekteristik dalga boylarında ışınım yaparak tekrar eski enerji seviyelerine dönerler. Emisyon sinyalleri Echelle pokromator ve S-CCD (yükten bağlaşımlı aygıt) dizilim detektör sistemiyle ölçülmektedir. Aynı anda birden fazla element tayin edilebilir. Gözlenebilme sınırları µg/l düzeyindedir. ICP-OES cihazı hassas kontitatif analiz, kalitatif tetkik ve sıvılardaki eser elementlerin yüksek hızda ölçülmesine olanak tanımaktadır. Yaklaşık 72 element analizi ppb seviyesinden % seviyesine kadar ölçülebilmektedir. Oksijen aparatı sayesinde solvent içerisinden ppm ve ppb düzeyinde Au ve hidrür sistemi sayesinde Hg, As, Se, Bi, Sb, Sn ve Te elementlerinin ppb düzeyinde ölçüm mümkündür. Numune özellikleri; -100 mikron boyutuna öğütülmüş, yaş yakmaya hazır katı örnek veya analize hazır çözelti olmalıdır.

Civa (Hg) Tayin Yöntem 1: Analizler "EPA 7473" standartlarına göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numunelerin Civa Tayini için; Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Kömür Analiz Laboratuvarında, Teledyne Leeman Labs Hydra IIC civa analizörü cihazıyla civa tayini yapılmıştır. Hydra C civa analizörü ile katı ve sıvı numunelerde toplam civa tayini yapılmaktadır.

Teledyne Leeman Labs Hydra IIC Civa Analizörü: Hydra IIC doğrudan herhangi bir asit ile parçalama olmaksızın (numune hazırlama olmadan) katı ve yarı katı numune matrislerinde civa ölçen tam otomatik anahtar teslimi analizörüdür. Sistem civa konsantrasyonunun soğuk buhar atomik absorpsiyon ile altın birleşmesi ve belirleme yoluyla örnek yanma (termal ayrışma) tekniğini kullanmaktadır. Hydra

IIC’nin en büyük avantajı analizden önce numune hazırlamaya gerek olmamasıdır. Numune hazırlamaya gerek olmadığından atık bertarafı ile ilgili maliyet ve güçlük önlenmektedir.

Hydra IIC'nin yetenekleri ile ilgili önemli noktalar şunlardır;

- Atık oluşturan numune hazırlığı gerektirmez
- Uzatılmış menzil seçeneği ile geniş dinamik aralık
- Örnek seyreltme gerekmeyen mükemmel hassasiyet
- Kolay kalibrasyon; bağımsız matris
- Numune ağırlığı elektronik transferi
- Basit "tak ve çalıştır" tasarımı, bir çırpıda önleyici bakım yapar
- Anında örnek kolayca yerleştirilebilir.

Temel özellikleri;

- Çok kısa sürede katalizör bakımı ve altın yakalama
- Basıncı izleme, katalizör veya örnek tekne enjektör ile bir sorun olduğunu gösterir
- Standart kullanma aralığı 0,001 ng – 1.500 ng
- Dakikalar içinde yüksek kütle analizörü yapılandırılabilir, < 25.000 ng
- ≤ 0,001 ng Alet Tespit limiti

Civa (Hg) Tayin Yöntem 2: Analizler “ASTM D3684 - 01” standartlarına göre yapıldı. Öğütülerek tane boyutu -100 µm altına indirilmiş analiz numunelerin Civa Tayini için; Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında tüp fırında kayık içine yaklaşık olarak 0,8 g’lık olacak şekilde ayrı ayrı toplam 2,4 g’lık numune tüp fırının girişinden verildikten sonra 950°C’ye ısıtılarak, oksijenle numune beslenerek yakıldı. Tüp fırının çıkışında ise sızdırmaz bir şekilde bağlı olan giriş ve çıkışı olan cam düzeneğe verildi. Bu düzeneğin içinde Nitrik asit ve su çözeltisi ilave edildi (10 ml Nitrik asit (HNO3)+ 90 ml saf su). Bu çözeltiden yanan kömür geçirilerek civa çözelti içerisine alındı. Bu çözeltideki numunelere, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimyasal ve Çevresel Madencilik Laboratuvarında, Varian 710-ES ICP-OES

(İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) cihazında bakıldı.

11.3 Mineral Madde Analiz Sonuçları

Bu çalışmada; Soma Karanlıkdere Eynez Yeraltı, Soma Işıklar Yeraltı, Soma Doğu Eynez Yeraltı, Yatağan Eskihisar, Seyitömer Kızık, Seyitömer Ayvalı, Seyitömer S-49, Tunçbilek FC 48 panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden aşağıdaki analiz sonuçları tespit edilmiştir. Civa (Hg) değerlerinin farklı yöntemlerle yapılmış analiz sonuçları Tablo 11.1'de gösterilmiştir. Yöntem 1 de; Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Kömür Analiz Laboratuvarında, Teledyne Leeman Labs Hydra IIC civa analizörü cihazıyla civa tayini yapılmıştır. Bu yöntemde, öğütülerek tane boyutu -100 μm altına indirilmiş analiz numunelerin, başka hiçbir işleme gerek kalmadan ölçümleri yapılabilmiştir. Yöntem 2 de ise; tüp fırında kömür numuneleri yakılarak, daha önceden hazırlanmış olan cam düzeneğin içerisindeki Nitrik asit ve su çözeltisi içerisinden geçirilerek civa çözelti içerisine alındı. Bu çözeltideki numunelere, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimyasal ve Çevresel Madencilik Laboratuvarında, Varian 710-ES ICP-OES (İndüktif Eşleşmiş Plazma Optik Emisyon Spektrometresi) cihazında bakıldı. Kömür analiz sonuçları Tablo 11.2'de verilmiştir. Kömürlerin mineral madde içeriğindeki iz elementlerin analiz sonuçları Tablo 11.3'de gösterilmiştir. İz elementlerin analiz sonuçları içerisinde Tablo 11.3'de gösterilen Hg değerleri Tablo 11.1'deki yöntem 1'in değerleri alınmıştır. Bunun nedeni olarak yöntem 1'in daha hassas ölçüm yapabilmesi, ölçümden önce herhangi bir işlemden geçirilmeden direkt olarak ölçüm yapabilmesi, işlem esnasında uyarı verebilmesi, kalibrasyonunun olmasından dolayı tercih edilmiştir. Yöntem 1, Türkiye Tersiyer Hg ortalaması (Tuncalı ve diğer., 2002) değerlerine daha yakındır.

