

**SEYİTÖMER (KÜTAHYA-TÜRKİYE) TERMİK  
SANTRALINDA YANAN KÖMÜRLERİN VE OLUŞAN  
KATI ATIKLARIN MİNERALOGİSİ VE PETROGRAFİSİ**

**MINERALOGY AND PETROGRAPHY OF FEED COALS  
AND COMBUSTION RESIDUES FROM THE SEYİTÖMER  
(KÜTAHYA-TÜRKİYE) THERMAL POWER PLANT**

**ÖZLEM KIRDIM**

Hacettepe Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin  
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
olarak hazırlanmıştır.

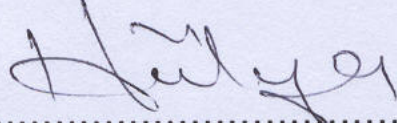
2006



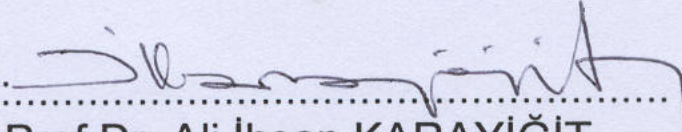
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne,

Bu çalışma jürimiz tarafından **JEOLojİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI 'nda**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

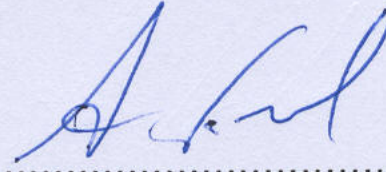
Başkan

  
.....  
Doç.Dr. Hülya İNANER

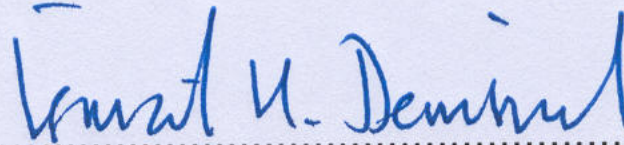
Üye (Danışman)

  
.....  
Prof.Dr. Ali İhsan KARAYIĞIT

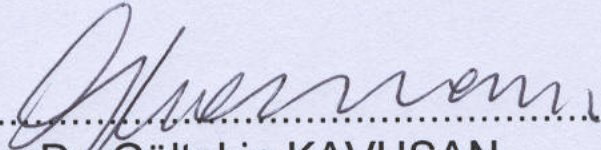
Üye

  
.....  
Prof.Dr. Abidin TEMEL

Üye

  
.....  
Prof.Dr. İsmail Hakkı DEMİREL

Üye

  
.....  
Doç.Dr. Gültekin KAVUŞAN

ONAY

Bu tez ...../...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri  
üyeleri tarafından kabul edilmiştir.

...../...../.....

Prof.Dr. Ahmet ÖZDURAL

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRÜ



# SEYİTÖMER (KÜTAHYA-TÜRKİYE) TERMİK SANTRALINDA YANAN KÖMÜRLERİN VE OLUŞAN KATI ATIKLARIN MİNERALOGİSİ VE PETROGRAFİSİ

Özlem Kırdım

ÖZ

Seyitömer linyit havzası, Batı Anadolu'daki önemli kömür havzalarından biridir. Bu havzada kömür üretimi, açık-ocak işletme yöntemiyle yapılmaktadır. Havzadan yılda 6,5 Mt linyit üretilmekte ve tümü 4x150 MW kurulu güce sahip, Seyitömer termik santralında yakılmaktadır. İşletilen kömür damarı, Orta-Üst Miyosen yaşlı gölsey Seyitömer Formasyonu içerisinde yer almaktadır. Termik santralda yanan kömürlerden, uçucu küllerden ve taban küllerinden 8 hafta boyunca toplam 24 adet örnek alınmış, tez kapsamında mineralojisi, petrografisi ve element içeriği değerlendirilmiştir. Santralda yanan kömürlerden alınan örneklerin laboratuvara geldiği durumda sırasıyla yüksek nem içeriğine (ort. %31,87), havada kuru bazda yüksek kül içeriğine (ort. %46,71), nispeten yüksek kükürt içeriğine (ort. %1,62) ve düşük alt ısı değere (ort. 2663 kcal/kg) sahip olduğu saptanmıştır. Uçucu ve taban küllerinin ortalama kül içerikleri %96,57 ve %85,89'dur. X-ışınları toz difraktogramları (XRD) yardımıyla termik santralda yanan kömürlerde, amorf madde dışında, kil mineralleri (smektit, illit, kaolinit, klorit ve pirofillit), kuvars, feldispat, pirit, siderit, opal-CT ve az oranda kalsit, aragonit, ankerit, jips saptanmıştır. Aynı çalışmalarla uçucu ve taban küllerinde amorf maddenin (cam) en önemli kısmı oluşturduğu tespit edilmiştir. Termik santralda yanan kömürlerde SEM-EDX çalışmalarıyla mikron büyüklüğündeki mineraller, örneğin FeNi-sülfür (pentlandit), rutil, apatit, barit ve sfalerit; uçucu küllerde FeNi-sülfür (pentlandit), rutil, apatit, barit, melilit ve yanmamış karbon (char) saptanmıştır. Taban küllerinde ise uçucu küllerde saptanan minerallere ilave olarak siderit ve selsian tespit edilmiştir. Petrografik çalışmalara göre, yanan kömürlerin yüzde rastgele hüminit yansıtımalarının ortalaması 0,30 (%Rr, yağda)'dur. Termik santralda yanan kömürlerde hüminit grubu en önemli maseral grubunu oluşturmaktadır. Kömürlerin ortalama değerlere göre önemli esas element bileşimlerini Al, Fe, Ca, Mg ve K oluşturmaktadır. Eser element konsantrasyonları dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerlerin arasında kalmakla birlikte, Ti (ort. 2100 ppm), Mn (ort. 348 ppm) ve özellikle Cr (183 ppm) ve Ni (423 ppm) bu sınırları aşmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Beslenen kömür/yanan kömür, uçucu kül, taban külü, mineraloji, eser element, Seyitömer, Türkiye.

**Danışman:** Prof.Dr. Ali İhsan Karayigit, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Yatakları-Jeokimya Anabilim Dalı

# MINERALOGY AND PETROGRAPHY OF FEED COALS AND COMBUSTION RESIDUES FROM THE SEYİTÖMER (KÜTAHYA-TÜRKİYE) THERMAL POWER PLANT

## ABSTRACT

The Seyitömer lignite basin is one of the most important coal basins in western Anatolia. Lignite production is performing by open-cast mining methods in this basin. Annual coal production is about 6,5 Mt and all production is being burned at Seyitömer power plant having 4x150 MW capacity. Workable coal seam is located to the lacustrine Seyitömer Formation of Middle-Late Miocene age. A total of 24 samples, feed coals, fly ashes and bottom ashes were systematically collected once a week over an eight-week period from the boiler unit, and their petrography, mineralogy and elemental contents have been evaluated in this study. The feed coal samples have high moisture (av. 31,87%) on an as-received basis, very high ash yield (av. 46,71%), relatively high total sulfur content (av. 1,62 %), low net calorific value (av. 2663 kcal/kg) on an air-dried basis. Mean values of ash yields of the fly ash and bottom ash samples on an air-dried basis are %96,57 and %85,89, respectively. X-ray powder diffraction (XRD) studies show that beyond amorphous (organic) matter, clay minerals (smectite, illite, kaolinite, chlorite and pyrophyllite), quartz, feldspar, pyrite, siderite, opal-CT and minor amounts of calcite, aragonite, ankerite, gypsum were determined in samples of the feed coals. The same studies show that the amorphous matter (glass) is the main constituent of the fly ash and bottom ash samples. SEM-EDX studies indicate that micron sized minerals, such as FeNi-sulfur (pentlandite), rutile, apatite, barite and sphalerite were determined in samples of the feed coals; FeNi-sulfur (pentlandite), rutile, apatite, barite, mellite and unburned carbon (char) in fly ash samples. In addition to these, siderite and celsian in the bottom ash samples were determined with SEM-EDX studies. Petrographic studies show that mean random huminite reflectances of the feed coals were measured as 0,30% (%R<sub>r</sub>, oil). Huminite group macerals are most abundant in the feed coal samples. Major elements of the feed coal samples constitute Al, Fe, Ca, Mg ve K. Mean values of trace elemental concentrations of feed coals fall within the ranges of most world coals, except for Ti (av. 2100 ppm), Mn (av. 348 ppm) and especially Cr (av. 183 ppm) and Ni (av. 423 ppm) values.

**Keywords:** Feed coal, fly ash, bottom ash, mineralogy, trace element, Seyitömer, Türkiye.

**Advisor:** Prof.Dr. Ali İhsan Karayığit, Hacettepe University, Department of Geological Engineering, Ore Deposits-Geochemistry Section



## TEŞEKKÜR

Tez çalışması, Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde 2003-2006 yılları arasında yürütülmüş ve TÜBİTAK tarafından 105Y042 Nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Tez çalışmasıyla ilgili laboratuvar çalışmalarının bir bölümü Institute of Earth Sciences, "Jaume Almera", CSIC, Barcelona-İspanya'da ve A.B.D.'deki USGS'de gerçekleştirilmiştir.

Yazar, bilimsel ve laboratuvar desteklerinden dolayı tez danışmanı Prof.Dr. Ali İhsan Karayığit'e, katkılarından dolayı TÜBİTAK'a, Dr. Xavier Querol ve Dr. Andres Alastuey'in şahsında İspanya'daki Institute of Earth Sciences, "Jaume Almera", CSIC'a, Hg, Cl ve Se analizleri konusundaki desteğinden dolayı USGS'den Dr. Ron H. Affolter'e, örnekleme konusundaki yardımları nedeniyle TEAŞ Çevre Dairesi Başkanlığı ile Seyitömer termik santral yetkililerine, SEM-EDX analizleri konusundaki desteğinden dolayı Prof.Dr. Erkan Aydar'a, Araş.Gör. Orkun Ersoy ve Araş.Gör. İnan Ulusoy'a, XRD çekimleri konusundaki desteklerinden dolayı Prof.Dr. Abidin Temel'e, tane boyu analizi konusundaki katkılarından dolayı H.Ü. Maden Müh. Bölümü yetkililerine, Prof. Dr. Muammer Öner'e, Doç.Dr. Hakan Benzer'e ve Araş.Gör. Ömürden Genç'e, tez çalışması sırasındaki desteği nedeniyle Jeo. Yük. Müh. Yılmaz Bulut'a teşekkür eder.

Yazar, her zaman olduğu gibi, tez çalışması süresince de maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ailesine sonsuz teşekkür eder.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                                                        | <u>Sayfa</u> |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| ÖZ .....                                                                               | i            |
| ABSTRACT .....                                                                         | ii           |
| TEŞEKKÜR .....                                                                         | ii           |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....                                                               | iv           |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                                                   | vi           |
| ÇİZELGELER DİZİNİ.....                                                                 | vii          |
| EKLER DİZİNİ .....                                                                     | ix           |
| 1. GİRİŞ.....                                                                          | 1            |
| 1.1. Çalışmanın Amacı.....                                                             | 12           |
| 1.2. İnceleme Alanının Tanıtımı.....                                                   | 12           |
| 1.3. Önceki Çalışmalar.....                                                            | 14           |
| 2. KÖMÜR HAVZASININ JEOLojİSİ.....                                                     | 30           |
| 2.1. Giriş.....                                                                        | 30           |
| 2.2. Stratigrafi.....                                                                  | 31           |
| 2.2.1. Temel Kayaçlar .....                                                            | 31           |
| 2.2.2. Eğriöz Formasyonu .....                                                         | 31           |
| 2.2.3. Kömür içeren Seyitömer Formasyonu .....                                         | 34           |
| 2.2.4. Kepez Formasyonu .....                                                          | 36           |
| 2.2.5. Kuvaterner oluşukları.....                                                      | 37           |
| 2.3. Tektonik.....                                                                     | 37           |
| 3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ .....                                                            | 39           |
| 3.1. Örnekleme Çalışmaları.....                                                        | 39           |
| 3.2. Laboratuvar Çalışmaları.....                                                      | 39           |
| 4. KABA KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI İLE TANE BOYU ANALİZİ .....                          | 46           |
| 4.1. Kaba Kimyasal Analizler.....                                                      | 46           |
| 4.2. Uçucu ve Taban Küllerinin Tane Boyu Analizi.....                                  | 52           |
| 5. TERMİK SANRTALDA YANAN KÖMÜRLERİN, UÇUCU KÜL VE TABAN KÜLLERİNİN MİNERALojİSİ ..... | 55           |
| 5.1. Giriş.....                                                                        | 55           |
| 5.2. Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....                                        | 59           |
| 5.2.1. Termik santralda yanan kömür örneklerinin mineralojisi.....                     | 59           |

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.2. Uçucu ve taban küllerinin mineralojisi .....                                          | 66  |
| 6. TERMİK SANTRALDA YANAN KÖMÜRLERİN, UÇUCU KÜL VE TABAN KÜLLERİNİN PETROGRAFİSİ.....        | 71  |
| 6.1. Giriş.....                                                                              | 71  |
| 6.2. Kömürlerde Optik Mikroskop Çalışmaları.....                                             | 74  |
| 6.3. Uçucu ve Taban Küllerinde Optik Mikroskop Çalışmaları.....                              | 76  |
| 6.4. Hüminit Yansıtımalarının Ölçümü ve Kömürleşme Derecesinin Tayini.....                   | 79  |
| 7. TERMİK SANTRALDA YANAN KÖMÜRLERİN, UÇUCU KÜL VE TABAN KÜLLERİNİN ELEMENT ANALİZLERİ ..... | 81  |
| 7.1. Giriş.....                                                                              | 81  |
| 7.2. Termik Santralda Yanan Kömürlerin Element Konsantrasyonları.....                        | 82  |
| 7.3. Termik Santral Uçucu ve Taban Küllerinin Element Konsantrasyonları.....                 | 89  |
| 7.4. Kütle-Denge Hesaplamaları.....                                                          | 92  |
| 8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....                                                           | 96  |
| 8.1. Genel Sonuçlar.....                                                                     | 96  |
| 8.2. Öneriler.....                                                                           | 98  |
| KAYNAKLAR.....                                                                               | 100 |
| EKLER .....                                                                                  | 104 |