Türkiye genelinde yürütülen bir proje kapsamında (Tuncalı ve diğer., 2002) Tersiyer yaşlı değişik kömür sahalarından ve bazı sahalarda değişik kömür sektörlerinden derlenen birer örnekteki (toplam 187 örnek) As, Be, Cd, Co, Cr, Cu,Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, V ve Zn gibi, çevre ve insan sağlığı açısından önem taşıyan iz elementlerin Türkiye Tersiyer Ortalama tenörleri ve aynı iz elementlerin dünya

kömürlerindeki ortalama tenörleri ppm olarak Tablo 11.3'de verilmiştir.

Tablo 11.1 Civa (Hg) değerlerinin karşılaştırılması

	Civa (Hg) Tayin Yöntem 1 (ppb)	Civa (Hg) Tayin Yöntem 2 (ppb)
Soma Karanlıkdere Eynez	117,39	15,11
Soma Işıklar	179,69	24,93
Soma Doğu Eynez	103,03	6,68
Yatağan Eskihisar	164,06	63,41
Seyitömer Kızık	188,70	10,83
Seyitömer S-49	212,10	17,47
Seyitömer Ayvalı	306,42	18,86
Tunçbilek FC Pano 48	202,91	26,87
Tunçbilek Lavvar	264,44	13,91

Tablo 11.2 Kömür analiz sonuçları

	KÜL (%)	NEM (%)	UÇUCU MADDE (%)	KALORİ (cal/gr)	KÜKÜRT (%)
Soma Karanlıkdere Eynez	54,82	6,32	35,66	2.445	0,58
Soma Işıklar	41,78	12,17	34,67	2.795	0,84
Soma Doğu Eynez	41,17	7,34	42,00	3.430	0,89
Yatağan Eskihisar	11,21	36,25	34,31	3.294	1,97
Seyitömer Kızık	19,00	23,19	35,63	3.569	1,77
Seyitömer S-49	21,45	23,63	33,13	3.204	2,74
Seyitömer Ayvalı	37,16	23,06	24,97	2.138	1,19
Tunçbilek FC Pano 48	28,15	3,63	31,41	5.326	1,43
Tunçbilek Lavvar	12,42	5,72	37,11	6.351	2,69

Tablo 11.3 Kömürlerin mineral madde içeriğindeki iz elementlerin analiz sonuçları

	As (ppm)	Be (ppm)	Cd (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Cu (ppm)	Hg (ppb)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Ni (ppm)	Pb (ppm)	Sb (ppm)	V (ppm)	Zn (ppm)
Soma Karanlıkdere Eynez	31,42	0,51	1,08	<0,81	27,11	20,48	117,39	107,79	1,68	13,55	17,66	11,69	61,58	34,18
Soma Işıklar	34,20	0,83	1,99	<0,70	39,58	28,42	179,69	123,96	6,14	25,80	37,51	8,46	110,12	64,80
Soma Doğu Eynez	65,02	0,44	0,82	<0,63	12,96	13,04	103,03	109,67	2,53	7,15	21,82	10,99	25,10	29,15
Yatağan Eskihisar	24,51	0,68	1,13	<0,68	15,37	18,73	164,06	100,96	2,53	13,00	12,30	<0,39	19,70	20,56
Seyitömer Kızık	51,35	0,71	2,06	6,25	161,93	24,66	188,70	135,48	5,58	428,46	8,15	3,64	45,90	35,51
Seyitömer S-49	85,59	0,81	2,67	<0,39	85,81	30,08	212,10	98,06	4,31	296,75	16,40	2,81	58,62	40,25
Seyitömer Ayvalı	10,29	0,34	3,80	4,95	287,36	62,75	306,42	155,28	2,88	868,40	10,90	4,56	101,30	46,94
Tunçbilek FC Pano 48	34,69	2,13	1,66	2,80	97,79	33,54	202,91	121,13	8,66	268,23	31,38	6,34	48,37	70,92
Tunçbilek Lavvar	30,06	2,49	1,96	3,33	145,05	25,00	264,44	81,61	17,21	276,19	12,78	8,24	58,02	38,74
Dünya Ortalaması (Swaine, 1990)	10,00	2,00	0,50	5,00	20,00	15,00	120,00	70,00	3,00	20,00	20,00	1,50	40,00	50,00
Türkiye Tersiyer Ortalaması (Tuncalı ve diğer., 2002)	53,00	1,00	1,00	9,40	109,00	22,19	100,00	123,00	9,45	126,00	12,00	2,78	87,00	39,96

BÖLÜM ONİKİ
SONUÇLAR

Termik santrallerde kullanılan kömürlerin mineral madde içeriğindeki iz elementlerin tespiti konulu Yüksek Lisans çalışmasında; Soma Karanlıkdere Eynez Yeraltı, Soma Işıklar Yeraltı, Soma Doğu Eynez Yeraltı, Yatağan Eskihisar, Seyitömer Kızık, Seyitömer Ayvalı, Seyitömer S-49, Tunçbilek FC 48 panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden alınan kömür numunelerindeki iz elementler belirlenmiştir. İz elementler ise; As (Arsenik), Be (Berilyum), Cd (Kadmiyum), Co (Kobalt), Cr (Krom), Cu (Bakır), Hg (Civa), Mn (Mangan), Mo (Molibden), Ni (Nikel), Pb (Kurşun), Sb (Antimon), V (Vanadyum) ve Zn (Çinko) dir.

Kömür içinde bulunan iz elementler, ya doğrudan kömürü oluşturan bitkilerden veya çökelme ortamına ait sudan, ya da havzaya dışarıdan taşınan kırıntılardan kaynaklanır. Bu elementler kömüre ait maserallere veya minerallere (kil, karbonat, sülfit vb.) bağlı olarak bulunur.

As ve Cu; volkanik aktivitenin etkili olduğu bölgelerdeki kömürler içerisinde yüksek düzeylerde tespit edilmiştir.