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1. Dünya kömür kullanım alanları.....                                                                                                    | 2  |
| Şekil 1.2. Çalışma bölgesinin lokasyon haritası .....                                                                                            | 3  |
| Şekil 1.3. Seyitömer termik santralının uzaktan görünümü.....                                                                                    | 4  |
| Şekil 1.4. Pulverize sistemle kömür yakan termik santralin şematik görünümü (Karr, 1979).....                                                    | 6  |
| Şekil 1.5. Seyitömer termik santralı kül depolama alanının görünümü.....                                                                         | 11 |
| Şekil 2.1. Seyitömer linyit havzasının genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Çelik and Karayığit, 2004; Şengüler ve Sonel, 1999).....            | 32 |
| Şekil 2.2. Seyitömer linyit havzasının basitleştirilmiş jeoloji haritası (Çelik and Karayığit, 2004).....                                        | 33 |
| Şekil 2.3. Seyitömer kömür havzasında işletilen alt damarın uzaktan görünümü..                                                                   | 35 |
| Şekil 3.1. Tez kapsamında yapılan çalışmaların iş akış şeması .....                                                                              | 40 |
| Şekil 3.2. Seyitömer termik santralında kömür örneklerinin alım yeri .....                                                                       | 41 |
| Şekil 3.3. Seyitömer termik santralında uçucu kül örnek alma noktası.....                                                                        | 42 |
| Şekil 3.4. Seyitömer termik santralında taban külü alınan ızgaranın görünümü...                                                                  | 42 |
| Şekil 4.1. Toplam kükürt analiz sonuçlarının laboratuvarlara göre karşılaştırılması...                                                           | 48 |
| Şekil 4.2. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin havada kuru bazda kül içerikleri ile alt ısı değerlerinin karşılaştırılması.....        | 52 |
| Şekil 4.3. Seyitömer termik santralından alınan uçucu küllerin tane boyu dağılım grafiği.....                                                    | 53 |
| Şekil 4.4. Seyitömer termik santralından alınan taban küllerinin tane boyu dağılım grafiği.....                                                  | 54 |
| Şekil 5.1. Seyitömer termik santralında yanan 04-22 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                                 | 64 |
| Şekil 5.2. Seyitömer termik santralında yanan 04-04 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                                 | 65 |
| Şekil 5.3. Seyitömer termik santralından alınan 04-14 ve 04-06 nolu uçucu kül ve taban külü örneklerinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması..... | 70 |
| Şekil 7.1. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin Cr ve Ni içeriklerinin kül içerikleriyle karşılaştırılması.....                         | 86 |
| Şekil 7.2. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin Cr ve Ni konsantrasyonlarının karşılaştırılması.....                                    | 87 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                                                                                 |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 1.1. Seyitömer havzasına ait kömür damarının özellikleri ve rezerv durumu (Gökmen vd., 1993 ve Türkiye Linyit Envanteri (1986'dan).....                                                 | 16    |
| Çizelge 1.2. Seyitömer havzasındaki bölgelerden alınan birer adet kömür örneklerinde havada kuru kömür bazında kaba kimyasal ve elementer analiz sonuçları (Tuncalı vd., 2002).....             | 18    |
| Çizelge 1.3. Seyitömer havzasındaki bölgelerden alınan birer adet kömür örneklerinin maseral grup bileşiminin hacimce yüzde değerleri ile hüminit yansıtması sonuçları (Tuncalı vd., 2002)..... | 19    |
| Çizelge 1.4. Seyitömer havzasındaki bölgelerden alınan birer adet kömür örneklerinin kuru kömür bazında esas element oksit ve eser element içerikleri (Tuncalı vd., 2002).....                  | 20    |
| Çizelge 1.5. Seyitömer havzasındaki alt damarlar ile üst damara ait kömür örneklerinin esas element oksit ve eser element konsantrasyonları (Çelik and Karayığit, 2004).....                    | 22    |
| Çizelge 1.6. Seyitömer termik santralından alınmış uçucu kül örneklerinin esas element oksit bileşimleri (Tokyay ve Erdoğan, 1998).....                                                         | 28    |
| Çizelge 1.7. Seyitömer termik santralından alınmış uçucu kül örneklerinin esas element oksit bileşimleri (Türker vd., 2003).....                                                                | 29    |
| Çizelge 4.1. Kömür, uçucu kül ve taban külleri örneklerinin farklı laboratuvarlara ve farklı cihazlara göre saptanan % toplam kükürt değerleri.....                                             | 47    |
| Çizelge 4.2. Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu kül, taban külü örneklerinin havada kuru bazda kaba kimyasal (proximate) analiz sonuçları.....                                   | 49    |
| Çizelge 5.1. Kömürlerde gözlenen mineraller ve izlenme sıklıkları (Groen and Craig'den, 1993).....                                                                                              | 56    |
| Çizelge 5.2. Kömürlerin yanması sonrasında oluşan major inorganik dönüşümler (Mattigod et al., 1990'dan).....                                                                                   | 59    |
| Çizelge 5.3. Seyitömer termik santralından alınan kömürlerin, uçucu küllerin ve taban küllerinin XRD tüm kayaç ve XRD kil fraksiyonunda tanımlanan mineraller... ..                             | 60-61 |
| Çizelge 5.4. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerden seçilen örneklerde SEM- EDX yardımıyla saptanan mineraller.....                                                                     | 62    |
| Çizelge 5.5. Seyitömer termik santralından alınan uçucu küllerden seçilen örneklerde SEM- EDX yardımıyla saptanan mineral ve fazlar.....                                                        | 67    |
| Çizelge 5.6. Seyitömer termik santralından alınan taban küllerinden seçilen örneklerde SEM- EDX yardımıyla saptanan mineral ve fazlar.....                                                      | 68    |
| Çizelge 6.1. Linyit ve alt bitümlü kömürlerde maseral grupları, maseral alt grupları, maseraller ve maseral tipleri (Stach et al., 1982).....                                                   | 72    |

## ÇİZELGELER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

|                                                                                                                                                                      |       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 6.2. İncelenen kömürlerde tanımlanan maseral ve minerallerin modal analiz sonuçları.....                                                                     | 73    |
| Çizelge 6.3. İncelenen kömürlerin maseral ve mineral analiz sonuçlarının hacimce yüzde değerleri.....                                                                | 75    |
| Çizelge 6.4. İncelenen kömürlerin maseral grupları ve mineral içeriği ile mineral-maddesiz (mmf) bazda maseral gruplarının hesaplanan hacimce yüzde değerleri.....   | 76    |
| Çizelge 6.5. Piroliz sırasında elde edilen yanmamış karbonların (char) sınıflaması (Unsworth et al., 1991).....                                                      | 77    |
| Çizelge 6.6. Seyitömer termik santralına ait kömürlerde ölçülen rastgele hüminit yansıtımalarının herbir örnekteki ölçüm sayısı, ortalaması ve standart sapması..... | 80    |
| Çizelge 7.1. Kömürlerde rastlanılan, çevre ve sağlık açısından duyarlı 25 element ve kömürde bulunuş şekilleri (Finkelman and Gross, 1999).....                      | 82    |
| Çizelge 7.2. Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu kül ve taban küllerinin bazı esas ve eser element sınır değerleri ve ortalama değerleri.....          | 83-84 |
| Çizelge 7.3. Seyitömer, Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santrallarında yanan kömürlerin ortalama element içerikleri.....                                   | 88    |
| Çizelge 7.4. Seyitömer, Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santralları uçucu küllerinin ortalama element içerikleri.....                                      | 90    |
| Çizelge 7.5. Seyitömer, Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santralları taban küllerinin ortalama element içerikleri.....                                      | 91    |
| Çizelge 7.6. Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu ve taban küllerinin kütle denge hesaplamaları.....                                                    | 95    |

## EKLER DİZİNİ

### Sayfa

|                                                                                                                                          |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Ek Çizelge 1. Seyitömer termik santralından alınan kömür örneklerinin bazı esas element ve eser element bileşimleri.....                 | 104     |
| Ek Çizelge 2. Seyitömer termik santralından alınan uçucu kül örneklerinin bazı esas element ve eser element bileşimleri.....             | 105     |
| Ek Çizelge 3. Seyitömer termik santralından alınan taban külü örneklerinin bazı esas element ve eser element bileşimleri.....            | 106     |
| Ek Şekil 1. Seyitömer termik santralında yanan 04-04 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                              | 107     |
| Ek Şekil 2. Seyitömer termik santralında yanan 04-10 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                              | 108     |
| Ek Şekil 3. Seyitömer termik santralında yanan 04-16 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                              | 109     |
| Ek Şekil 4. Seyitömer termik santralında yanan 04-22 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı .....                             | 110     |
| Ek Şekil 5. Seyitömer termik santralında yanan 04-01, 04-07, 04-13 ve 04-19 nolu kömür örneklerinin X-ışınları toz difraktogramları..... | 111     |
| Ek Şekil 6. Seyitömer termik santralında yanan 04-01 ve 04-04 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları.....    | 112     |
| Ek Şekil 7. Seyitömer termik santralında yanan 04-07 ve 04-10 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları.....    | 113     |
| Ek Şekil 8. Seyitömer termik santralında yanan 04-13 ve 04-16 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları.....    | 114     |
| Ek Şekil 9. Seyitömer termik santralında yanan 04-19 ve 04-22 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları.....    | 115     |
| Ek Şekil 10. Seyitömer termik santralında yanan 04-16 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                       | 116-119 |
| Ek Şekil 11. Seyitömer termik santralında yanan 04-01 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                       | 120     |
| Ek Şekil 12. Seyitömer termik santralında yanan 04-07 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                       | 121     |
| Ek Şekil 13. Seyitömer termik santralında yanan 04-22 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                       | 122-123 |
| Ek Şekil 14. Seyitömer termik santralından alınan 04-05 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                       | 124     |
| Ek Şekil 15. Seyitömer termik santralından alınan 04-11 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                       | 125     |
| Ek Şekil 16. Seyitömer termik santralından alınan 04-17 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                       | 126     |

## EKLER DİZİNİ (devam ediyor)

### Sayfa

|                                                                                                                                                  |         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Ek Şekil 17. Seyitömer termik santralından alınan 04-23 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                               | 127     |
| Ek Şekil 18. Seyitömer termik santralından alınan 04-02, 04-08, 04-14 ve 04-20 nolu uçucu kül örneklerinin X-ışınları toz difraktogramları.....  | 128     |
| Ek Şekil 19. Seyitömer termik santralından alınan 04-06 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                              | 129     |
| Ek Şekil 20. Seyitömer termik santralından alınan 04-12 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                              | 130     |
| Ek Şekil 21. Seyitömer termik santralından alınan 04-18 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                              | 131     |
| Ek Şekil 22. Seyitömer termik santralından alınan 04-24 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.....                              | 132     |
| Ek Şekil 23. Seyitömer termik santralından alınan 04-03, 04-09, 04-15 ve 04-21 nolu taban külü örneklerinin X-ışınları toz difraktogramları..... | 133     |
| Ek Şekil 24. Seyitömer termik santralından alınan 04-17 nolu uçucu kül örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                         | 134-135 |
| Ek Şekil 25. Seyitömer termik santralından alınan 04-05 nolu uçucu kül örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                         | 136     |
| Ek Şekil 26. Seyitömer termik santralından alınan 04-14 nolu uçucu kül örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                         | 137     |
| Ek Şekil 27. Seyitömer termik santralından alınan 04-06 nolu taban külü örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                        | 138-139 |
| Ek Şekil 28. Seyitömer termik santralından alınan 04-09 nolu taban külü örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.....                        | 140     |
| Ek Şekil 29. Seyitömer termik santralında yanan 04-01 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları.....                     | 141     |
| Ek Şekil 30. Seyitömer termik santralında yanan 04-07 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışması.....                       | 142     |
| Ek Şekil 31. Seyitömer termik santralında yanan 04-07, 04-13 ve 04-22 nolu kömür örneklerinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları.....  | 143     |
| Ek Şekil 32. Seyitömer termik santralında yanan 04-13 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları.....                     | 144     |
| Ek Şekil 33. Seyitömer termik santralında yanan 04-22 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışması.....                       | 145     |
| Ek Şekil 34. Seyitömer termik santralından alınan 04-14 nolu uçucu kül örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları.....               | 146     |



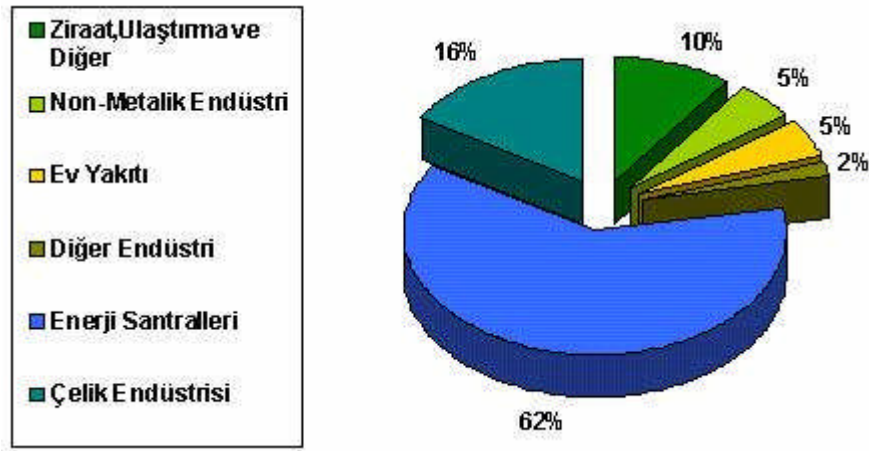
|                                                                                                                                                |         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| Ek Şekil 35. Seyitömer termik santralından alınan 04-05 ve 04-14 nolu uçucu kül örneklerinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları..... | 147     |
| Ek Şekil 36. Seyitömer termik santralından alınan 04-09 nolu taban külü örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları.....            | 148-149 |

## 1. GİRİŞ

Enerji konusu, ülkelerin gündeminde en üst sırada yer almakta ve sürdürülebilir enerji, sürdürülebilir kalkınmanın önemli bir unsuru olarak belirlenmektedir. Sürdürülebilir enerji yaklaşımı, gereksinim duyulan enerjinin en az finansmanla, en az çevresel ve sosyal maliyetle ve sürekli olarak teminine olanak sağlayan politika, teknoloji ve uygulamaları kapsamaktadır. Tüm enerji kaynakları arasında kömür; “sürdürülebilir enerji” ve ona bağlı olarak “sürdürülebilir kalkınma” ve enerji güvenliğini sağlayan en önemli kaynaktır. Bunun nedenleri; kömür rezervlerinin ömrünün şu anki üretim seviyeleri ile diğer fosil yakıtların 4 katı oluşu; coğrafi olarak 50’den fazla ülkede üretilmesiyle en geniş yayılım gösteren bir kaynak olması; taşınmasının, depolanmasının ve kullanımının kolaylığı ve güvenilirliği; düşük maliyeti olarak sıralanabilir (DEK-TMK, 2004). 1995-2020 döneminde dünyadaki enerji talebinin %65 civarında (yıllık %2,5) artacağı tahmin edilmektedir. Bu ek enerji talebinin %95’lik kısmını fosil yakıtların karşılayacağı beklenmektedir. Avrupa Birliği’nin 2020 yılı enerji talep projeksiyonunda; enerji kaynakları paylarındaki en büyük artış kömürde görülmektedir (<http://ekutup.dpt.gov.tr>). Bu nedenle ülkemizde ve dünyada artan enerji talebi ve sürdürülebilir enerji mücadelesi, tüm enerji sektörlerinde kömür ve diğer fosil yakıtları içerecek şekilde teknolojik değişime ve yeniliklere ivme kazandırmayı gerekli kılmaktadır.

Kömür, termik santralarda elektrik enerjisi üretiminde, sanayide, ulaştırmada, demir-çelik ve çimento imalatında, endüstriyel proseslerde buhar üretmek ve konutlarda ısınma amacı ile kullanılmaktadır. Dünyada kömürün kullanım alanları Şekil 1.1’de sunulmuştur ([www.maden.org.tr](http://www.maden.org.tr)). Dünyada üretilen kömürün yaklaşık %60’ı elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır. Ülkemizdeki kömür üretiminin elektrik üretimindeki payı ise %30’dur (<http://ekutup.dpt.gov.tr>). Ülkemizde taşkömürü, linyit ve asfaltit üretilmekte ve tüketilmektedir. Bu kaynaklardan taşkömürü, toplam 1,3 milyar ton, linyit ise 8,3 milyar ton rezerve sahiptir. Taşkömürü üretimi, bir KİT (Kamu İktisadi Devlet Teşekkülü) olan Türkiye Taşkömürü Kurumu Genel Müdürlüğü (TTK) , linyit üretiminin bir bölümü ise, yine bir KİT kuruluşu olan Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) tarafından gerçekleştirilmektedir. Taşkömürü üretiminde bazı teknik ve ekonomik zorluklar

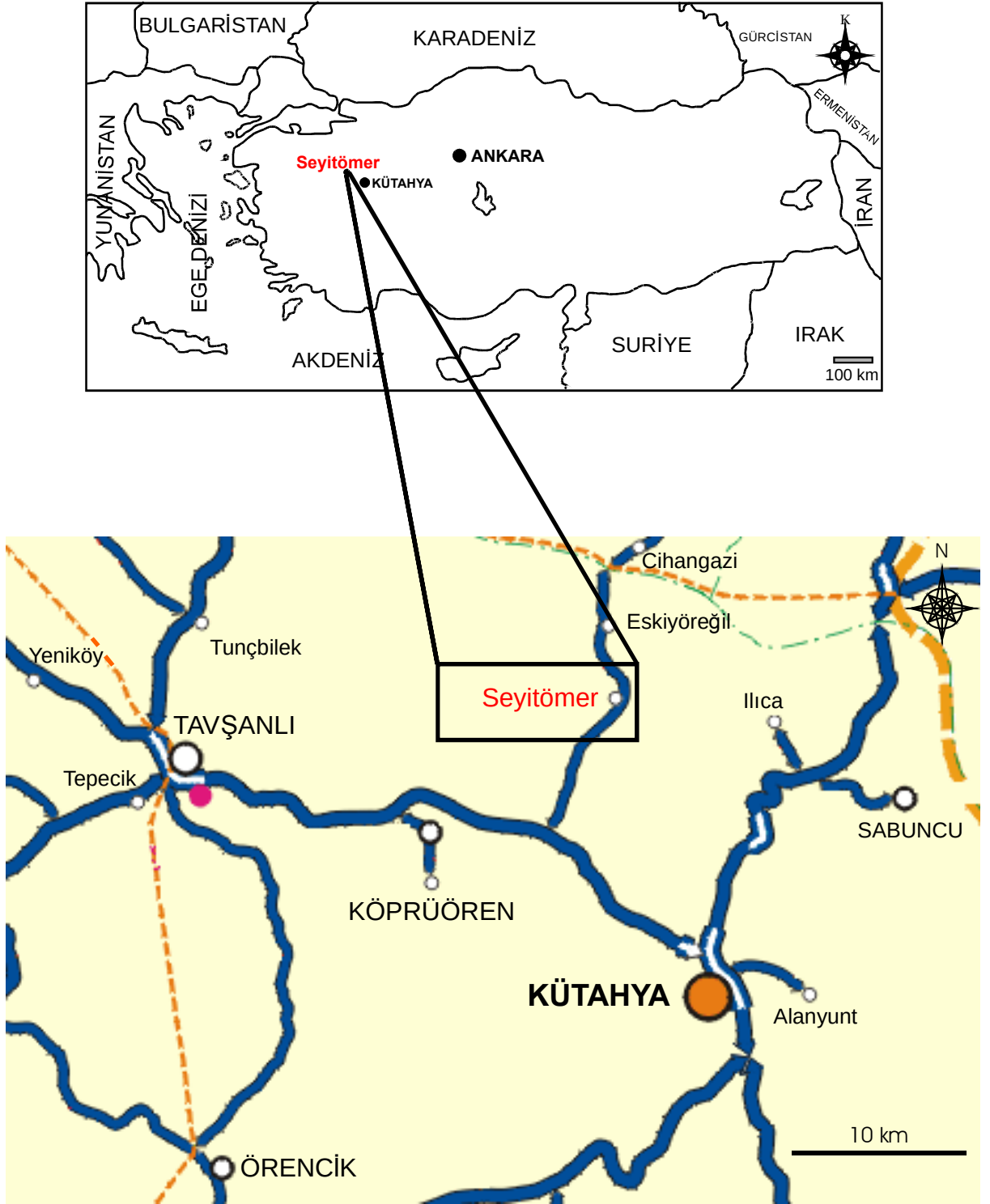
nedeniyle, 1980'li yılların ortasından itibaren düşüşler gözlenmekle birlikte, 2003 yılında gerçekleştirilen toplam üretim 2 milyon tondur. Ülkemizdeki linyit üretimi ise, 1990 yılında 44,4 milyon ton iken, 1998-1999 yıllarında 65 milyon tona ulaşmış, ancak bu yıllardan sonra alım garantili doğalgaza dayalı Yap-İşlet Santrallerinin elektrik üretiminde ağırlık kazanması sonucu linyite dayalı yakıt taleplerinde düşüşler yaşanmış ve buna bağlı olarak linyit üretimlerinde de düşüşler olmuştur. Ülkemizde kömürden sağlanan elektrik üretim kapasitesi 8445 MW olup, bu gücün %96'sı linyitten, %4'ü ise taşkömüründen elde edilmektedir (DEK-TMK, 2004).