İz elementlerin kömür içinde bulunuş şekilleri; As (Arsenik); organik madde, pirit ve diğer sülfitler, Be (Berilyum); organik madde, Cd (Kadmiyum); sfalerit, Co (Kobalt); organik madde, pirit, Cr (Krom); organik madde, illit, kromit, Cu (Bakır); kalkopirit, organik madde, Hg (Civa); Pirit, Mn (Mangan); karbonatlar: siderit ve ankerit, Ni (Nikel); sülfitler ve organik madde, Pb (Kurşun); galen ve clausthalite, Sb (Antimon); organik madde, pirit ve diğer sülfitler, V (Vanadyum); kil ve organik madde, Zn (Çinko); sfalerit olarak bulunmaktadır.

Krom (Cr) ve Vanadyum (V) genellikle bir arada bulunur. Kobalt (Co) demir (Fe) ile, arsenik (As) pirit (FeS_2) ile birlikte bulunur.

İz mineraller, periyodik cetveldeki elementlerin birçoğunu içermektedir. Arsenik,

kadmiyum, bakır, kurşun, cıva ve sülfür oluşturma eğiliminde olup FeSx ile birlikte bulunmaktadır. Berilyum kömürün organik kısmına dağılmış halde bulunurken; arsenik, kadmiyum, kurşun, mangan, cıva, molibden ve çinko genellikle inorganik kısımda görülmektedir.

Belirli bir kömür tipinde rastlanılan, bir kömür tipine özgü iz element parajenezi, yapılan çalışmalarda tespit edilmemiş; ancak, bazı elementlerin lineer davranış gösterdikleri belirlenmiştir. Ayrıca, kömür içeren sedimanların ve bölge jeolejik yapısının, iz element parajennezi açısından bir korelasyonu da söz konusu değildir. Ancak bölge genelinde etkili olan mağmatik, volkanik ve metamorfik kayaçların, dolaylı olarak kömür içerisinde ya da kömürlü formasyonlarda iz element konsantrasyonları yaratmaları mümkündür. Özellikle Ge, As, U, Cu ile S; volkanik aktivitenin etkili olduğu bölgelerdeki kömürler içerisinde yüksek düzeylerde tespit edilmiş olup, genç linyitik yataklarında gözlenmiştir.

Belirtilen iz element konsantrasyonlarının kömürler ve kömür taşıyan formasyonlar içerisinde yükselmeleri, kömür birikimi ile eş zamanlı olabildiği gibi senjenetik, daha sonraki işlevler ile geç zamanlı epijenetik, olarak ta söz konusu olmaktadır. Bu ise, değişen iz element konsantrasyon seviyeleri ve depolanma şekillerinin farklılıklarını ortaya çıkarmaktadır. İz element sabitleşmesi ise bazı koşullar çerçevesinde olmaktadır. İz elementlerin kömürlü sedimanlar içersinde geniş ölçüde konsantre olması da, bu sedimanlar ve formasyonlarda belirtilen olaylarla münkün olur.

Kömürde 60'tan fazla iz element bulunabilmektedir. Bu elementlerin genellikle ppm (tonda gram) olarak ifade edilen konsantrasyonları bir ülkeden diğerine, bir sahadan ötekine, hatta bir damar içinde alttan üste değişebilmektedir.

Genellikle düşük kül yüzdesine sahip kömürlerde iz element konsantrasyonu daha yüksek olup, daha yayımlı olarak izlenirler.

Termik santrallerde kullanılan kömürlerin, mineral madde içeriğindeki iz elementlerin varlıklarının, yataklanmadan kaynaklı değişimleri tespit edilmiştir. Yataklardaki iz elementlerin çeşidi ve miktarları, geniş ölçüde yataklanma yerine, anakayanın çeşitlerine ve taşınma koşullarına bağlıdır.

Bütün yataklar farklı oluşumdan kaynaklı olduğu için dünya ortalamasına bakılarak yorumlama yapılabilir.

Tablo 11.3'de de görüldüğü gibi, As (Arsenik) konsantrasyonu dünya ortalaması (10 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (53 ppm) değerleri; bölgelerin tamamında dünya ortalaması değerinden yüksektir. Soma Doğu Eynez (65,02 ppm) ve Seyitömer S-49 pano (85,59 ppm) değerleri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Arsenik kömürlerin inorganik kısmında bulunur. Arsenik, kömür içerisinde bulunuş şekilleri organik madde, pirit ve diğer sülfitlerde bulunur. Arsenik volkanik aktivitenin etkili olduğu bölgelerdeki kömürler içersinde yüksek düzeylerde bulunur. Arsenik buhar halinde yayıldıklarından konvansiyonel kontrol cihazlarıyla baca gazından uzaklaştırılamaz. Arsenik (As), Son derece zehirli bir element olmasından dolayı, As oranı yüksek olan kömürlerin yakılması, insan sağlığı ve çevre açısından tehlike oluşturmaktadır. Endüstriyel kullanımlarda kömürdeki As konsantrasyonu için 100-300 ppm, sınır değer olarak kabul edilmekte, bundan daha fazla As kapsayan kömürler çevre ve insan sağlığı için tehlike oluşturmaktadır.

Be (Berilyum) konsantrasyonu dünya ortalaması (2 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (1 ppm) değerleri; Tunçbilek Lavvar (2,49) ve Tunçbilek FC pano 48 (2,13) değerleri dünya ortama değerinden ve Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Berilyum kömür içerisinde bulunuş şekilleri organik maddede kısmında bulunur.

Cd (Kadmiyum) konsantrasyonu dünya ortalaması (0,5 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (1 ppm) değerleri; bölgelerin tamamında dünya ve Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Kadminyum çoğunlukla çinko ile birlikte bulunur. Isınınca gazlaşır. Kadmiyum esas olarak bir çinko minerali olan sfalerit (Zn, Fe) S ve

ayrıca pirit içinde bulunur. Kadmiyum canlı organizmalarda birikim sağlayan son derece zehirli ve kanser yapıcı bir elementtir. Kömür yakılmasıyla atmosfere, suya ve toprağa karışır. Kadmiyum genellikle organik kısmında bulunur. Kadmiyum buhar halinde yayıldıklarından konvansiyonel kontrol cihazlarıyla baca gazından uzaklaştırılamaz. Kadmiyum kömür içerisinde bulunuş şekilleri, sfalerit olarak bulunmaktadır.

Co (Kobalt) konsantrasyonu dünya ortalaması (5 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (9,40 ppm) değerleri; Seyitömer Kızık pano (6,25) değerleri dünya ortala değerinden yüksektir. Bölgelerin tamamında Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden düşüktür. Kobalt kömürlerin inorganik kısmında bulunmaktadır. Kobalt, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, organik madde ve pirit olarak bulunmaktadır.