Şekil.1.1. Dünya kömür kullanım alanları

Tez kapsamında değerlendirilen Seyitömer havzasının, TKİ 2003 yılı faaliyet raporuna göre toplam 172 milyon ton linyit rezervi bulunmaktadır. Havzadan yılda yaklaşık 6,5 milyon ton kömür üretilmekte olup, üretilen kömür 4x150 MW gücündeki Seyitömer termik santralına (Şekil 1.2 ve 1.3) yakıt temin etmekte ve sanayi ile ısınma sektörünün kömür talebini karşılamaktadır ([www.tki.gov.tr](http://www.tki.gov.tr)).

Ülkemizde kurulu termik santrallerin büyük bir çoğunluğunda, yakıt olarak linyit kullanılmaktadır. Toplam elektrik üretiminde linyitin payı % 45, linyit kullanımında termik santrallerin payı % 60'dır. Bir başka deyişle linyitlerimizin büyük bir kısmı termik santrallarda tüketilmektedir. Mevcut santrallerimizde ortalama 2000 kcal/kg düşük ısı değeri kömürler kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Çalışma bölgesinin lokasyon haritası.

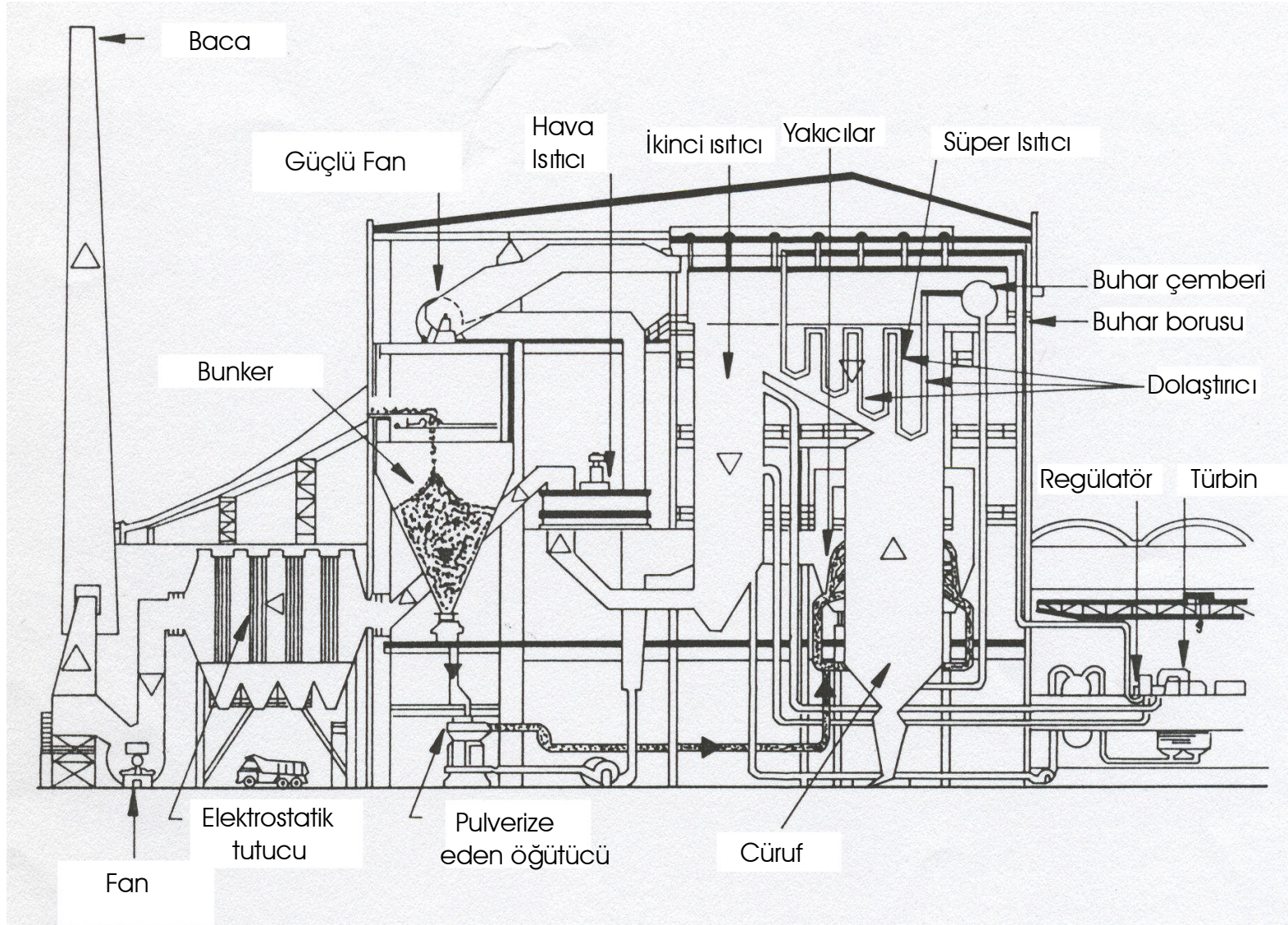


Şekil.1.3. Seyitömer termik santralının uzaktan görünümü.

Kömürle çalışan termik santrallarda temel prensip, kömürün yakılarak potansiyel enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Bu dönüşüm, büyük miktardaki kömürün kazan adı verilen yanma odalarında yakılması ile elde edilen ısıyla bir dizi arıtma işlemleri ile saflaştırılan suyun buharlaştırılması ve bu buharın türbin-jenaratör ikilisinde elektrik enerjisi üretiminde kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Şekil 1.4'de kömürle çalışan termik santralların genel çalışma şeması verilmiştir. Kömür yakıtlı termik santralların Türkiye'de ağırlıklı bir elektrik enerjisi üretim biçimi olarak seçilmesinin başlıca nedeni, kömürün fuel-oil veya doğalgaz gibi ülkemizde pahalı ya da kıt olan yakıtlara göre daha ucuz olarak kabul edilmesidir. Ancak, kömür kullanan termik santralların bacalarından atmosfere atılan başta  $SO_x$ ,  $NO_x$  ve  $CO_2$  gazları, farklı tozlar ve ayrıca üretmiş oldukları çok büyük miktarlara ulaşan küllerle, çevreyi yoğun olarak kirlettiği bilinmektedir. Termik santralların baca gazı etkilerini azaltabilmek ve bu şekilde kirliliği önlemek amacıyla santrallarda baca gazı arıtım tesisleri kurulmaktadır. Ancak, termik santrallarda düşük ısı değerli kömürlerin yakılması sonucu miktarı oldukça yüksek değerlere ulaşan katı atıklar (uçucu kül ve taban külü) oluşmaktadır ([www.cedgm.gov.tr](http://www.cedgm.gov.tr)).

Termik santrallarda yanma sırasında uçucu kül ve taban külü (cüruf) olmak üzere iki tip kül oluşmaktadır. Uçucu kül baca içine giren (0,5-150  $\mu m$ ) boyutlarındaki partikülleri içerirken; taban külü yanma kazanının altında biriken daha büyük (500-7000  $\mu m$ ) boyutlardaki kalıntılardan ibarettir. Uçucu külün büyük bir kısmı (%99,8) elektrostatik tutucular tarafından yakalanmakta ve çok az bir kısmı toplayıcıları geçerek atmosfere deşarj olmaktadır. Kazan altında biriken ve çok sıcak olan taban külleri ise soğutularak söndürülmektedir. Söndürme işlemi, gevşek tanelerin birbirinden ayrı olarak kazan altında biriktirilmesi (kuru metot) veya su ile söndürülmesi (ıslak metot) olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilebilir.





Şekil 1.4. Pulverize sistemle kömür yakan termik santralin şematik görünümü (Karr, 1979).



Termik santrallarda oluşan uçucu ve taban kül fraksiyonları arasında dağılım; kazan tipi (yakma metodu), yakılan kömürün tipi (kül füzyon sıcaklığı) ve kazan altı tipi (ıslak ya da kuru) gibi faktörlere bağlıdır. Kazan tipi kül dağılımında en belirleyici faktördür. Pulverize kömür yakan, Seyitömer termik santral gibi, santrallarda oluşan kül atıklarının büyük kısmı uçucu kül olarak oluşmaktadır. Dünyadaki termik santralların büyük çoğunluğunda pulverize kömür yakan kazanlar kullanılmaktadır. Ülkemizde de yeni yapılmakta olan akışkan yataklı Çan termik santral hariç olmak üzere, diğer termik santrallarımızdaki kazanlarda pulverize tip kömür yakılmaktadır. Bu nedenle oluşan uçucu kül miktarı oldukça fazladır. İkinci faktör olan kül füzyon sıcaklığı kömür içindeki minerallerin erime sıcaklığını belirler. Küller düşük füzyon sıcaklığına sahip olduklarında mineraller erime eğilimi gösterirler. Bu nedenle düşük füzyon sıcaklığına sahip kömürlerdeki atıklarda taban külü oranı daha yüksektir. Son faktör olan kazan altı tipi de kül miktarındaki dağılıma etki eder. Islak metoda göre dizayn edilmiş kazanlarda, Seyitömer termik santralında olduğu gibi, yanan kömürlerden oluşan taban külü miktarı kuru tip kazanlara nazaran daha çoktur (Onacak, 1999).

Termik santrallarda kullanılan kazan tipi ve diğer faktörlere bağlı olarak uçucu kül miktarı taban külü oranına göre çok daha fazladır. Ülkemizde uçucu-taban külü oranı hakkında devamlı bir ölçümün olmadığı, ancak termik santral dizaynlarının %80 uçucu kül ve %20 taban külü esas alınarak gerçekleştirildiği ve kazan deneme sürecinde yapılan ölçümlerde yaklaşık bu sonuçların elde edildiği belirtilmiştir (Onacak, 1999; Karayiğit, 2002; Bulut, 2004 ve Esenlik, 2005).

Ülkemizde 2002 yılında yaşanan ekonomik olumsuzluklar nedeniyle linyit üretimi 51 milyon ton olarak gerçekleşmiş ve bunun sonucu termik santrallardan yılda toplam 13 milyon ton kadar uçucu kül ortaya çıkmıştır (Türker vd., 2003).

Türkiye'de halen linyit kömürü yakan Afşin-Elbistan, Kangal, Çayırhan, Çan, Orhaneli, Seyitömer, Tunçbilek, Soma, Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy ile taşkömürü yakan Çatalağzı santral olmak üzere toplam 12 adet termik santral faaliyet göstermektedir. Bunların toplam kurulu gücü 8445 MW'tır. Bu santralların %96'sı linyit kömürü ve %4'ü taşkömürü kullanmaktadır. Ayrıca, 24 Şubat 2004

tarihinde 1210 MW kurulu güce sahip Yap-İşlet finansman modeli ve tamamı Alman sermayesi ile inşa edilmiş olan İskenderun İthal Taşkömürü Santrali (Sugözü Enerji Santrali) devreye alınmıştır (DEK-TMK, 2004).

Bilindiği gibi, kömür kullanımı nedeniyle, çok sayıda çevresel sorunlar ile insan sağlığına yönelik problemler meydana gelmektedir. Bu problemler, kömürün yanması sonucunda hareketli hale geçen potansiyel toksik organik ve inorganik bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Ancak, temsili örnekler üzerinden elde edilecek uygun kömür kalite parametrelerini içeren geniş bir bilgi birikimi sağlandığı takdirde bu problemlerin çoğunun en aza indirgenmesi hatta önlenmesi mümkün olabilecektir. Karbon, H, N, O, piritik kükürt, organik kükürt, esas ve eser element konsantrasyonları, elementlerin bulunuş şekilleri, mineraloji, petrografi, organik kimya, elementlerin çözünürlüğü ve temizlenebilirlik olarak sıralanabilen kömür kalite parametreleri, söz konusu problemlerin çözümü için son derece önemlidir. Amerika Jeolojik Araştırmalar Birimi (USGS) tarafından Amerika'daki kömürlerin kalitesi üzerine geniş bilgiler içeren bir "kömür kalite veri tabanı" oluşturulmuştur. Bu veri tabanı; çevreciler, regülatör acenteleri, endüstri ve diğer kuruluşlar tarafından 1990 Temiz Hava Kanunu'na uygun olacak şekilde gerekli düzeltmeleri yapmak için kullanılmış ve özellikle Amerika'daki elektrik üretimi yapan termik santrallerinden kaynaklanan tehlikeli hava kirleticilerin (HAPs) emisyonlarının tespit edilmesi ve bunların dağılımlarının değerlendirilmesi amacına hizmet etmiştir (Finkelman and Gross, 1999). Aynı şekilde, ülkemiz kömürlerine ait kömür kalite parametrelerinin belirlenmesi, santrallarda yanan kömür ve atıklarıyla ilgili bilgi birikiminin oluşturulması, kömür kullanımı ile ilgili olarak ortaya çıkan problemlerin indirgenmesine yardımcı olabilecek çevresel amaçlı çalışmalar açısından son derece önemlidir. Ancak, ülkemizdeki termik santrallarda kullanılan kömürlerin ve yanma sonucu oluşan katı atıkların mineralojisi ve element içerikleri ile ilgili çok az çalışma gerçekleştirilmiştir (Örneğin; Bayat, 1998; Tokyay ve Erdoğan, 1998; Onacak, 1999; Karayığit et al., 2000; Karayığit, 2002; Türker vd., 2003; Bulut, 2004 ve Esenlik, 2005).

Ülkemizde yanma sonucu oluşan katı atıklar, santral yakınlarına düzensiz olarak atılmakta ve bu nedenle önemli çevresel riskler taşımaktadır. Özellikle, santral

bacasından çıkarak havaya karışmaları mekanik ve elektrostatik yöntemlerle büyük ölçüde önlenen uçucu küller, zamanla santral çevresinde birikerek geniş alanlar kaplamaktadır. Uçucu külün bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı, hem kullanıcı, hem de külü üreten için ekonomik avantaj sağlamakta ve böylece atık bir madde ortadan kalktığı için çevre de korunmaktadır (Onacak, 1999). Uçucu külün kullanım alanlarının başında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanımı gelir (Türker vd., 2003). Uçucu küller çimento ile birlikte kullanıldığında bağlayıcı özellik göstermekte, beton yapımında kullanıldığı zaman, betonun yüzey temizliği ve işlenebilme özelliğini iyileştirmekte, aynı zamanda betonun su geçirgenliğini azaltarak dayanımını arttırmaktadır. Tuğla üretiminde kullanılan uçucu küller, tuğlaların kuruma ve pişme küçülmelerini azaltmakta ve içerdikleri karbon nedeniyle tuğlaların pişirilmesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ayrıca, uçucu küllerden özel işlemlerle hafif agregalar elde edilebilir. Bu agregalar, betonda kullanıldığında dayanımlı hafif betonlar ve blokların oluşmasına yardımcı olmaktadır. Yol yapımında ise dolgu malzemesi olarak kullanılabilen uçucu küller, gerekli toprak stabilizasyonunun sağlanması ile, temel veya alt temel malzemesi olarak da kullanılabilirler. Çeşitli malzemeler ile uçucu küllerin karıştırılması sonucu elde edilen dayanıklı ve hafif bir yapı malzemesi olan gaz beton, bazı işlemlerden geçirildikten sonra binalarda kullanıldığında ısı yalıtımının yanı sıra hafif olmaları nedeniyle taşımada da kolaylık sağlayabilmektedir. Bunlara ek olarak uçucu küller; içindeki bazı nadir elementlerin elde edilmesinde, taşkınların önlenmesinde, döküm kumu olarak, duvar harçlarında, metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı önleyici olarak, petrol kuyuları sondajlarında, seramik sanayinde kullanılabilmektedir (Yılmaz, 1992).