Cr (Krom) konsantrasyonu dünya ortalaması (20 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (109 ppm) değerleri; Soma Karanlıkdere (27,11 ppm), Soma Işıklar (39,58 ppm), Tunçbilek Lavvar Tesisi (145,05 ppm), Seyitömer Kızık pano (161,93 ppm), Tunçbilek FC pano 48 (97,79 ppm), Seyitömer Ayvalı (287,36 ppm) ve Seyitömer S-49 pano (85,81 ppm) değerleri dünya ortalaması değerinden yüksektir. Tunçbilek Lavvar Tesisi (145,05 ppm), Seyitömer Kızık pano (161,93 ppm) ve Seyitömer Ayvalı (287,36 ppm) değerleri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Krom, kömürlerin inorganik kısmında bulunmaktadır. Krom, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, organik madde, iilit ve kromit olarak bulunur. Krom ve Vanadyum genellikle bir arada bulunur.

Cu (Bakır) konsantrasyonu dünya ortalaması (15 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (22,19 ppm) değerleri; Soma Karanlıkdere Eynez Yer altı (20,48 ppm), Soma Işıklar Yer altı (28,42 ppm), Yatağan Eskihisar (18,73 ppm), Seyitömer Kızık (24,66 ppm), Seyitömer Ayvalı (62,75 ppm), Seyitömer S-49 (30,08 ppm), Tunçbilek FC 48 (33,54 ppm) panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden (25 ppm) değerleri dünya ortaması değerinden yüksektir. Soma Işıklar Yer altı (28,42 ppm), Seyitömer Kızık (24,66 ppm), Seyitömer Ayvalı (62,75 ppm), Seyitömer S-49 (30,08 ppm), Tunçbilek FC 48 (33,54 ppm) panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden (25

ppm) değerleri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Bakır, kömürlerin inorganik kısmında bulunur. Bakır, volkanik aktivitenin etkili olduğu bölgelerdeki kömürler içerisinde yüksek düzeylerde tespit edilmiştir. Bakır, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, kalkopirit ve organik madde olarak bulunur.

Hg (Civa) konsantrasyonu dünya ortalaması (120 ppb) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (100 ppb) değerleri; Soma Işıklar Yer altı (179,69 ppb), Yatağan Eskihisar (164,06 ppb), Seyitömer Kızık (188,70 ppb), Seyitömer Ayvalı (306,42 ppb), Seyitömer S-49 (212,10 ppb), Tunçbilek FC 48 (202,91 ppb) panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden (264,44) değerleri dünya ortaması değerinden yüksektir. Bölgelerin tamamında Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. İz elementlerin analiz sonuçları içerisinde Tablo11.3'de gösterilen Hg değerleri Tablo 11.1'deki yöntem 1'in değerleri alınmıştır. Bunun nedeni olarak yöntem 1'in daha hassas ölçüm yapabilmesi, ölçümden önce herhangi bir işlemden geçirilmeden direkt olarak ölçüm yapabilmesi, işlem esnasında uyarı verebilmesi, kalibrasyonunun olmasından dolayı tercih edilmiştir. Yöntem 1, Türkiye Tersiyer Hg ortalaması (Tuncalı ve diğer., 2002) değerlerine daha yakındır. Civa da, arsenik gibi zehirli bir elementtir. Civa, kömür içinde düşük konsantrasyonlarda olmak üzere sık rastlanır. Kömüre ait sülfit minerallerine, kil minerallerine ve organik maddeye bağlı olarak bulunur. Kömürdeki civanın önemli bölümünü pirite bağlı civa oluşturmaktadır. Organik madde ve kil minerallerine bağlı olarak bulunan civanın oranı düşüktür. Bir miktar civa, kalsit ve klorit içinde de bulunabilmektedir. Kükürt oranı yüksek olan kömürlerin genellikle civa oranları da yüksektir. Kükürt oranı azaldıkça civa oranı da azalır.

Mn (Mangan) konsantrasyonu dünya ortalaması (70 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (123 ppm) değerleri; bölgelerin tamamında dünya ortalaması değerinden yüksektir. Soma Işıklar Yer altı (123,96 ppm), Seyitömer Kızık (135,48 ppm) ve Seyitömer Ayvalı (155,28 ppm) değerleri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Mangan, kömürlerin inorganik kısmında bulunur. Mangan, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, karbonatlar: siderit ve ankerit olarak bulunur.

Mo (Molibden) konsantrasyonu dünya ortalaması (3 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (9,45 ppm) değerleri; Soma Işıklar Yer altı (6,14 ppm), Seyitömer Kızık (5,58 ppm), Seyitömer S-49 (4,31 ppm), Tunçbilek FC 48 (8,66 ppm) panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden (17,21 ppm) değerleri dünya otalaması değerinden yüksektir. Tunçbilek Lavvar Tesisi (17,21 ppm) değeri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Molibden, kömürlerin inorganik kısmında bulunmaktadır.

Ni (Nikel) konsantrasyonu dünya ortalaması (20 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (126 ppm) değerleri; Seyitömer Kızık (428,46 ppm), Seyitömer Ayvalı (868,40 ppm), Seyitömer S-49 (296,75 ppm), Tunçbilek FC 48 (268,23 ppm) panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden (276,19 ppm) değerleri dünya ortalaması ve Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Nikel, kömürlerin inorganik kısmında bulunmaktadır. Nikel, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, sülfitler ve organik madde olarak bulunmaktadır.

Pb (Kurşun) konsantrasyonu dünya ortalaması (20 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (12 ppm) değerleri; Soma Işıklar Yer altı (37,51 ppm), Tunçbilek FC 48 (31,38 ppm) ve Soma Doğu Eynez Yer altı (21,82 ppm) değerleri dünya ortalaması değerinden yüksektir. Soma Karanlıkdere Eynez Yer altı (17,66 ppm), Soma Işıklar Yer altı (37,51 ppm), Soma Doğu Eynez Yer altı (21,82 ppm), Yatağan Eskihisar (12,30 ppm), Seyitömer S-49 (16,40 ppm), Tunçbilek FC 48 (31,38 ppm) panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden (12,78 ppm) değerleri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Kurşun, kömürlerin inorganik kısmında bulunmaktadır. Kurşun, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, galen ve clausthalite olarak bulunmaktadır.

Sb (Antimon) konsantrasyonu dünya ortalaması (1,5 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (2,78 ppm) değerleri; Yatağan Eskihisar (<0,39 ppm) hariç diğer bölgelerin tamamında dünya ortalaması ve Türkiye Tersiyer ortalaması değerlerinden yüksektir. Antimon, kömürlerin hem organik hemde inorganik kısmında bulunmaktadır. Antimon, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, organik madde, pirit ve diğer sülfitler olarak bulunmaktadır.

V (Vanadyum) konsantrasyonu dünya ortalaması (40 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (87 ppm) değerleri; Soma Karanlıkdere Eynez Yer altı (61,58 ppm), Soma Işıklar Yer altı (110,12 ppm), Seyitömer Kızık (45,90 ppm), Seyitömer Ayvalı (101,30 ppm), Seyitömer S-49 (58,62 ppm), Tunçbilek FC 48 (48,37 ppm) panolarından ve Tunçbilek Lavvar Tesisinden (58,02 ppm) değerleri dünya ortalaması değerinden yüksektir. Soma Işıklar Yer altı (110,12 ppm) ve Seyitömer Ayvalı (101,30 ppm) değerleri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Vanadyum, kömürlerin hem organik hemde inorganik kısmında bulunmaktadır. Vanadyum, kömür içerisinde bulunuş şekilleri,kil ve organik madde olarak bulunmaktadır. Krom ve Vanadyum genellikle bir arada bulunur.

Zn (Çinko) konsantrasyonu dünya ortalaması (50 ppm) ve Türkiye Tersiyer ortalaması (39,96 ppm) değerleri; Soma Işıklar Yer altı (64,80) ve Tunçbilek FC 48 (70,92 ppm) panolarının değerleri dünya ortalaması değerinden yüksektir. Soma Işıklar Yer altı (64,80 ppm), Seyitömer Ayvalı (46,94 ppm), Seyitömer S-49 (40,25 ppm), Tunçbilek FC 48 (70,92 ppm) panolarının değerleri Türkiye Tersiyer ortalaması değerinden yüksektir. Çinko, kömür içerisinde bulunuş şekilleri, sfalerit olarak bulunur.

Herhangi bir iz elementin yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonuna Clarke Değeri (Clarke Value) denir. Bir kaya veya kömür içindeki bir elementin konsantrasyonu, Clark değerinden 6 kattan fazla ise o element için bir zenginleşmeden söz edilir. Eğer konsantrasyon, Clark değerinin 1/6'sından daha küçük ise bir fakirlik söz konusudur.

Yer kabuğunun As Clarke Değeri (yer kabuğu ortalaması) 5 ppm'dir. Kömürdeki As'nin yeryüzündeki dağılımına bakıldığında, genelde güney yarıküre taşkömürlerinin (Permiyen) sülfit, halojen (F, Br, I) ve iz element konsantrasyonları, kuzey yarıküre kömürlerine oranla düşüktür. Buna karşılık kül oranları yüksektir

As, kömürün yanmasıyla büyük ölçüde gaza dönüşür. Ancak bu gaz, bir süre

sonra yoğunlaşarak katı hale geçer, yani tozlaşır ve uçucu küle (fly ash) karışır. Yanma, bir termik santralde olduğunda, uçucu külün %97-99'a varan bölümü elektrostatik filtrelerde tutulduğundan As'nin atmosfere kaçışı büyük ölçüde engellenmektedir. Yanma ile birlikte kömürdeki As'nin çok küçük bir bölümü kazan dibindeki küle (bottom ash) karışmaktadır. Pirit ve organik maddeye bağlı olan As uçucu küle karışırken, kil minerallerine bağlı olan As, kazan dibindeki küle geçmektedir.

Kömürde bulunan iz elementlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerinin belirlenmesinde, kömür içindeki konsantrasyonlarından başka, söz konusu kömürlerin günlük hayatta ne kadar zamandan bu yana kullanıldıkları ve de kullanım şekilleri, yani kömür yakma tekniği de büyük önem taşımaktadır.

Kömürde çok sayıda eser element vardır. Hg, Zn, Cd, As, Pb, Mn, Mo, Co, Ni, Cr, ve Cu, kömürlerin inorganik kısmında; Be genellikle organik kısmında; Sb ve V ise hem organik hemde inorganik kısmında bulunur. Genellikle, kömürün içerdiği mineral maddelerle birlikte bulunan bu elementlerin çevre kirliliğine katkısı; Külün veya maden artıklarının yağmur suları ile ekstraksiyonu ve yakma sistemlerinden baca gazı ile atmosfere taşınım ile iki yolla olmaktadır.

İz elementler ısı karşısındaki davranışlarına göre 3 grupta toplanır; birinci grup iz elementler; Mn (Mangan) kömürün yanmasıyla katı halde kalarak doğrudan küle karışır. İkinci grup iz elementler As (Arsenik), Cd (Kadmiyum) ve Pb (Kurşun) yanma ile gaz haline geçer; ancak bacadan atıldıktan sonra yoğunlaşarak, uçucu küllere yapışır ve bir süre sonra tekrar yeryüzüne iner. Üçüncü grup iz elementler Hg (Civa) kömürün yanmasıyla gaz haline dönüşerek, bacadan atmosfere atılır. Gaz haline geçen iz elementler çevre üzerinde en fazla etkili olanlardır. Be, Co, Cr, Cu, Mo vb. elementler hem birinci, hem de ikinci gruba girmekte; Kömür içinde bulunabilen Be ve Co vb. elementler kömürün yanması sonucu, bacadan gaz şeklinde çıktıkları halde, havada yoğunlaşarak uçucu küllere yapışır ve yeryüzüne iner; ya da yanma ile birlikte doğrudan kazan dibinde biriken küllere katılır.

Kömüre dayalı modern termik santrallarda bulunan elektrofiltreler ile yanan kömürden çıkan tozlar (uçucu kül) %95'ten daha büyük bir oranda tutulmakta ve bunların atmosfere çıkışları engellenmektedir.

Yakma bölgesinde buharlaşmayan elementlerin baca gazından uzaklaştırılması, buharlaşanlara oranla daha etkili bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Hg, As ve Cd gibi elelementler, buhar halinde yayıldıklarından, konvansiyonel kontrol cihazlarıyla baca gazından uzaklaştırılamaz. Her bir eser elementin uçucu küldeki derişimi, öncelikle, orijinal yakıtın eser element içeriğine bağlıdır.