Ülkemizde uçucu küller, T.C. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün baraj uygulamaları, T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün bazı köprü ve yol inşaatlarında deneme amacı ile kullanılmıştır. Çimento üretimimizde ise uçucu kül kullanımı oldukça sınırlıdır. Katkılı çimentolarda kısıtlı miktarlarda kül kullanılmıştır. Ülkemizde uçucu kül kullanımı sınırlı kalmıştır. Kullanılan uçucu kül miktarları yılda elde edilenin %1'ine bile ulaşamamıştır. Ancak son yıllarda, özellikle hazır beton endüstrisinin gelişmesi ve Avrupa'dan uyarlanan yeni çimento ve beton

standartları, beton endüstrilerinde uçucu küle olan ilgiyi arttırmış bulunmaktadır (Türker vd., 2003).

Tez kapsamında incelenen Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin değerlendirilmesiyle ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır. Yılmaz (1992) tarafından Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin bağlayıcı olarak kil ilavesiyle inşaat sektöründe hafif duvar örgü malzemesi olarak potansiyel bir kullanım alanının olabileceği belirtilmiştir. Ergüt (1994) tarafından Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin, bağlayıcı olarak kullanılan bentonitlerden Ünye bentoniti ilavesi ile, hatta hiçbir bağlayıcı madde kullanılmaksızın yapı malzemesi olarak değerlendirilebileceği belirlenmiştir.

Tez kapsamında incelenen Seyitömer termik santrali 4 üniteden oluşmaktadır. İlk olarak 2x150 MW gücünde kurulması kararlaştırılmış termik santral, yıllar içerisinde 3x150 MW ve 1989 yılından itibaren de 4x150 MW gücüne çıkartılmıştır. Baca gazı arıtma tesisi bulunmayan termik santralda yanma sonucu oluşan katı atıklar santral yakınındaki kül sahasında depolanmaktadır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Seyitömer termik santralı kül depolama alanının görünümü.



### 1.1. Çalışmanın Amacı

Tez çalışması, Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin ve yanma sonucunda oluşan katı atıkların (uçucu kül ve taban külü) mineralojisinin, petrografisinin ve element içeriğinin modern analiz teknikleri kullanılarak araştırılmasını amaçlamaktadır. Literatürde, Seyitömer termik santralında yanan kömürde, dünyadaki çoğu kömüre göre zenginleştiği belirtilen ve tehlikeli hava kirletici elementler olarak bilinen Cr ve Ni'nin konsantrasyonları da bu çalışma kapsamında araştırılmış ve sonuçlar tez kapsamında değerlendirilmiştir. Krom, Ni, Hg, Pb gibi diğer potansiyel hava kirletici elementlerin kömürdeki ve katı atıklardaki konsantrasyonları, çevre kirliliği açısından çok büyük öneme sahiptir ve ülkemizde bu konudaki çalışmalar son derece sınırlıdır. Elde edilen element analiz sonuçları, Onacak (1999), Karayığit (2002), Vassilev et al. (2005) ve Esenlik (2005) tarafından daha önce incelenmiş Çayırhan (Beypazarı-Ankara), Kangal (Sivas), Soma (Manisa) ve Orhaneli (Bursa) gibi termik santrallara ait sonuçlarla da karşılaştırılmıştır.

### 1.2. İnceleme Alanının Tanıtımı

Çalışma alanı, Kütahya il merkezinin kuzey batısında olup, Kütahya-Tavşanlı karayolunun 17. km'sine, 11 km uzunluğunda asfalt bir yol ile bağlanmıştır. Piyasa kamyonlarının kömür nakliyatı, işçi ve personel ulaşımı ve malzeme nakli bu yol vasıtasıyla gerçekleştirilmektedir. Bölge ayrıca 27 km'lik bir demiryolu ile Eskişehir-Balıkesir demiryolu hattına bağlanmış olup, Kütahya TÜGSAŞ kömürü ve piyasa kömürünün küçük bir kısmı bu yol aracılığıyla sevk edilmektedir. Bunlardan başka bölgeyi Bozüyük'e bağlayan 40 kilometrelik bir yol mevcut olup, bu yol yaz-kış ulaşımına açık bulunmaktadır.

Genellikle çıplak ve sakın bir morfolojiye sahip olan Seyitömer havzasının yükseltisi +1000 m ile +1300 m arasında değişmektedir. Seyitömer'de genellikle karasal iklim hakimdir. Yılın en sıcak ayları temmuz-ağustos, en soğuk ayları ise aralık-ocak-şubat'tır. Sıcaklık -28°C ile +36°C arasında değişmektedir. Yılda ortalama yağış toplam 550 mm, günlük maksimum yağış ise 67 mm'dir.

Seyitömer Linyitleri İşletmesi (SLİ) 1960 yılından 1990 yılına kadar Garp Linyitleri İşletmesi Müessesesi'ne bağlı olarak, daha sonra sırasıyla; Müessese, Bölge Müdürlüğü ve İşletme Müdürlüğü olarak faaliyetlerini sürdürmüştür. En son, Nisan 2004'te yeniden müessese tüzel kişiliği verilen bu işletmenin merkezi Seyitömer'de olup Kütahya'ya 28 km mesafededir.

1960 yılında Kütahya ili Seyitömer Beldesi yakınlarında faaliyete başlayan kuruluş, yıllık 6.000.000 ton/yıl tüvenan kömür üretimi yapacak şekilde projelendirilmiştir. Daha sonraki yıllarda piyasaya ve azot sanayine verilemeyen düşük kalorili kömürlerin değerlendirilmesi ve ülkemizin artan enerji ihtiyacının karşılanması gayesi ile Seyitömer'de 2x150 MW gücünde termik santral kurulması kararlaştırılmıştır. Seyitömer termik santrali yıllar içerisinde 3x150 MW gücüne, 1989 yılından itibaren de 4x150 MW gücüne çıkartılmış; SLİ'nin üretim kapasitesi de 7.700.000 ton/yıl tüvenan kömür üretimi yapacak şekilde yeniden projelendirilmiştir. SLİ Müdürlüğü günümüz koşullarına uygun olarak yaklaşık 6.500.000 ton/yıl tüvenan kömür üretimi gerçekleştirmektedir.

Havzada kömür üretimi, açık işletme madenciliği yöntemi ile yapılmaktadır. Açık ocakların üretim yöntemi, dekapaj (toprak kazı-yükleme-taşıma-serme) ve kömür üretimi (kömür kazı-yükleme-taşıma) olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmektedir. Açık ocaklarda dekapaj faaliyeti sonucu açığa çıkarılarak üretilen tüvenan kömür, kömür hazırlama tesislerinde işlemlere tabi tutularak kullanıma hazır hale getirilip sektörlere göre arz edilmektedir. Kuruluştaki, shovel ve dragline dekapajı olmak üzere iki tür dekapaj işlemi yapılmaktadır.

Üretilen tüvenan kömürlerin %92'si termik santrale, %8'i teshin (piyasa) ve sanayiye verilmektedir ([www.tki.gov.tr](http://www.tki.gov.tr)).

### 1.3. Önceki Çalışmalar

Maucher (1936)'a göre Seyitömer linyit havzası Neojen devrine ait olup, havza, silis-konglomeraları, marnlı kalker tabakaları, tüflü maddeler ve saf tüflerden oluşmaktadır.

Ziegler (1936), Seyitömer havzasında yapmış olduğu stratigrafik çalışmalar sonucunda, havzaya ait oluşukları; Tersiyer öncesi kayaçlar, Tersiyer kayaçları ve Kuvaterner-Konglomera (dördüncü dönem konglomeraları) şeklinde ayırmıştır. Tersiyer kayaçlarını kömür taşımaya elverişli sedimentler ve kömür formasyonunun tavan tabakaları olmak üzere iki bölümde incelemiştir. 20 m kalınlığında bir ana linyit tabakası ile 4-6 m kalınlığında bir üst kömür tabakasının varlığından söz eden yazar, ana kömür tabakası içinde dar bir çizgi halinde kendini gösteren ve o zamanki volkanik faaliyete işaret eden kılavuz tüflerden bahsetmektedir.

Pekmezçiler (1953) tarafından yapılan çalışma, daha önceden hazırlanmış olan MTA raporlarının derlenmesiyle oluşturulmuştur. Özellikle eski raporlara ait kuyu ve sondaj profilleri değerlendirildiğinde temiz kömürün varlığı ile beraber killi kömür seviyeleri ve pek çok ara kesmenin bulunduğu ifade edilmiştir. Saha dahilinde, 89.400.000 ton yerinde muhtemel kömür rezervi tahmin edilmiştir. Kömürlerin su ve kül miktarının yüksek olması nedeniyle uzak mesafelere naklinin ekonomik olmayacağı ve bir termik santral kurulması suretiyle kömürlerin yerinde değerlendirilmesinin gerekliliği ifade edilmiştir.

Lebküchner (1959) tarafından Seyitömer havzasında yürütülen stratigrafik çalışmalarda 4 adet kompleks ayırt edilmiştir. Bunlardan ilki "Eski Substratum" olarak adlandırılmıştır ve Neojen'den daha yaşlı olan bütün formasyonları kapsamaktadır. Neojen birimleri olarak adlandırılan ikinci kompleks, yaşlı Neojen ve genç Neojen olarak ayrılmıştır. Üçüncü kompleks, Kuvaterner birimleri, dördüncü kompleks ise volkanik kütleler olarak adlandırılmıştır. Sahada bütün Neojen boyunca volkanik faaliyetlerin devam ettiği ve genç Neojen'de şiddetlendiği belirtilmiştir. Bu değerlendirmenin nedeni olarak kılavuz tüfitler ve genç Neojen'e ait diğer tabakaların içerdiği çok miktarda tüffojen malzeme gösterilmiştir. Saha

tektonik açıdan da incelenmiş ve genel olarak çatlaklar gösteren bir fay tektoniğinin hakim olduğu belirtilmiştir. Fayların büyük bir kısmının KB-GD yönünde olduğu, ancak KD-GB yönünün de sık sık görüldüğü tespit edilmiştir. Graben fayları ile basamaklı faylara da pek çok yerde rastlandığı belirtilmiştir.

Baş (1986) tarafından Seyitömer havzasındaki Neojen yaşlı birimler; yaşlı Neojen birimleri, Beke ve Tunçbilek Formasyonları; genç Neojen birimleri, Saruhanlar, Çökköy ve Emet Formasyonları; Neojen birimleri üzerine uyumsuz olarak gelen Kuvaterner yaşlı birimler ise Kocayataktepe Formasyonu olarak adlandırılmıştır.

Yılmaz (1992) tarafından Seyitömer termik santralı uçucu küllerinin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi amacıyla yürütülen çalışmada, söz konusu uçucu küllerin bağlayıcı olarak kil ilavesiyle inşaat sektöründe hafif duvar örgü malzemesi olarak potansiyel bir kullanım alanının olabileceği belirtilmiştir.

Gökmen (1993) tarafından hazırlanan Türkiye Linyit Envanteri, MTA arşivindeki raporların bir derlemesi niteliğindedir. Çalışmada ülkemizdeki linyitlerin rezerv durumları, damar kalınlıkları ve yayılım alanları ile kömürlerin kaba kimyasal analizlerine ait verilere yer verilmiştir. Seyitömer havzasıyla ilgili olanlar 1986 yılında MTA tarafından yayınlanan Türkiye Linyit Envanterindeki verilerle birleştirilerek Çizelge 1.1'de sunulmuştur.

Beder (1996) tarafından Seyitömer kömür havzasının jeolojisi incelenmiş ve kömür horizonlarıyla ilgili rezerv hesabı yapılmıştır. Buna göre, çalışma alanı 264.423.161 ton linyit rezervine sahip olup, yapılması gereken dekapaj miktarı 641.754.118 m<sup>3</sup>tür. Seyitömer kömürlerinin ortalama ısı değeri ise 1.992 kcal/kg'dır.

Yanık (1997) tarafından Seyitömer kömür havzası killilerinin jeolojisi, mineralojisi ve seramik endüstrisinde kullanım olanakları araştırılmıştır. Gerçekleştirilen XRD ve SEM analizlerine göre, belirlenen başlıca kil fraksiyonu mineralleri illit ve klorittir. XRF yardımıyla yapılan kimyasal analizler sonucunda tespit edilen başlıca elementler Al, Si, K, Fe ve Mg' dur. İnceleme sahasındaki killerin %10-14

mertebesinde FeO içermesinden ve pişme örneklerinin koyu renkte olmasından dolayı seramik üretiminde kullanımının mümkün olmayacağı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 1.1. Seyitömer havzasına ait kömür damarının özellikleri ve rezerv durumu (Gökmen vd.,1993 ve Türkiye Linyit Envanteri 1986'dan ).

| <b>Kömür Damarının Özellikleri</b> | <b>Seyitömer (Açık)</b> |
|------------------------------------|-------------------------|
| Minimum kalınlık (m)               | 1,50                    |
| Maksimum kalınlık (m)              | 36,75                   |
| Ortalama kalınlık (m)              | 15                      |
| Minimum derinlik (m)               | Mostra                  |
| Maksimum derinlik (m)              | 150                     |
| <b>Kimyasal Özellikler</b>         |                         |
| Nem (%)                            | 32,98                   |
| Kül (%)                            | 31,18                   |
| Kükürt (%)                         | 1,21                    |
| Alt ısı değeri (kcal/kg)           | 1900                    |
| <b>Sahanın Rezervi (1000 ton)</b>  |                         |
| Görünür                            | 198.666                 |

Şengüler ve Sonel (1999) tarafından Seyitömer bitümlü marnlarının özellikleri araştırılmıştır. Buna göre, Seyitömer bitümlü marnları, genellikle gri, yeşilimsi gri, kahverengi-gri marn, kilaşı ve yer yer de kil oranı yüksek kireçtaşlarından oluşmaktadır. Kalınlığı 5-30 m arasında değişen bitümlü marnlar, yatay ve yataya yakın bir eğime sahiptir. Bitümlü marn istifinin alt seviyelerinde, 1-5 mm kalınlıkta laminalar mevcuttur. Bitümlü marnların ısı değeri, 0-2778 kcal/kg arasında değişmektedir; ancak derlenmiş örneklerin % 75'den fazlasının ısı değeri 750 kcal/kg'dan az olduğu için Seyitömer bitümlü marnları termik santralda katı yakıt olarak değerlendirme olanağı sınırlı gözükmektedir. Ayrıca, Seyitömer açık işletme sahasından alınan bitümlü marn ve linyit numunesinin akışkan yataklı sisteme sahip bir santralda yakma testleri gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre, %80



linyit ile %20 bitümlü marn karışımı yakıldığı taktirde duraylı bir yanma sağlanmıştır. Bitümlü marnlar karbonat içeriği nedeniyle emici bir özellik göstermekte; bu nedenle baca gazlarının desülfürizasyonuna yardımcı olmaktadır. Böyle bir uygulama Seyitömer termik santralında gerçekleştirildiğinde, kükürt emisyonlarından kaynaklanan çevresel etkiler en aza inecek, dekapaj malzemesi olarak atılan enerji hammaddemiz de değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılmış olacaktır. Buna bağlı olarak termik santralda kullanılan kömürden % 20 oranında tasarruf sağlanabilecektir.

Yavuz (1999) tarafından yürütülmüş palinolojik çalışmalara göre, kömür içeren Seyitömer Formasyonu için Erken-Orta Miyosen yaşı önerilmiştir. Kömür petrografisi analizleri ile hakim maseral tipi hüminit olarak tespit edilmiş, düşük yüzdelerde liptinit ve inertinit maserallerine rastlanmıştır. Palinolojik çalışmalar ile kömür petrografisi analizleri sonucunda, kömürlerin gölsel karakterde olduğu belirlenmiştir. Kömürler denizden uzak, göl ve nehir kenarı düzlük alanlarda, tatlı su-bataklık ortamında oluşmuştur. Kömürü oluşturan bitki topluluğu, nehir kenarı ve yamaca ait bitkiler ile yarı tropik orman taksonlarınca zengindir. Buna göre kömürler, yarı tropikal iklimsel koşullar altında gelişmiştir.