Kömür ile çalışan termik santraller, doğaya saldıkları katı ve gaz atıklar sebebiyle, gerek atmosferin kirlenmesinde gerekse de ekosistemin zarar görmesinde çok etkili rol alırlar.

Sonuç olarak; çevresel etkilerinin tespit edilmesi için, her termik santralin kapasitelerinin farklı olmasından dolayı, doğada ölçümler yapılarak tespit edilmesi gereklidir. Örneğin civa, her termik santralin yıllık yaktığı kömür miktarı farklı olduğu için salınımlarıda farklı olmaktadır. Bu çalışma söz konusu sahalardaki iz element varlığını ortaya koymakta ve bunların oluşabilecek etkileri hakkında bilgiler içermektedir.

KAYNAKLAR

Akar, G. (2009). *Kömür mineral madde içeriğinin yanma prosesindeki etkilerinin incelenmesi.* Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.

Atabey, E. (2009). *Arsenik ve etkileri.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri ve Kültür Serisi 3

Atabey, E. (2010). *Türkiye'de insan kaynaklı (antropojenik) unsurlar ve çevresel etkileri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri ve Kültür Serisi 7

Atabey, E. (2010). *Türkiye'de içme suyunda flor ve etkileri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yer Bilimleri ve Kültür Serisi 9

Ateşok, G. (1991). *Kömürün koklaştırılması*. O. Kural, (Ed.), Kömür içinde (512-612). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Brown, T.D., Smith, D.N., O'Dowd, W.J. ve Hargis Jr, R.A. (2000). Control of mercury emissions from coal-fired power plants: a preliminary cost assessment and the next steps for accurately assessing control costs. *Fuel Processing Technology, 65-66, 311-341*

Bürküt, Y., Kırıkoğlu, S. ve Suner, F. (1991). Kömürlerin jeokimyasal özellikleri. O. Kural, (Ed.), *Kömür* içinde (103-116). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Cameron, C.C., Palmer, C.A. ve Esterle, J.S. (1990). The geology of selected peat-forming environments in temperate and tropical latitudes. *International Journal of Coal Geology*, 16, 1-3, 127-130

Çelikler Holding (b.t.). *Çelikler Seyitömer.* 14 nisan 2016 http://celiklerholding.net/grup-sirketleri_2/celikler-seyitomer

Dabrowski, J.M., Ashton, P.J., Murray, K., Leaner, J.J. ve Mason R.P. (2008). Anthropogenic mercury emissions in South Africa: Coal combustion in power plants. *Atmospheric Environment,* 42, 6620-6626

Demirak, A., Balcı, A., Dalman, Ö. ve Tüfekci, M., (2004). Chemical investigation of water resources around the Yatagan thermal power plant of Turkey. *Water, Air, and Soil Pollution,* 162, 171-181

Deneysan (b.t.). *Termik Santraller.* 14 Nisan 2016 http://deneysan.com/Content/images/documents/es-02_67338194.pdf

Elektrik Üretim Anonim Şirketi – EÜAŞ, (2016). *Elektrik üretim sektör raporu 2015*. Ankara: Elektrik Üretim Anonim Şirketi

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu - EPDK, (2016). *Elektrik piyasası 2015 yılı piyasa gelişim raporu.* Ankara: T.C. enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı – ETKB, (2016). *Dünya ve ülkemiz enerji ve tabii kaynaklar görünümü.* Ankara: Strateji Geliştirme Başkanlığı

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (b.t.a). *Elektrik.* 01 Ağustos 2016. http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (b.t.b). *Kömür.* 01 Ağustos 2016. http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur

Flores, E.M.M., Welz, B. ve Curtius A.j. (2001). Determination of mercury in mineral coal using cold vapor generation directly from slurries, trapping in a

graphite tube, and electrothermal atomization. *Spectrochimica Acta Parts Spectrochimica Acta Part B*, 56, 1605-1614

Font, O., Cordoba, P., Leiva, C., Romeo, L.M., Bolea, I., Guedea, I., Moreno, N., X., Querol, Fernandez, C. ve Diez, L.I. (2012). Fate and abatement of mercury and other trace elements in a coal fluidised bed oxy combustion pilot plant. *Fuel, 95,* 272-281

Fu, X., Wang, J., Tan, F., Feng, X. ve Zeng, S. (2013). Minerals and potentially hazardous trace elements in the Late Triassic coals from the Qiangtang Basin, China. *International Journal of Coal Geology*, 116-117, 93-105

Glodek, A. ve Pacyna, LM. (2009). Mercury emission from coal-fired power plants in Poland. *Atmospheric Environment*, 43, 5668-5673

Goodarzi, F. ve Goodarzi, N.N. (2004). Mercury in Western Canadian subbituminous coal a weighted average study to evaluate potential mercury reduction by selective mining. *International Journal of Coal Geology,* 58, 251-259

Gürdal, G. (2008). Geochemistry of trace elements in Çan coal (Miocene), Çanakkale. *Turkey International Journal of Coal Geology*, 74, 28 – 40.

Gürdal, G. (2011). Abundances and modes of occurrence of trace elements in the Çan coals (Miocene), Çanakkale-Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 87, 157-173

Hassett, DJ. ve Eylands, KE. (1999). Mercury capture on coal combustion fly ash. *Fuel*, 78, 243-248

Hower, J.C., Eble, C.F. ve Quick J.C. (2005). Mercury in Eastern Kentucky coals:

Geologic aspects and possible reduction strategies. *International Journal of Coal Geology,* 62, 223-236

Hower, J.C., Robl, T.L., Anderson, C., Thomas, G.A., Sakulpitakphon, T., Zhuang, Y., Martin, C., Pavlish, J. ve Botha, F. (2011). Cobenefit of SO_3 reduction on mercury capture with activated carbon in coal flue gas. *Fuel,* 90, 2998-3006

Hower JC., Mastalerz, M., Drobniak, A., Quick, JC., Eble, CF. ve Zimmerer, MJ. (2005). Mercury content of the Springfield coal, Indiana and Kentucky. *International Journal of Coal Geology,* 63, 205 – 227