Tuncalı vd. (2002) tarafından ülkemizdeki Tersiyer yaşlı linyit havzalarından derlenen birer adet örnek üzerinde petrografik, mineralojik, kimyasal analizler ile palinolojik incelemeler ve teknolojik testler yapılmıştır. Tez sahasındaki kömürlerin kaba kimyasal ve elementer analiz sonuçları Çizelge 1.2'de, petrografik analizleri Çizelge 1.3'de ve esas element ve eser element analiz sonuçları Çizelge 1.4'de verilmiştir. Kömürlerin Cr ve Ni başta olmak üzere, As, B, Co, Cs, Cu, Mn, Sc, U ve V içerikleri, dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerlerinin üzerindedir.

Çizelge 1.2. Seyitömer havzasındaki bölgelerden alınan birer adet kömür örneklerinde havada kuru kömür bazında kaba kimyasal ve elementer analiz sonuçları (Tuncalı vd., 2002). as-rec: örneğin laboratuvara getirildiği durumda.

| Bölge      | Kaba Kimyasal Analiz |       |       |               |                |                 |                        | Elementer Analiz |      |      |       |      |
|------------|----------------------|-------|-------|---------------|----------------|-----------------|------------------------|------------------|------|------|-------|------|
|            | % Nem (as-rec)       | % Nem | % Kül | % Uçucu Madde | % Bağlı Karbon | % Toplam Kükürt | Üst Isıl Değer kcal/kg | %C               | %H   | %N   | %O    | %S   |
| Sırören    | 28,28                | 7,60  | 48,16 | 23,58         | 20,66          | 1,06            | 2714                   | 30,41            | 2,62 | 0,55 | 9,66  | 1,00 |
| Darıca     | 36,44                | 10,40 | 36,50 | 31,22         | 21,88          | 2,56            | 3156                   | 33,40            | 2,88 | 0,74 | 14,05 | 2,03 |
| Aslanlı    | 40,76                | 13,20 | 20,70 | 33,67         | 32,43          | 1,45            | 4286                   | 45,78            | 3,27 | 1,15 | 15,07 | 0,83 |
| Kızık      | 38,12                | 8,40  | 42,15 | 31,05         | 18,40          | 1,58            | 2879                   | 30,80            | 2,64 | 1,70 | 13,86 | 0,45 |
| Gülbektepe | 36,27                | 9,20  | 35,50 | 30,02         | 25,28          | 2,86            | 3341                   | 35,31            | 2,81 | 0,94 | 13,86 | 2,38 |
| Çobanköy   | 40,81                | 10,40 | 13,28 | 38,57         | 37,75          | 4,46            | 4895                   | 51,54            | 3,77 | 1,83 | 15,65 | 3,53 |
| Kepez      | 38,53                | 9,60  | 22,88 | 36,40         | 31,12          | 2,84            | 4281                   | 44,55            | 3,51 | 1,71 | 15,63 | 2,12 |
| İsaköy     | 38,58                | 10    | 19,8  | 37,51         | 32,69          | 3,23            | 4346                   | 45,53            | 3,6  | 1,69 | 16,79 | 2,59 |

Çizelge.1.1.3. Seyitömer havzasındaki bölgelerden alınan birer adet kömür örneklerinin maseral grup bileşiminin hacimce yüzde değerleri ile hüminit yansıtması sonuçları (Tuncalı vd., 2002).

| <b>Bölge/Analiz</b> | <b>Sırören</b> | <b>Darıca</b> | <b>Aslanlı</b> | <b>Kızık</b> | <b>Gülbektepe</b> | <b>Çobanköy</b> | <b>Kepez</b> | <b>İsaköy</b> |
|---------------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-------------------|-----------------|--------------|---------------|
| % Hüminit           | 67             | 61            | 76             | 76           | 64                | 76              | 59           | 78            |
| % Liptinit          | 5              | 5             | 7              | 6            | 5                 | 5               | 5            | 4             |
| % İnertinit         | 5              | 5             | 4              | 7            | 6                 | 5               | 4            | 4             |
| % Pirit             | 5              | 6             | 3              | 3            | 5                 | 4               | 4            | 5             |
| % Kil, silt, vb.    | 18             | 23            | 10             | 8            | 20                | 10              | 28           | 9             |
| % R <sub>max</sub>  | 0,39           | 0,37          | 0,41           | 0,43         | 0,44              | 0,43            | 0,38         | 0,43          |
| % R <sub>min</sub>  | 0,31           | 0,22          | 0,25           | 0,35         | 0,35              | 0,30            | 0,30         | 0,33          |
| % R <sub>ort</sub>  | 0,37           | 0,34          | 0,35           | 0,41         | 0,41              | 0,39            | 0,36         | 0,41          |

Çizelge1.4. Seyitömer havzasındaki bölgelerden alınan birer adet kömür örneklerinin kuru kömür bazında esas element ve eser element içerikleri (Tuncalı vd., 2002).

| Bölge/Analiz          |                                  | Sırören | Darıca | Aslanlı | Kızık | Gülbektepe | Çobanköy | Kepez | İsaköy |
|-----------------------|----------------------------------|---------|--------|---------|-------|------------|----------|-------|--------|
| Esas elementler (%)   | % Na <sub>2</sub> O              | 0,05    | 0,04   | 0,14    | 0,09  | 0,2        | 0,03     | 0,03  | 0,15   |
|                       | % MgO                            | 2,97    | 3,01   | 2,19    | 2,12  | 2,35       | 1,36     | 1,92  | 1,69   |
|                       | % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 9,23    | 5,87   | 3,22    | 6,81  | 5,67       | 1,29     | 3,24  | 2,88   |
|                       | % SiO <sub>2</sub>               | 28,72   | 18,58  | 10,68   | 24,21 | 19,71      | 3,93     | 10,23 | 8,43   |
|                       | % P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 0,05    | 0,04   | 0,02    | 0,05  | 0,04       | 0,01     | 0,03  | 0,02   |
|                       | % K <sub>2</sub> O               | 0,36    | 0,33   | 0,24    | 0,41  | 0,39       | 0,47     | 0,63  | 0,51   |
|                       | % CaO                            | 0,57    | 1,91   | 1,57    | 2,58  | 1,37       | 1,79     | 1,65  | 1,85   |
|                       | % TiO <sub>2</sub>               | 0,42    | 0,49   | 0,21    | 0,41  | 0,35       | 0,09     | 0,18  | 0,13   |
|                       | % MnO                            | 0,05    | 0,04   | 0,02    | 0,05  | 0,04       | 0,01     | 0,03  | 0,02   |
|                       | % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,05    | 6,03   | 2,58    | 5,48  | 5,63       | 2,7      | 3,77  | 3,43   |
| Eser Elementler (ppm) | As                               | 12,6    | 25     | 9,4     | 32    | 17,5       | 133,4    | 79    | 72,6   |
|                       | B                                | 408,4   | 164,7  | 316,8   | 100,5 | 457        | 837      | 331,8 | 697,3  |
|                       | Ba                               | 61,2    | 96     | 159     | 272   | 223        | 32,9     | 72,3  | 204,5  |
|                       | Be                               | 1,6     | 1,7    | 1,3     | 1     | 1,6        | 0,3      | 1,9   | 0,7    |
|                       | Cd                               | 0,3     | 0,3    | 0,1     | 0,1   | 0,2        | 0,05     | 0,2   | 0,1    |
|                       | Co                               | 55      | 41     | 19,8    | 40    | 33,3       | 5,2      | 27    | 7,3    |
|                       | Cr                               | 584,9   | 419    | 298     | 456   | 328        | 69       | 141,6 | 83     |
|                       | Cs                               | 33,4    | 2,5    | 1,4     | 2,9   | 2          | 3,4      | 5,8   | 5      |
|                       | Cu                               | 91      | 106,3  | 46      | 60    | 73,3       | 8,56     | 22,3  | 20,4   |
|                       | Ga                               | 10,4    | 7,7    | 4,4     | 8,2   | 6,9        | 1,9      | 6,2   | 3,9    |
|                       | Ge                               | 4       | 5,9    | 1,5     | 1,4   | 1,9        | 1,8      | 5     | 0,6    |
|                       | Hg                               | 0,24    | 0,2    | 0,1     | 0,22  | 0,21       | 0,1      | 0,15  | 0,1    |
|                       | Li                               | 52,6    | 18,7   | 6,7     | 8,8   | 12,9       | 4        | 15,5  | 13,2   |
|                       | Mn                               | 87,2    | 244,8  | 103     | 195   | 182        | 34,7     | 198   | 61,4   |
|                       | Mo                               | 3,2     | 13,5   | 4,3     | 5,4   | 5,6        | 4,1      | 7,5   | 7      |
|                       | Nb                               | 5       | 6,5    | 4,2     | 5,4   | 4,6        | 1,1      | 4,7   | 1,9    |
|                       | Ni                               | 1677    | 1233   | 502,7   | 1040  | 1251       | 176      | 354,7 | 147    |
|                       | Pb                               | 13,6    | 9,5    | 6       | 12,7  | 11,4       | 2,9      | 14,2  | 13,6   |
|                       | Rb                               | 27,4    | 20,5   | 14      | 25    | 21,5       | 10,8     | 26    | 21     |
|                       | Sb                               | 1       | 1,6    | 0,7     | 0,9   | 1          | 0,6      | 2,2   | 1,7    |
|                       | Sc                               | 24,3    | 11,4   | 8,6     | 13,5  | 12,7       | 2,8      | 6,7   | 4,7    |
|                       | Se                               | 1       | 3,5    | 0,9     | 2,3   | 1,4        | 0,5      | 1,9   | 0,9    |
|                       | Sn                               | 2,9     | 2,4    | 1,4     | 2,4   | 2,1        | 1,1      | 1,4   | 1,2    |
|                       | Sr                               | 49,2    | 59,4   | 125,9   | 59,6  | 85,4       | 181      | 75,8  | 246,7  |
|                       | Tl                               | 1,6     | 0,4    | 0,2     | 0,3   | 0,4        | 7,3      | 0,5   | 0,2    |
|                       | Th                               | 6,5     | 5,6    | 4,9     | 7,3   | 5          | 2,2      | 4,9   | 2,7    |
|                       | U                                | 11,2    | 17,4   | 3,4     | 4,6   | 5,1        | 1,6      | 26,3  | 6,7    |
|                       | V                                | 173     | 116    | 82,5    | 88,2  | 146        | 22,3     | 78    | 38,8   |
|                       | Y                                | 10      | 13,5   | 8,3     | 9,4   | 8,9        | 3        | 11    | 5,8    |
|                       | Zn                               | 70      | 68     | 54,7    | 67    | 71,6       | 20,9     | 59,5  | 34,1   |
|                       | Zr                               | 52,5    | 65,8   | 49      | 61    | 64,3       | 11,3     | 61    | 28,6   |

Çelik and Karayığit (2004) tarafından Seyitömer linyitlerinin kimyasal ve petrografik özellikleri araştırılmıştır. Alt ve üst damarlardan alınan örneklerin yüksek nem içeriğine (ort. %37,1 ve 34,5), laboratuvara getirildiği durumda düşük üst ısı değere (ort. 2730 ve 3255 kcal/kg), havada kuru bazda yüksek uçucu madde içeriğine (ort. % 35,2 ve 38,9) sahip olduğu tespit edilmiştir. Alt damara ait örneklerin havada kuru bazdaki kül içeriği (ort. %22,3) ve toplam kükürt içeriği (ort. %1,98) üst damara ait örneklerin kül içeriğinden (ort. %13,2) ve toplam kükürt içeriğinden (ort. %1,69) daha yüksektir. XRD yardımıyla kömürlerde kil mineralleri, kuvars, feldispat ve pirit, az miktarda siderit, dolomit, kalsit, opal-CT ve jips tanımlanmıştır. XRF yardımıyla kömür örneklerinin element analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 1.5'de sunulmuştur. Buna göre Seyitömer havzasındaki kömürlerde başta Cr ve Ni olmak üzere Bi, Co, Cu, Mo, Sc ve V dünyadaki çoğu kömüre göre zenginleşme göstermektedir. Daha önce bahsedildiği gibi, Tuncalı vd. (2002) tarafından da Seyitömer kömürlerindeki benzer elementlerin dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerleri aştığı belirtilmiştir. Yazarlara göre, Seyitömer havzasından alınan kömür örneklerindeki yüksek Cr konsantrasyonu, kromit cevheri içeren temel ofiyolitik kayalardan kaynaklanmaktadır. Seyitömer havzasından alınan kömür örneklerinin maksimum yansıtma değerinin ortalaması %0,29'dur. Buna göre kömürler “yumuşak kahverengi kömür” aşamasında kömürleşme derecesine sahiptir.

Çizelge 1.5. Seyitömer havzasındaki alt damarlar ile üst damara ait kömür örneklerinin esas element oksit ve eser element konsantrasyonları (Çelik and Karayığit, 2004)

| Analiz                           | DK-Alt Damar<br>(14 örnek) |          | S30-Alt Damar<br>(11 örnek) |          | S30-Üst Damar<br>(3 örnek) |          |
|----------------------------------|----------------------------|----------|-----------------------------|----------|----------------------------|----------|
|                                  | aralık                     | ortalama | aralık                      | ortalama | aralık                     | Ortalama |
| SiO <sub>2</sub> %               | 30,48-51,11                | 38,88    | 22,20-49,39                 | 35,19    | 12,41-34,19                | 25,27    |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | 9,97-17,81                 | 13,64    | 7,93-19,78                  | 14,23    | 5,07-10,49                 | 8,29     |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | 9,02-21,46                 | 14,42    | 6,80-44,33                  | 17,47    | 7,93-14,87                 | 10,24    |
| MnO %                            | 0,03-0,09                  | 0,06     | 0,04-0,10                   | 0,06     | 0,05-0,10                  | 0,08     |
| MgO %                            | 4,47-7,09                  | 5,83     | 3,04-10,35                  | 5,66     | 8,73-13,23                 | 11,89    |
| CaO %                            | 2,10-8,06                  | 5,54     | 3,14-12,21                  | 6,54     | 11,71-16,37                | 14,66    |
| Na <sub>2</sub> O %              | 0,17-0,94                  | 0,44     | <0,20-2,07                  |          | <0,20-0,43                 |          |
| K <sub>2</sub> O %               | 0,40-2,34                  | 0,91     | 0,40-1,72                   | 0,85     | 0,18-1,06                  | 0,67     |
| TiO <sub>2</sub> %               | 0,51-1,06                  | 0,80     | 0,47-0,76                   | 0,59     | 0,28-0,62                  | 0,46     |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %  | <0,05-0,09                 |          | <0,05-0,15                  |          | 0,12-0,22                  | 0,18     |
| As                               | <10-73                     |          | 45-323                      | 134      | 60-154                     | 97       |
| Ba                               | 419-1340                   | 733      | 617-2380                    | 1102     | 409-864                    | 648      |
| Bi                               | 11-22                      | 18       | 13-29                       | 21       | 16-25                      | 20       |
| Co                               | 28-133                     | 73       | 48-323                      | 156      | 38-106                     | 73       |
| Cr                               | 717-1766                   | 1067     | 737-1822                    | 1094     | 205-606                    | 415      |
| Cu                               | 120-311                    | 198      | 177-382                     | 280      | 55-193                     | 111      |
| Ga                               | <8-28                      |          | <8-30                       |          | 11-21                      | 11       |
| Hf                               | <6-7                       |          | <6-24                       |          | <6-8                       |          |
| Mo                               | <7-30                      |          | 14-154                      | 54       | 33-49                      | 41       |
| Nb                               | 10-42                      | 21       | 10-76                       | 31       | 22-25                      | 24       |
| Ni                               | 835-8462                   | 3179     | 1378-7917                   | 4617     | 1032-4398                  | 2346     |
| Pb                               | <20-36                     |          | 29-136                      | 60       | 22-57                      | 44       |
| Rb                               | <30-131                    |          | <30-111                     |          | <30-71                     | 38       |
| Sc                               | 15-55                      | 33       | 22-63                       | 39       | <15-32                     | 9        |
| Sr                               | 159-509                    | 348      | 232-737                     | 408      | 583-897                    | 716      |
| Th                               | <20-25                     |          | <20-46                      |          | <20-27                     |          |
| U                                | <9-34                      |          | <9-52                       |          | 10-20                      | 14       |
| V                                | 220-963                    | 464      | 398-1118                    | 673      | 169-358                    | 228      |
| Y                                | 18-58                      | 37       | 24-81                       | 46       | 13-26                      | 20       |
| Zn                               | 69-116                     | 94       | 48-231                      | 120      | 42-133                     | 70       |
| Zr                               | 82-290                     | 170      | 119-1346                    | 435      | 218-350                    | 284      |
| La                               | <40-41                     |          | <40-80                      |          | <40-56                     |          |
| Ce                               | <40-92                     |          | <40-105                     |          | 72-96                      | 88       |
| Pr                               | <15                        |          | <15                         |          | <15                        |          |
| Nd                               | <15-43                     |          | 18-41                       | 31       | 29-31                      | 30       |
| Sm                               | <6-10                      |          | <6-9                        |          | <6                         |          |



Yağmurlu et al. (2004) tarafından Batı Anadolu linyit havzalarının yaşı, tektonik oluşumları ve kalite dağılımları araştırılmıştır. Buna göre, Batı Anadolu linyit havzaları KB-GD, K-G ve KD-GB yönlü açılmaların etkisiyle oluşan, üç ana dağarası açılmalı (extensional) tektonik yapı ile karakterize edilmektedir. Bu açılmalı tektonik rejimler, D-B yönlü linyit içermeyen havzalar ile KD ve KB yönlü linyit içeren havzaların oluşmasına neden olmuştur. Genelde, kömür kalitesi açısından, KD yönlü havzalarda oluşan linyitler (Çan, Soma, Çıtak, Demirci, Uşak, Tunçbilek), KB yönlü havzalardaki linyitlere göre (Yatağan, Kale, Yalvaç, Ilgın, Seyitömer) daha yüksek kaliteye sahiptir. Yatağan, Soma, Tunçbilek, Seyitömer ve Çan havzaları, akarsu-göl ortamı linyitlerini içerirken, Beypazarı ve Yalvaç havzaları ise, göl ve baskın olarak akarsu ortamı linyitlerini içermektedir.

Ülkemizde termik santral katı atıklarıyla ilgili çalışmalar oldukça sınırlı olmasına karşın, yurtdışında konu ile ilgili pek çok çalışma yapılmış ve halen yapılmaktadır. Bu konu ile çalışmalardan bazıları, öncelikle yurtdışındakiler ve daha sonra da ülkemizdekiler olmak üzere aşağıda özetlenmiştir.

Konu ile ilgili yurtdışında yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Mattigod et al. (1990) tarafından fosil yakıtların yanması sonucu oluşan katı atıklarındaki esas elementlerin hareketliliğini kontrol eden termokimyasal faktörler incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, fosil yakıt katı atıklarının bozunması sonucu atıklardaki Al, Ca, Fe, S ve Si 'un sulu konsantrasyonlarından itibaren hızlı bir şekilde ikincil katı fazlar oluşmaktadır.

Finkelman (1994) tarafından kömürde bulunan potansiyel tehlikeli hava kirletici elementlerin yanma sonucunda hareketlilik kazanmalarının azaltılması amacıyla, bu elementlerin kömürdeki bulunuş şekilleri incelenmiştir. Buna göre tehlikeli hava kirletici elementlerden Sb ve Se, organik matrikste saçılmış halde bulunan sülfidlerle ilişkili olabilirken, As ve Hg iri taneli piritlerde, Cd sfaleritte, Pb galende, Mn karbonatlarda özellikle de sideritte bulunabilmektedir. Bu elementlerin kömür temizleme aşamasındaki davranışlarına ve kömürden uzaklaştırılabilme yüzdelere değinilmiştir.

Meij (1994) tarafından Hollanda termik santrallerine ait yanan kömür ve oluşan katı atıklardaki eser elementlerin konsantrasyonları ve dağılımları incelenmiştir. Yapılan kütle denge hesaplamaları sonucunda kömür içindeki elementler, yanma esnasındaki davranışları ve uçuculuk özelliğine göre üç sınıfa ayrılmıştır. Buna göre, uçucu olmayan elementler (Si, Al, Ca, K, Mg, Ti) birinci sınıf; uçucu ancak kül taneleri üzerinde yoğunlaşma özelliği gösteren elementler (As, Mo, Pb, Sb, Th, Ti, U, V, Zn, Cd, Cr, Cu) ikinci sınıf; büyük ölçüde bacadan uzaklaşan kuvvetli uçucu elementler ise (Hg, Se, B, Br, Cl, F, I) üçüncü sınıf olarak değerlendirilmiştir.

Vassilev and Vassileva (1996) tarafından kömürün yanması sonucunda oluşan katı atıkların kimyasal bileşimi ve faz mineralojisi incelenmiştir. Buna göre organik ve inorganik bileşenlerden oluşan yanma ürünlerinin inorganik kısmı çoğunlukla kristalen olmayan (amorf) bileşenler ile daha az miktarda esas ve eser mineral fazlarını içeren kristalen bileşenlerden ibarettir. Organik kısım ise, yanmamış kömür parçalarını içermektedir. Katı fazların orijini, birincil olarak; kömürde bulunan faz dönüşümü geçirmemiş mineraller ve fazlar (silikatlar, oksitler, volkanik cam ve kömür parçacıkları), ikincil olarak; yanma esnasında oluşan fazlar (manyetit, hematit, metakaolinit, mullit, anhidrit, kireç, periklaz, Ca-Mg silikatlar, cam, semikok ve kok) veya bunlardan farklı olarak; uçucu kül ve taban küllerinin taşınması ve depolanması esnasında oluşan mineraller ve fazlar (sülfatlar, karbonatlar ve oksihidroksitler) olarak belirtilmiştir.

Finkelman and Gross (1999) tarafından kömür kullanımı nedeniyle meydana gelen çevresel sorunlar ve insan sağlığına yönelik problemlerin en aza indirgenmesi için gerekli olan veriler araştırılmıştır. Buna göre, temsili örnekler üzerinden elde edilecek uygun kömür kalite parametreleri sorunların çözümünde yardımcı olacaktır. Bahsedilen kömür kalite parametreleri: C, H, N, O, piritik kükürt, organik kükürt, esas ve eser element konsantrasyonları, elementlerin bulunuş şekilleri, mineraloji, petrografi, organik kimya, elementlerin çözünürlüğü ve temizlenebilirlik olarak sıralanmıştır.

Spears and Zheng (1999) tarafından gerçekleştirilen çalışma, İngiltere kömürlerindeki elementlerin orijinini tespit etmek amacıyla yürütülmüştür. Buna göre, esas elementlerden Si ve Al çoğunlukla kuvars ve kaolinitten, Ca ve Mg karbonat minerallerinden, Fe çoğunlukla piritten, K illitten, Na, Cl ve Br kömür içindeki gözenek suyundan kaynaklanmaktadır. Ge ise organik kökenlidir. Araştırmacılar, yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde, nem içeriğini etkileyen makro gözeneklilikteki düşüşten dolayı, Cl ve Br konsantrasyonunda düşüşlerin gözlemlendiğine işaret etmektedir. Aynı şekilde yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde Ge konsantrasyonu da daha düşüktür. Si ve Al ile önemli pozitif korelasyon gösteren Rb, Cr, Th, Ce, Zr, Y, Ga, La, Ta, Nb ve V kil mineralleri ile ilişkili olabilirken, Al ile önemli pozitif korelasyon gösteren Sr ve Ba Al-fosfat minerallerinden, As, Mo, Sb, Tl ve Se ise Fe ile korelasyonundan dolayı piritten kaynaklanabilmektedir.

Spears (2000), kömürdeki kil minerallerinin yanma sonucunda meydana gelen külün oluşmasında esas rolü oynadığına değinmektedir. Kömürdeki kil içeriği, ısı değerin düşmesine yol açarken, kül taşıma ve depolama maliyetlerinde artışa neden olmaktadır. Yazar, uçucu küllerdeki camsı fazın ve senosfer yapının illit minerallerinden, mullitin kaolinitten kaynaklandığını, çevresel açıdan önem taşıyan Cr, V, Zn ve B'un ise kil minerallerinden kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca, illitin yanma sıcaklığını düşürdüğünü, kaolinit ve kuvarsın ise arttırdığını belirtmiştir.

Yan et al. (2001) tarafından 16 eser elementin (As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Tl, V, Zn) yanma sırasındaki uçuculuk özelliği incelenmiştir. Bu elementler uçucu gazlarda veya küllerde bulunma eğilimine göre üç gruba ayrılmıştır. Birinci grup, kömür tipi ve yakma koşulları farketmeksizin 600 K'nin altında neredeyse tamamı buhar faza geçen ve uçucu elementler olarak değerlendirilen Hg ve Tl'dan oluşmaktadır. İkinci grup, kömür tipi ve yakma koşulu değişmeksizin 600–1400 K arasında buharlaşan ve çoğunlukla uçucu külde zenginleşen As, Cd, Cu, Pb ve Zn elementlerini içermektedir. Üçüncü grup ise, 1400 K'nin altında hemen hemen hiç buharlaşmayan ve taban külü ve uçucu kül arasında paylaşılan Co, Cr, Mn ve V'dan oluşmaktadır. Ayrıca, kömür tipine ve

yakma koşullarına göre Sb, Sn, Se, Te elementlerinin 1. ve 2. grupta, Ni ise 2. ve 3. grupta yer alabileceği belirtilmiştir.

Goodarzi and Goodarzi (2004) tarafından Batı Kanada alt bitümlü kömürleri üzerine yürütülen çalışmada, kömürlerin civa içeriğini etkileyen faktörler incelenmiştir. Kömür damarındaki ara kesmelerin sıklığı, bozunma ve epijenetik mineralizasyon kömürlerin civa içeriğini etkileyen faktörler arasındadır. Ara kesmelerin çoğunun civa içeriğinin, aynı damardaki kömür seviyelerinden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Buna göre, kömürlerdeki civa miktarının azaltılabilmesi için uygun işletme yönteminin seçilmesi gerekmektedir.

Konu ile ilgili ülkemizde yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Bayat (1998) tarafından ülkemizin batı, orta ve doğu bölgelerinde yer alan linyitlere ve bitümlü kömürlere ait uçucu kül örneklerinin mineralojisi, morfolojisi, fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Buna göre, Soma, Seyitömer ve Çatalağzı termik santrallerine ait küller, düşük kalsiyumlu olup, tipik olarak kuvars, mullit, hematit ve spinel kristalen fazlarını içermektedir. Yatağan, Seyitömer ve Afşin-Elbistan uçucu küllerinde çoğunlukla kristalen fazlar gözlenmiştir. Bunun küllerin partikül yüzeylerinde oluşan sülfürik asitlerin metal oksitlerle reaksiyonunun sonucu olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, bütün örneklerdeki anhidritin varlığı, 400-500 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda, yanma boyunca veya yanmadan sonra meydana gelen jipslerin dehidratasyonuna bağlanmıştır.

Çancı (1998) tarafından Seyitömer termik santralı uçucu küllerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla, santrale ait uçucu kül, taban külü ve santral çevresindeki toprak örneklerinin esas element analizleriyle birlikte Pb, Zn, Cd, Cu ve Co analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, örneklerdeki esas ve eser element derişimleri, temel litolojisi, elementlerin farklı katı atıklardaki ve topraktaki davranışları gibi faktörlere bağlı olarak değişim göstermektedir. Ayrıca element derişimlerinin uçucu küllerin tane boyu ile de değiştiği saptanmıştır. Toprak örneklerinin element konsantrasyonları, farklı ülkeler tarafından tarım amaçlı olarak belirlenen üst limitlerle karşılaştırıldığında Cd, Cu ve Zn derişimleri bu limitlerin altında kalırken, Co ve Pb derişimleri ise bu değerleri aşmaktadır.

Tokyay ve Erdoğan (1998) tarafından Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği adına yürütülen çalışma, ülkemizdeki kömürle çalışan termik santrallerin atık ürünü olan uçucu küllerin çimento üretiminde ve çimentolu sistemlerde kullanılabilirliklerinin belirlenmesi amacını taşımaktadır. Bu amaç doğrultusunda uçucu küllerin kimyasal, fiziksel, mineralojik, mikromorfolojik ve mekanik özellikleri araştırılmış, sınıflandırılmaları yapılarak ulusal ve uluslararası standartlara uygunlukları belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında incelenen Seyitömer termik santralından alınan uçucu kül örneklerinin esas element oksit bileşimleri tespit edilmiştir. Tez konusuyla ilgili olanlar, Çizelge 1.6'da sunulmuştur. Örneklerle ait esas element oksit bileşimlerinin ortalama değerleri, uçucu küllerin kimyasal kompozisyonlarına göre yapılan çeşitli sınıflamalara ait sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Buna göre Seyitömer termik santralı uçucu küllerinin, düşük kireçli ( $\text{CaO} < \%10$ ), silikoaluminöz bir uçucu kül (Avrupa Çimento Standartı ENV 197-1'e göre V sınıfı) olduğu görülmüştür. Ayrıca, linyit kömürünün yakılmasıyla elde edildiğinden, ASTM C-618 sınıflamasına göre C sınıfı uçucu küldür. Ayrıca, Seyitömer termik santralı uçucu küllerinde yürütülen X-ışınları çalışmaları sonucunda, kül içindeki camsı ana faz dışında hakim kristal fazlar, kuvars, manyetit ve feldispat olarak belirlenmiştir.

Karayığit et al. (2000) tarafından Türkiye'deki 10 termik santraldan alınan 13 beslenen kömürün mineralojisi ve kimyasal özellikleri incelenmiştir. Buna göre, beslenen kömürlerdeki önemli mineralleri simektit, illit, kaolinit gibi kil mineralleri ile kuvars, feldispat, kalsit, dolomit, pirit ve jips oluşturmaktadır. Beslenen kömürler yüksek Ca içeriğine, düşük P içeriğine sahiptir. Beslenen kömürlerin çoğu Cr, Ni ve U gibi bazı tehlikeli hava kirletici (HAPs) elementler açısından zenginleşmiştir. Kömürlerin As, Mn, Co, V ve Th içerikleri dünya kömürlerine göre belirlenen sınır değerleri aşmaktadır. Bu zenginleşmeler, bazı kömür havzalarındaki temel kayaçların ofiyolitlerle olan ilişkisine ve kömür havzalarındaki volkanik aktivitenin etkisine bağlanmıştır. Ayrıca, Çayırhan, Tunçbilek, Seyitömer ve Soma havzalarına ait beslenen kömürlerde yüksek B konsantrasyonu tespit edilmiştir. Bu konsantrasyon yüksekliği, bahsedilen kömür yataklarının volkano-sedimanter Neojen havzalarında oluşmuş olmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 1.6. Seyitömer termik santralından alınmış uçucu kül örneklerinin esas element oksit bileşimleri (Tokyay ve Erdoğan, 1998). A.K= Ateşte kayıp.

| Örnek No              | % SiO <sub>2</sub> | % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % CaO | % MgO | % K <sub>2</sub> O | % Na <sub>2</sub> O | % SO <sub>3</sub> | % A.K. |
|-----------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|--------------------|---------------------|-------------------|--------|
| 1                     | 51,21              | 22,11                            | 12,38                            | 4,10  | 1,14  | 1,31               | 0,78                | 0,54              | 5,87   |
| 2                     | 53,32              | 21,17                            | 11,43                            | 4,66  | 1,13  | 1,74               | 0,74                | 0,79              | 4,45   |
| 3                     | 54,38              | 19,64                            | 10,40                            | 4,43  | 1,15  | 1,53               | 0,69                | 0,39              | 7,17   |
| 4                     | 52,83              | 20,38                            | 11,00                            | 5,03  | 1,37  | 1,95               | 0,83                | 0,66              | 5,54   |
| 5                     | 53,94              | 20,57                            | 11,60                            | 3,96  | 1,18  | 1,29               | 0,71                | 0,39              | 5,90   |
| <b>Ortalama</b>       | 53,14              | 20,77                            | 11,36                            | 4,44  | 1,19  | 1,56               | 0,75                | 0,55              | 5,79   |
| <b>Standart sapma</b> | 1,23               | 0,93                             | 0,73                             | 0,43  | 0,10  | 0,28               | 0,06                | 0,17              | 0,97   |

Türker vd. (2003), Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği adına yaptıkları çalışma, Tokyay ve Erdoğan (1998)'ya ait çalışmanın bir benzeri olup, Türkiye'deki uçucu küller sınıflandırılarak özellikleri incelenmiştir. Bu amaçla Seyitömer termik santralından 5 adet uçucu kül örneği alınmıştır. Tez konusuyla ilgili olanlar, Çizelge 1.7'de sunulmuştur. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, Tokyay ve Erdoğan (1998)'ya ait sonuçlarla karşılaştırıldığında, SiO<sub>2</sub> ve K<sub>2</sub>O içeriklerinin daha yüksek; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO ve SO<sub>3</sub> içeriklerini ise daha düşük olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen X-ışınları çalışmalarıyla bu örneklerde camsı faz dışında kristal fazlar olarak kuvars, hematit, mullit, magnezyoferrit ve az miktarda alkali feldispat (albit, sanidin) tanımlanmıştır. Daha önce açıklandığı gibi, Tokyay ve Erdoğan (1998) tarafından Seyitömer termik santralından uçucu küllerinde manyetit ve feldispat tanımlanmasına karşın, aynı çalışmada mullit ve magnezyoferrit mineralleri tanımlanmamıştır.