Hower, JC., Senior, CL., Suuberg, E.M., Hurt, R., Wilcox, JL. ve Olson, ES. (2010). Mercury capture by native fly ash carbons in coal-fired power plants. *Progress in Energy and Combustion Science,* 36, 510-529

Huggins, F.E. ve Huffman, G.P. (1996). Modes of occurrence of trace elements in coal from XAFS spectroscopy. *International Journal of coal Geology*, 32, 31-53

Karayigit, A.I., Gayer, R.A., Querol, X. ve Onacak, T. (2000). Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants. *International Journal of Coal Geology,* 44, 169-184

Karatepe, N., Yavuz, R. Meriçboyu, A.E. ve Öztürk. M. (1998). Kömür ve çevre ilişkileri. O. Kural, (Ed.), *Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri* içinde (623-649). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Kemal, M. ve Arslan, V. (2010). *Kömür teknolojisi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi yayınları No:033

Kostova, I., Vassileva, C., Dai, S., Hower, J.C. ve Apostolova, D. (2013). Influence of surface area properties on mercury capture behaviour of coal fly ashes from some Bulgarian power plants. *International Journal of Coal Geology,* 116-117,

227-235

Kostova, I.J., Hower, J.C., Mastalerz, M. ve Vassilev, S.V. (2011). Mercury capture by selected Bulgarian fly ashes: Influence of coal rank and fly ash carbon pore structure on capture efficiency. *Applied Geochemistry*, 26, 18-27

Köksoy, M. (1985). *Yakıtlar Jeolojisi*. Ankara: Hacettepe Üniversitesi yayınları A54

Kural, O. (Ed.). (1988). *Kömür kimyası ve teknolojisi.* İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Kural, O. (Ed.). (1991). *Kömür.* İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Kural, O. (Ed.). (1998). *Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri.* İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Kural, O. (1991). Diğer önemli karbonlu maddelerin tanıtılması. O. Kural, (Ed.), *Kömür* içinde (842-872). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Küçükönder, YT., (2014). *Enerjide dışa bağımlılığın azaltılması ve ekonomiye katkısının artırılması kapsamında linyit rezervlerinin değerlendirilmesi uzmanlık tezi*. Ankara: Kalkınma Bakanlığı Yayın No:2876.

Liang, Y., Liang, H. ve Zhu, S. (2014). Mercury emission from coal seam fire at Wuda, *Inner Mongolia, China. Atmospheric Environment,* 83, 176—184

Lopez-Anton, M.A., Díaz-Somoano, M., Ochoa-Gonzalez, R. ve Martinez-Tarazona, M.R. (2012). Analytical methods for mercury analysis in coal and coal combustion by-products. *International Journal of Coal Geology*, 94, 44-53

Maden Mühendisleri Odası – MMO, (2015). *Enerji ve kömür raporu*. Ankara: Maden Mühendisleri Odası

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü – MTA, (2010). *Türkiye linyit envanteri*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü – MTA, (2012). *Dünya'da ve Türkiye'de kömür*. Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.

Mardon, S.M. ve Clark, W.L. (2005). Characteristics of coal combustion products (CCP's) from Kentucky power plants, with emphasis on mercury content. *Fuel,* 84, 1338-1350

Mardon, S.M. ve Hower, J.C. (2004). Impact of coal properties on coal combustion by-product quality: examples from a Kentucky power plant. *International Journal of Coal Geology,* 59, 153-169

Meriçboyu, A.E., Beker, Ü.G. ve Küçükbayrak, S. (1991). Kömür ve çevre ilişkileri. O. Kural, (Ed.), *Kömür* içinde (571-583). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Meriçboyu, A.E., Beker, Ü.G. ve Küçükbayrak, S. (1998). Kömürün kullanımını belirleyen önemli özellikler. O. Kural, (Ed.), *Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri* içinde (149-163). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Meriçboyu, A.E., Beker, Ü.G. ve Küçükbayrak, S. (1998). Kömür ve çevre ilişkileri. O. Kural, (Ed.), *Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri* içinde (571-585). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Meyers, R.A. (1982). *Coal structure.* New York: Academic Pres.

Nakoman, E. (1971). *Kömür.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü yayınları

Mukherjee, A.B., Zevenhoven, R., Bhattacharya, P., Sajwan, K.S. ve Kikuchi, R. (2008). Mercury flow via coal and coal utilization by-products: A global perspective. *Resources, Conservation and Recycling, 52, 571-591*

Ohki, A., Taira, M., Hirakawa, S., Haraguchi, K., Kanechika, F., Nakajima, N. ve Takanashi, H. (2014). Determination of mercury in various coals from different countries by heat-vaporization atomic absorption spectrometry: Influence of particle size distribution of coal. *Microchemical Journal*, 114, 119-124

Önal, G. ve Doğan, Z., (2006). Dünya ve Türkiye'de elektrik üretiminde kömürün yeri ve temiz kömür uygulamaları. G. Önal ve N. Acarkan, (Ed). *Kömür ve enerji semineri* içinde (61-71). Ankara: TKİ Genel Müdürlüğü, Kömür ve Enerji Semineri

Özdoğan, S. ve Ünver, Ö. (1998). Türkiye'nin taş kömürü ve linyit envanteri ile ilgili ekonomik değerlendirme. O. Kural, (Ed.), *Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri* içinde (7-16). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Özpeker, I. (1991). Kömür oluşumu petrografisi ve sınıflandırılması. O. Kural, (Ed.), *Kömür* içinde (8-74). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Öztürk, N. ve Yılmaz, Y.Z. (1999). Trace elements and radioactivity levels in drinking water near tuncbilek coal-fıred power plant in Kütahya, Turkey. *Technical Note*, Pil, S0043-1354,00168-2

Pacyna, G., Pacyna, J.M., Sundseth, K., Munthe, J., Kindbom, K., Wilson, S., Steenhuisen, E. ve Maxson, P. (2010). Global emission of mercury to the atmosphere from anthropogenic sources in 2005 and projections to 2020.

Atmospheric Environment, 44, 2487-2499

Pacyna, E.G., Pacyna, J.M, Steenhuisen, F. ve Wilson, S. (2006). Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000. *Atmospheric Environment*, 40, 4048-4063

Pekney, N., Martello, D., Schroeder, K. ve Granite, E. (2009). Environmental chamber measurements of mercury flux from coal utilization by-products. *Fuel*, 88, 890-897

Pirrone, N., Costa, P., Pacyna, J.M. ve Ferrara, R. (2001). Mercury emissions to the atmosphere from natural and anthropogenic sources in the Mediterranean region. *Atmospheric Environment*, 35, 2997-3006

Rimmer, S.M., (1991). Distributions and associations of selected trace elements in the lower Kittanning seam, western Pennsylvania, U.S.A. *International Journal of Coal Geology*, 17, 3-4, 189

Wilcox, J., Rupp, E., Ying, S.C., Lim, D., Negreira, A.S., Kirchofer, A., Feng, F. ve Lee, K. (2012). Mercury adsorption and oxidation in coal combustion and gasification processes. *International Journal of Coal Geology*, 90-91, 4-20

Sakulpitakphon, T., Hower, JC., Schram, WH. ve Ward, CR. (2004). Tracking mercury from the mine to the power plant: geochemistry of the Manchester coal bed, Clay County, Kentucky. *International Journal of Coal Geology*, 57, 127-141

Sanei, H., Goodarzi, F. ve Outridge, P.M. (2010). Spatial distribution of mercury and other trace elements in recent lake sediments from central Alberta, Canada: An assessment of the regional impact of coal-fired power plants. *International Journal of Coal Geology*, 82, 105-115

Sitti, K., Tanrısever, F., Derinkuyu, K. ve Külfetoğlu, M. (2016). *Yerli kömür santralleri ve teşvikler.* Ankara: Yerli kömür santrallerinde risk analizi ve teşvik mekanizmaları çalıştayı, Türkiye Enerji Vakfı. 13 Haziran 2016 http://www.tenva.org/wp-content/uploads/2016/05/Dr.FehmiTanrisever-Lansman-Sunumu-Komur-Tesvikleri_v2.pdf

Ticknor, LJ., Hsu-Kim, H. ve Deshusses, MA. (2014). A robust framework to predict mercury speciation in combustion flue gases. *Journal of Hazardous Materials,* 264, 380-385

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu – TKİ, (2015). *TKİ 2014 yılı kömür sektör raporu (linyit).* Ankara: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.

Toprak, S. (2000). *Kömür, kömür petrografisi ve kok teknolojisinde kullanımı.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü .

Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü – TEİAŞ, (2015). *Türkiye elektrik enerjisi 5 yıllık üretim kapasite projeksiyonu* (2015 - 2019). Ankara: Türkiye Elektrik İletim A.Ş. Genel Müdürlüğü Planlama ve Stratejik Yönetim Dairesi Başkanlığı

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu – TKİ, (2009). *TKİ 2010-2014 Stratejik planı.* Ankara: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu – TKİ, (2014). *TKİ 2015-2019 Stratejik planı.* Ankara: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.

Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu – TKİ, (2016). *TKİ 2015 yılı faaliyet raporu.* Ankara: Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu.

Tuncalı, E., Çiftçi, B., Yavuz, N., Toprak, S.,Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H. ve Şahin, N. (2002). *Türkiye tersiyer kömürlerinin kimyasal ve teknolojik özellikleri.* Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Yayını

Ünalan, G. (2010). *Kömür jeolojisi.* Ankara: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi Yayınları.

Wagner, N.J. ve Tlotleng, M.T. (2012). Distribution of selected trace elements in density fractionated Waterberg coals from South Africa. *International Journal of Coal Geology,* 94, 225-237

Wagner, N.J.ve Hlatshwayo, B. (2005). The occurrence of potentially hazardous trace elements in five Highveld coals, South Africa. *International Journal of Coal Geology, 63, 228-246*

Wajima , T. ve Sugawara, K. (2011). Adsorption behaviors of mercury from aqueous solution using sulfur-impregnated adsorbent developed from coal. *Fuel Processing Technology,* 92, 1322-1327

Wang, J., Wang, W., Xu, W., Wang, X. ve Zhao S. (2011). Mercury removals by existing pollutants control devices of four coal-fired power plants in China. *Journal of Environmental Sciences,* 23, (11), 1839-1844

Wen-feng, W., Yong, Q., Jun-yi, W. ve Jian, L. (2009). Partitioning of hazardous trace elements during coal preparation. *Procedía Earth and Planetary Science* 1, 838-844

Wichlinski, M., Kobylecki, R. ve Bis, Z., (2014). The release of mercury from polish coals during thermal treatment of fuels in a fluidized bed reactor. *Fuel Processing Technology,* 119, 92-97

Yaman, S. ve Küçükbayrak, S. (1998). Kömürün içerdiği mineral maddenin kömürün kullanımına etkileri. O. Kural, (Ed.), *Kömür özellikleri, teknolojisi ve çevre ilişkileri* içinde (139-147). İstanbul: İTÜ Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü

Yudovich, Ya. E. ve Ketris, M.P. (2005). Mercury in coal: a review Part 1. Geochemistry. *International Journal of Coal Geology,* 62, 107-134

Yudovich, Ya. E. ve Ketris, M.P. (2005). Mercury in coal: a review Part 2. Coal use and environmental problems. *International Journal of Coal Geology*, 62, 135-165

Yüksek Planlama Kurulu – YPK, (2009). *Elektrik enerjisi piyasası ve arz güvenliği strateji belgesi.* Ankara: http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FBelge%2FArz_Guvenligi_Strateji_Belgesi.pdf

Zhang, L., Zhuo, Y., Chen, L., Xu, X. ve Chen, C. (2008). Mercury emissions from six coal-fired power plants in China. *Fuel Processıng Technology,* 89, 1033 - 1040

Zeyrek, M.E. (2006).Türkiye'nin elektrik üretimnde kömürün yeri ve yapılması gerekenler. G. Önal ve N. Acarkan, (Ed). *Kömür ve enerji semineri*. Ankara: TKİ Genel Müdürlüğü, Kömür ve Enerji Semineri

Zheng, L., Liu, G. ve Chou, C. (2008). Abundance and modes of occurrence of mercury in some low-sulfur coals from China. *International Journal of Coal Geology*, 73, 19-26

Zhuang, Y., Martin, C., Pavlish, J. ve Botha, F. (2011). Cobenefit of SO_3 reduction on mercury capture with activated carbon in coal flue gas. *Fuel*, 90, 2998-3006

Zorlu, Ü. (1987). *Kömür.* Konya: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Orta Anadolu 2. Bölge Müdürlüğü