Çizelge 1.7. Seyitömer termik santralından alınmış uçucu kül örneklerinin esas element oksit bileşimleri (Türker vd., 2003). A.K= Ateşte kayıp.

| Örnek No              | % SiO <sub>2</sub> | % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | % CaO | % MgO | % K <sub>2</sub> O | % Na <sub>2</sub> O | % SO <sub>3</sub> | % A.K. |
|-----------------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|--------------------|---------------------|-------------------|--------|
| 1                     | 54,69              | 21,04                            | 9,40                             | 3,76  | 4,28  | 1,77               | 0,63                | 0,53              | 3,05   |
| 2                     | 54,60              | 20,92                            | 9,27                             | 3,29  | 4,63  | 2,13               | 0,65                | 0,52              | 3,08   |
| 3                     | 54,37              | 20,45                            | 9,24                             | 4,94  | 4,32  | 2,19               | 0,70                | 0,42              | 3,03   |
| 4                     | 54,97              | 19,98                            | 9,02                             | 4,60  | 4,49  | 1,96               | 0,63                | 0,50              | 3,02   |
| 5                     | 53,81              | 20,50                            | 9,43                             | 4,70  | 4,70  | 1,98               | 0,65                | 0,65              | 2,88   |
| <b>Ortalama</b>       | 54,49              | 20,58                            | 9,27                             | 4,26  | 4,48  | 2,01               | 0,65                | 0,52              | 3,01   |
| <b>Standart sapma</b> | 0,39               | 0,38                             | 0,15                             | 0,63  | 0,17  | 0,15               | 0,03                | 0,07              | 0,07   |



## 2. KÖMÜR HAVZASININ JEOLJİSİ

### 2.1. Giriş

Batı Anadolu'da yayılım gösteren Neojen yaşlı havzalar önemli linyit oluşumları içermektedir. Ülkemizdeki linyit rezervlerinin yaklaşık %33'ü Batı Anadolu linyit havzalarında oluşmuştur. Batı Anadolu'daki linyit içeren sedimanter istifler KD (kuzeydoğu), KB (kuzeybatı) ile D-B (doğu-batı) uzanımlı çöküntü alanlarını doldurmuş olup, bu alanlar faylarla sınırlandırılmıştır (Yağmurlu et al., 2004). Seyitömer linyit sahası, Orta-Üst Miyosen yaşlı gölsey Seyitömer Formasyonu içerisinde, alt ve üst olmak üzere toplam iki adet kömür damarı içermektedir. Alt damar işletilebilir olmasına karşın üst damar ekonomik değere sahip değildir. Bazı yerlerde yaklaşık 37 m kalınlığa ulaşan alt damar, ortalama 15 m kalınlığa sahiptir (Çelik and Karayiğit, 2004; Şengüler ve Sonel, 1999).

Seyitömer linyit havzası, 1936 yılında M.T.A Genel Müdürlüğü tarafından ele alınmış olup, bir seneye yakın süre içerisinde, sondaj, kuyu, yarma ve galerilerle fiili aramalar yapılmıştır. Daha önce açıklandığı gibi, Lebküchner (1959) tarafından Seyitömer havzasında gerçekleştirilen stratigrafik çalışmalar sonucunda, Neojen yaşlı birimler; yaşlı Neojen ve genç Neojen birimleri olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Baş (1986) tarafından yaşlı Neojen birimleri, Beke ve Tunçbilek Formasyonları; genç Neojen birimleri Saruhanlar, Çokköy ve Emet Formasyonları; Neojen birimleri üzerine uyumsuz olarak gelen Kuvaterner yaşlı birimler ise Kocayataktepe Formasyonu olarak adlandırılmıştır. Beder (1996)'e göre Seyitömer kömür havzasında yer alan birimlerin temelinde ofiyolitik karmaşıktan oluşan serpantinitle, serpantinitle üzerine uyumsuzlukla gelen Neojen yaşlı Seyitömer Formasyonu, Seyitömer Formasyonu üzerine uyumsuzlukla gelen Kocayataktepe Formasyonu yer almaktadır. Şengüler ve Sonel (1999) tarafından inceleme alanındaki istif, tabandan tavana doğru; ofiyolitik melanjdan oluşan Ayvalı Formasyonu (Üst Kretase), konglomeratik Elmacık Formasyonu (Alt Miyosen), yeşil kil, linyit, bitümlü marn, sarı kilden oluşan Seyitömer Formasyonu (Orta-Üst Miyosen), marn, kireçtaşı ardalanmasından oluşan İshakçılar Formasyonu (Pliyosen), konglomeratik Kocayataktepe Formasyonu (Pleyistosen) ve Kuvaterner'e ait alüvyon olarak sıralanmaktadır. Çelik and Karayiğit (2004)'e göre

Seyitömer havzasındaki stratigrafik birimler: Temel kayaçlar, Eğriöz Formasyonu, kömür içeren Seyitömer Formasyonu, Kepez Formasyonu ile Kuvaterner yaşlı oluşuklardan ibarettir.

## **2.2. Stratigrafi**

Kömür havzasının stratigrafisi Baş (1986), Şengüler ve Sonel (1999) ile Çelik and Karayiğit (2004)'ten özetlenerek aşağıda sunulmuştur. Tez çalışması kapsamında incelenen bölgenin, Çelik and Karayiğit (2004)'ten alınan genelleştirilmiş stratigrafik istifi ve bölgeye ait jeoloji haritası Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmiştir.

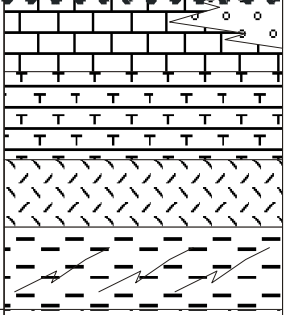
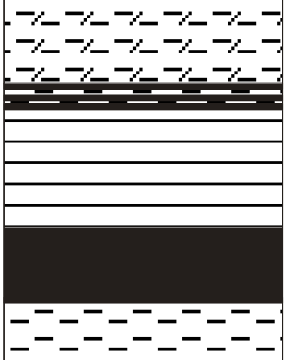
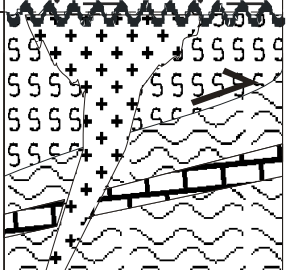
### **2.2.1. Temel Kayaçlar**

Neojen öncesi yaşlı metamorfik ve ofiyolitik kayaçlar ile granitler havzanın temelini oluşturmaktadır. Bu temel kayaçlar üzerine, 500 m'den daha fazla kalınlığa sahip, Miyosen-Pliyosen yaşlı basen dolgusu uyumsuz olarak gelmektedir (Çelik and Karayiğit, 2004).

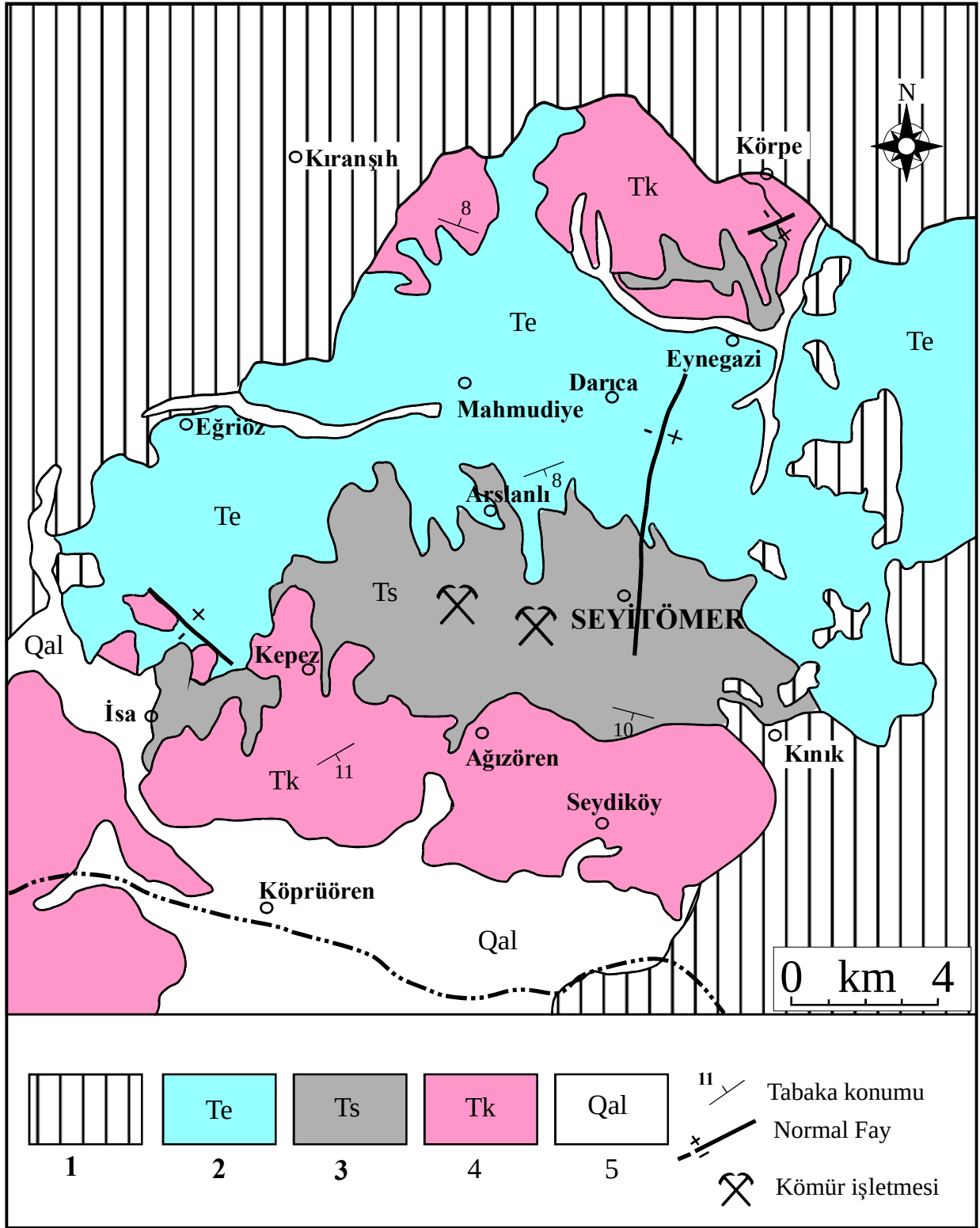
### **2.2.2. Eğriöz Formasyonu**

İrmak ve mendereslerin etkili olduğu çökelme ortamında çeşitli boyuttaki kaba kırıntılar Neojen öncesi birimlerin üzerine uyumsuz olarak gelmekte, üste doğru tane boyu incelererek konglomera-kumtaşı ardalanması etkinlik göstermektedir (Baş, 1986). Birim tabanda, temel kayaçlara ait çeşitli büyüklükte çakıl taşlarıyla başlamaktadır. Çakıl boyları yer yer 20 cm'ye ulaşmakta olup, genellikle az yuvarlaklaşmıştır. Kötü boylanmalı, iri taneli ve yakınındaki kayaçların çakıllarından oluşan birim, içerdiği çapraz tabaklanma ve üst seviyelere doğru incelen tane boyu ile örgülü akarsu ortamını yansıtmaktadır (Şengüler ve Sonel, 1999). Basendeki ilk sedimanter sistem, Eğriöz Formasyonuna ait akarsu rejimiyle başlamaktadır. Formasyon, konglomera, çapraz tabakalı konglomera, kumtaşı, çamurtaşı ve ince kömür damarını içermektedir. Konglomera, çapraz tabakalı konglomera, çakıllı kumtaşı birimleri, bir taşkın düzlüğüne yerleşmiş ve yatay tabakalanmış silttaşı çamurtaşı kanal çökelleri olup, bunlar taşkın düzlüğü

çökelleridir. Konglomeralar daha çok havza kenarında yaygındır (Çelik and Karayığit, 2004).

| Yaş              | Formasyon | Kalınlık (m) | Litoloji                                                                            | Açıklamalar                                                                                                                                                                 |
|------------------|-----------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kua..            |           | 0-50         |    | Çakıl, silt ve kil<br><i>UYUMSUZLUK</i>                                                                                                                                     |
| Miyosen-Pliyosen | Kepez     | 150-300      |   | Killi kireçtaşı-konglomera-tüfit<br>Tüflü marn<br>Tüfit                                                                                                                     |
| Orta-Üst Miyosen | Seyitömer | 100-150      |  | Diyatomit ara katkılı karbonatlı kilitaşı<br>Üst kömür damarı:<br>Kömür ve kilitaşı ardalanması<br>Gösel bitümlü marn ile çamurtaşı ve kömür mercekleri<br>Alt kömür damarı |
|                  | Eğriöz    | 0-100        |  | Yeşil renkli kilitaşı<br>Akarsu çökelleri: konglomera, kumtaşı ve çamurtaşı                                                                                                 |
| Neojen öncesi    | Temel     | ~            |  | <i>UYUMSUZLUK</i><br>Granit<br>Ofiyolitik ve metamorfik kayalar                                                                                                             |

Şekil 2.1. Seyitömer linyit havzasının genelleştirilmiş stratigrafik istifi (Çelik and Karayığit, 2004; Şengüler ve Sonel, 1999).



Şekil 2.2. Seyitömer linyit havzasının basitleştirilmiş jeoloji haritası (Çelik and Karayığit, 2004). 1=Neojen öncesi temel kayalar, 2=Eğriöz Formasyonu, 3=Kömür içeren Seyitömer Formasyonu, 4=Kepez Formasyonu, 5=Alüvyon.

### 2.2.3. Kömür içeren Seyitömer Formasyonu

Orta-Üst Miyosen yaşlı Seyitömer Formasyonu, Eğriöz Formasyonu'na ait akarsu çökelleri üzerine uyumlu olarak gelmekte ve Miyosen-Pliyosen yaşlı Kepez Formasyonu tarafından yine uyumlu olarak örtülmektedir. Kömür içeren Seyitömer Formasyonu, yatay-dikey yönde, gölsel fasiyeste gelişmiş olup, tabandan tavana doğru yeşil kilaşı, alt kömür damarı, çamurtaşı ve bitümlü marn, üst kömür damarı, karbonatlı kilaşı ve fosilli marn ile diatomit aralanması şeklinde kendini göstermektedir (Çelik and Karayiğit, 2004; Şengüler ve Sonel, 1999).

Yavuz (2001) tarafından yürütölen palinolojik çalışmaları, kömür içeren Seyitömer Formasyonu'nda kömürü oluşturan floranın, yarıtropikal orman ile nehir kenarına ve yamaçlara ait bitkilerce zengin olduğunu ortaya çıkarmıştır.

Şengüler ve Sonel (1999) tarafından Seyitömer Formasyonu beş üyeye ayrılarak incelenmiştir. Bu üyeler tabandan tavana doğru sırayla şöyledir:

**Yeşil Kil Üyesi:** Birim, genellikle mavi-yeşil ve açık yeşil renkli plastik özellikte killerden oluşmaktadır. Alt seviyeleri, üzerinde yer aldığı Eğriöz Formasyonu ile geçişi yansıtan kumtaşı ve killi kumtaşı yüzeyleri ile karakteristiktir. Üst seviyelere doğru gri renkli kilaşı ile birlikte yer yer bitki kalıntıları ve çok ince linyit izlerine rastlanmaktadır. Birim tabanındaki Eğriöz Formasyonunun kaba detritiklerinden ince tanelilere geçişi gösteren düzeyleri ile çökölme ortamındaki değişikliği yansıtmaktadır. Yeşil kil üyesinin alt seviyelerinden itibaren Eğriöz Formasyonu'nun örgölü akarsu çökölme ortamı, yerini yeşil renkli killerin çökeldiği göl ortamına bırakmıştır.

**Alt Linyit Üyesi:** Linyit damarlarını içeren birim, özellikle kömüre yönelik yapılan çalışmalarda "esas damar" ve "ana damar" gibi isimlerle anılmaktadır. Birim Seyitömer ve Arslanlı köyleri çevresinde yayılım gösterir. Yeşil kil üyesi üzerine gelen Alt linyit üyesi, linyit, killi linyit, kumtaşı, silttaşı, kilaşı ve marn aralanmasından oluşmaktadır. Alt seviyelerdeki linyit damarının kalınlığı 3-6 m arasında değişmekte olup, linyit izli kilaşı ve yeşil renkli kilaşı ile yer yer

ardalanmalıdır. Çelik and Karayığit (2004) tarafından belirtildiği gibi, alt kömür damarı, kalın ve yatay uzanımlı bir damar olup, bu damar ince killi kömür bantları içermektedir. Bu bantlar, yüksek su seviyesine sahip tatlı su göl ortamında meydana gelen turba oluşumu boyunca, ince klastiklerin girişine işaret etmektedir. Şengüler ve Sonel (1999)'e göre alt linyit üyesinin kalınlığı yer yer 40 m'ye ulaşmakla birlikte ortalama kalınlık 20 m'dir. Seyitömer kömür havzasında alt linyit damarının görünümü Şekil 2.3'de sunulmuştur. Yazarlara göre birimin yaşı Orta-Üst Miyosen'dir.



Şekil 2.3. Seyitömer kömür havzasında işletilen alt damarın uzaktan görünümü.

**Bitümlü Marn Üyesi:** Genellikle ülkemizde şeyl fasiyesinde gözlenen bitümlü kayalar, Seyitömer sahasında marn fasiyesinde görülmektedir. Birim genellikle gri, yeşilimsi gri ve açık kahverengi olup, kireçtaşı, silisifiye kireçtaşı, marn, yer yer de çört ardalanmasından oluşmaktadır. Kireçtaşları yüksek kil içerikli, sarımsı boz renklidir. Marnlar genellikle yumuşak, kısmen plastik özellikte ve yer yer de silisleşmiştir. Bitümlü marnlar yatay ve yataya yakın bir eğime sahip olup 1-5 mm kalınlıkta laminalıdır. Alt linyit üyesi üzerinde geçişli olarak yer alan bitümlü

marnlar, üst seviyelerinde üzerinde yer alan üst linyit üyesi olarak adlandırılan birimin tabanını oluşturan killere geçmektedir.

Birim bol miktarda gastropoda (planorbis), lamellibrans ve ostrakod fosilleri içermektedir. Ayrıca bitümlü marnlar içinde yaprak ve dal kalıntıları da yaygındır. Fauna özellikleri genellikle sığ ve durgun su çökelme ortamı koşullarını yansıtmaktadır. Spor-polen topluluğu ve ostrakodlar göl ortamını işaret etmektedir.

**Üst Linyit Üyesi:** Gri ve açık gri renkli marn ile ardalanmalı olarak bulunur. Üst seviyelerinde açık sarı kil ve ince silisifiye kireçtaşı bantları yer alır. Yer yer yanık seri ile yanal geçişli olarak görülür. Üst linyit üyesinin kalınlığı ortalama 10 m'dir. Birim içindeki linyit bantlarının kalınlığı çok nadiren 50 cm'ye ulaşmaktadır.

**Yanık Seri:** Tuğla renginde ve görünümünde olan birim bitümlü marn üyesi ve üst linyit üyesinin yanması sonucu oluşmuştur ve her iki birimle de geçişlidir. Yanık serinin kalınlığı yer yer 30 m'ye ulaşmakla birlikte ortalama olarak 10 m'dir.

**Sarı Kil Üyesi:** Genellikle açık sarı, gri, yeşilimsi gri ve krem renkli marn ve yer yer silisifiye kireçtaşı mercekli tuf ve diatomeli marn ardalanmasından oluşmaktadır. Sarı kil üyesinin ortalama kalınlığı 25 m'dir. Seyitömer Formasyonunun en üst seviyesini oluşturan sarı kil üyesi içindeki diatomeli marnlar, Geç Miyosen sonunda ve Pliyosen'de havzanın belirli ölçüde volkanik faaliyetten etkilendiğini göstermektedir.

#### **2.2.4. Kepez Formasyonu**

Gölsel, kısmen akarsu ortamında gelişen Kepez Formasyonu, tabandan tavana doğru; karbonatlı kilaşı, tüfit, tüflü marn, killi kireçtaşı ve konglomera-tüfitten oluşmaktadır. Kepez Formasyonu'nun fasiyes birimleri tatlı su karbonatları, volkanik çökeller ve akarsu çökelleridir (Çelik and Karayigit, 2004). Formasyon, Şengüler ve Sonel (1999) tarafından tanımlanan İshakcılar Formasyonu'na karşılık gelmektedir. Formasyonun en alt seviyelerinde yoğun olarak tüfler, orta seviyelerinde marnlar ve üst seviyelerinde ise kireçtaşları yer almaktadır. Miyosen'de yoğun bir şekilde gözlenmeyen volkanizma Geç Miyosen sonunda tuf

ve lav volkanizması şeklinde etkili olmuştur (Baş, 1986). Pliyosen ortalarında etkili olan bazaltik-andezitik lav çıkışı ile birlikte bütün Pliyosen boyunca tüfler de yerleşmiştir. Pliyosen yaşlı formasyonun içerisindeki silisli düzeyler ve silis yumruları volkanizma ile ilgilidir (Şengüler ve Sonel, 1999).

#### **2.2.5. Kuvaterner oluşukları**

Baş (1986) tarafından adlandırılan Kocayataktepe Formasyonu, kırmızımsı ve krem renkli az tutturulmuş konglomera ile istifte yer alan kil, kum ve tuf seviyeleri ile karakteristiktir. Birimin kaba tanelerden ince tanelere değişen istifi akarsu ortamını yansıtmaktadır. Formasyon içerisinde Kuvaterner öncesi bütün kayalara ait çakıllar mevcuttur. Pliyosen yaşlı çakıllar içermesi nedeniyle birimin yaşı Pleyistosen olarak benimsenmiştir. Alüvyonlar ise, tutturulmamış çakıl, kum, mil ve killerden oluşmaktadır (Şengüler ve Sonel, 1999).

#### **2.3. Tektonik**

Çalışma sahasında faylar genellikle KB-GD yönlü olmakla beraber, KD-GB yönlü faylar da bulunmaktadır. Graben fayları ile basamaklı faylara da pek çok yerde rastlanmaktadır (Gökmen vd., 1993).

Çalışma alanında, genellikle K-G doğrultusunda uzanan ve atımları 10-60 m arasında değişen eğim atımlı normal faylar, linyit yatağını bloklara bölmüştür. Bunun dışında kömür havzasında birbirini kesen atımları 5-15 m arasında değişen sayısız eğim atımlı normal faya rastlanmaktadır.

Çalışma alanında Neojen yaşlı kayaların yapısal hareketler karşısında fazla etkilenmediği görülmektedir. Bu kayaların 5-10° güney ve güneydoğuya doğru eğimleri tektonizmanın Neojen oluşuklarına fazla bir etki yapmadığını göstermektedir.

Havzada görülen fayların bir kısmının, kömür oluşum evresi boyunca, bazılarının ise kömür oluşumundan sonra geliştiği görülmektedir.



Çalışma alanında, belirgin bir şekilde gözlenen çatlaklar yer almaktadır. Bu çatlaklardaki açılımların 10 cm ile 50 cm arasında değiştiği gözlenmiştir. Büyük ölçüde kayacın bileşimine bağlı olarak, bazı katmanlarda çok sık aralıklı bulunan çatlakların, bazı katmanlarda çok uzun aralıklı ve hemen hemen hiç bulunmadığı görülmüştür.

Çalışma alanındaki kıvrımlar belirgin bir şekilde gözlenmekte olup, özellikle marn üyeleri içerisinde görülen kıvrımlanmalar doğu-batı yönlüdür. Kayacın bileşimine bağlı olarak gelişen bu kıvrımlar özellikle marn ve yanık seri içerisinde gözlenmektedir (Beder, 1996).

### **3. ÇALIŞMA YÖNTEMLERİ**

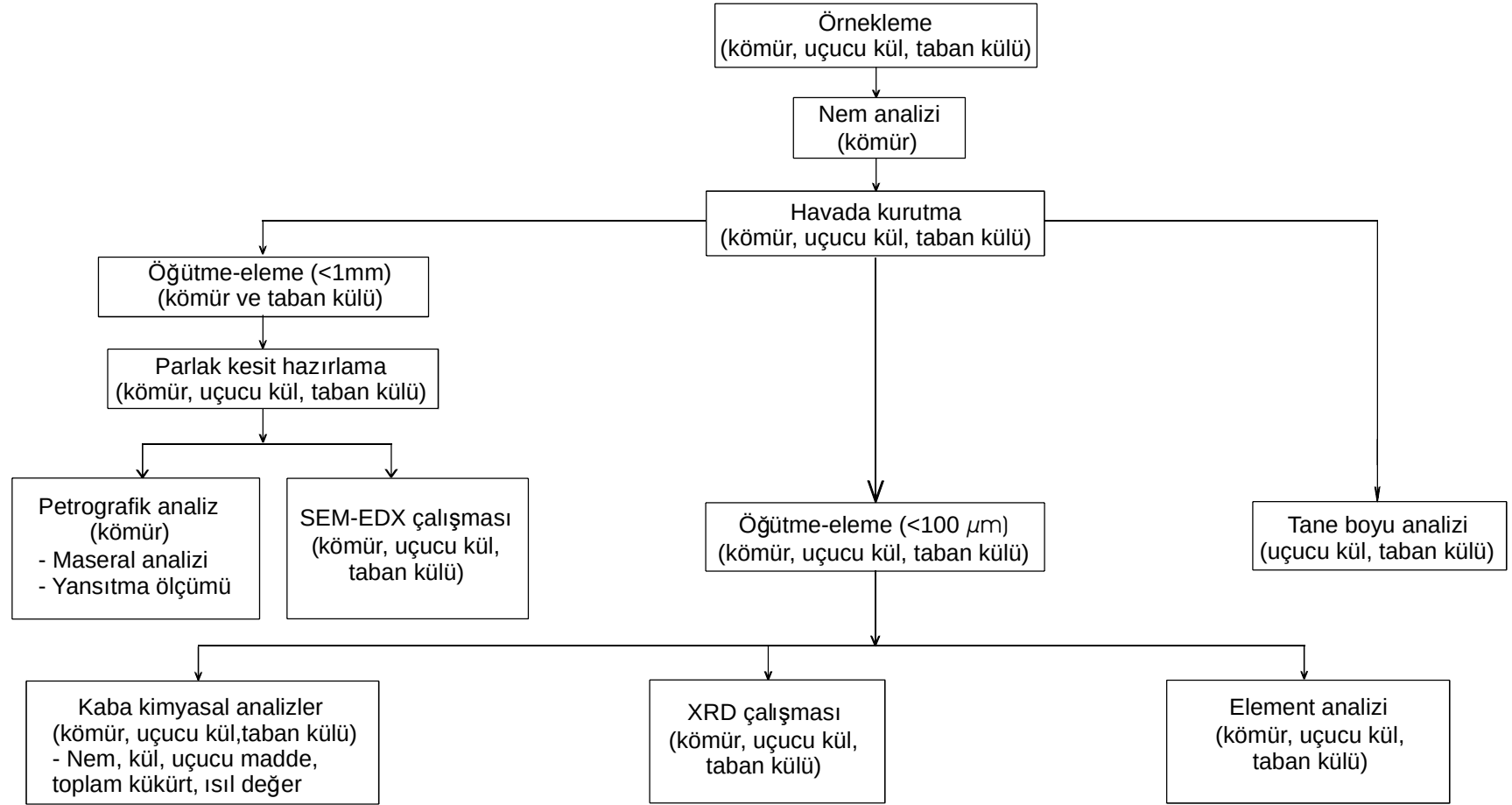
Tez çalışması, örnekleme ve laboratuvar çalışmaları olmak üzere iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında yapılan çalışmaların iş akış şemasındaki gösterimi Şekil 3.1’de sunulmuştur.

#### **3.1. Örnekleme Çalışmaları**

Tez çalışması kapsamında, Seyitömer Termik Santralinde beslenen/yanan kömür ve yanma sonucu oluşan katı atıklardan (uçucu kül ve taban külü) periyodik olarak haftada bir gün olmak üzere 8 hafta boyunca örnekleme yapılmış ve 8 adet kömür, 8 adet uçucu kül, 8 adet taban külü olmak üzere toplam 24 adet örnek alınmıştır. Kömür ve kül ilişkilerini inceleyebilmek amacıyla, uçucu kül ve taban külü örneklerinin alımı, kömür örneği alımından yaklaşık 30 dakika sonra gerçekleştirilmiştir. Termik santralde kömürler yanma kazanına girmeden önce 0-30 mm boyutuna gelecek şekilde değirmende öğütülmekte ve depolanmaktadır. Kömür örnekleri bu depoların çıkış noktasından alınmıştır (Şekil 3.2). Uçucu kül örnekleri elektrofiltrelerin altında yer alan örnek alma noktalarından, taban külü örnekleri ise kazan altındaki ızgara üzerinden alınmıştır (Şekil 3.3 - Şekil 3.4). Taban külü örnekleri çok sulu olduğu için laboratuvara getirilmeden önce termik santral kömür laboratuvarında, havada kurutulmuştur. Örnekler, yaklaşık 1-2 kg alınarak çift katlı kalın naylon torbalarda muhafazalı bir şekilde laboratuvara getirilmiştir.

#### **3.2. Laboratuvar Çalışmaları**

Laboratuvar çalışmaları sırasında alınan örneklerin kaba kimyasal (nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt ve ısı değeri) analizleri, ICP-AES, ICP-MS yardımıyla esas element ve eser element analizleri, örneklerin tamamında Hg analizleri, X-ışınları toz difraktogramları (XRD) çalışmalarıyla mineralojisi, taramalı elektron mikroskopisi (SEM-EDX) yardımıyla mikron büyüklüğündeki minerallerin analizleri, kömürlerin petrografik bileşimleri ve hüminit yansıtımalarının ölçümü, uçucu ve taban külü örneklerinin tane boyu analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.1. Tez kapsamında yapılan çalışmaların iş akış şeması.



Şekil 3.2. Seyitömer termik santralinde kömür örneklerinin alım yeri.

Analizlerden kaba kimyasal analizler, optik mikroskop çalışmaları, seçilen kömür (04-01, 07, 13, 19), uçucu kül (04-02, 8, 14, 20) ve taban külü (04-03, 09, 15, 21) örneklerinde tüm kayaç XRD ve kömür örneklerinin tamamında kil XRD çekimleri ve seçilen kömür (04-01, 04, 07, 10, 13, 22), uçucu kül (04-05, 08, 14) ve taban külü (04-06 ve 04-09) örneklerinde SEM-EDX analizleri Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde; küllerde tane boyu analizleri Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü'nde; ICP-MS, ICP-AES analizleri, seçilen kömür (04-04, 10, 16, 22), uçucu kül (04-05, 11, 17, 23) ve taban külü (04-06, 12, 18, 24) örneklerinde tüm kayaç XRD çekimi, seçilen kömür (04-16) ve uçucu kül (04-17) örneklerinde SEM-EDX analizleri İspanya' daki Institute of Earth Sciences "Jaume Almera" CSIC' da; kömür örneklerinde Se, örneklerin tamamında Hg ve Cl analizleri Amerika'daki USGS'de yapılmıştır.



Şekil 3.3. Seyitömer termik santralinde uçucu kül örnek alma noktası.



Şekil 3.4. Seyitömer termik santralinde taban külü alınan ızgaranın görünümü.

- a) Kömür, uçucu kül ve taban külü örnekleri, laboratuvara geldiği durumda önce yarılanmış ve bir kısmı toplam nem analizleri için kullanılmıştır. Geri kalan kısmı ise havada kurutulmuştur. Tüm analizler, toplam nem hariç, bu havada kurutulmuş örnekler üzerinde yürütülmüştür. Kurutulan kömür ve taban külü örneklerinin tümü 1 mm'lik elekten geçecek şekilde kırılmış ve elenmiştir. Uçucu küller ise çok küçük tane boyuna sahip olduğundan elenmemiştir. Elenen örnekler, yarılama kabı yardımıyla azaltılmıştır. Azaltılmış miktar, yarılama kabı kullanılarak tekrar kısımlara ayrılmış ve bazı kısımlar, analizler (örneğin; ICP-AES, ICP-MS, Hg, Se, Cl analizleri, XRD çekimi ve bazı kaba kimyasal analizler) için uygun boyutlara getirilmek üzere (100  $\mu\text{m}$ 'den daha küçük tane boyu) agat havanda ezilerek boyutları indirgenmiştir.
- b) Alınan toplam 24 adet örneğin kaba kimyasal analizleri (nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt ve ısı değeri) gerçekleştirilmiştir. Uçucu küllerde ısı değeri saptanamadığı için bu analiz uçucu küllere uygulanmamıştır. Tez kapsamında kaba kimyasal analizler ASTM (1991)'de verilen yöntemlere göre yapılmıştır.
- c) Alınan tüm uçucu kül ve taban külü örneklerinde tane boyu analizi gerçekleştirilmiştir. Taban küllerinde 1750  $\mu\text{m}$  üzerindeki tane boyları 6,7-0,85 mm aralığında farklı boyutlarda, bakır eleklerde elenmiş ve geri kalan kısmı Sympatec PM Tour 2000 marka, lazer tane boyu okuma cihazıyla yapılmıştır. Uçucu küller, yeterince ince tane boyunda olduklarından ön eleme işlemi yapılmaksızın lazer sistemde doğrudan tane boyu okuması yapılmıştır.
- d) Mineralojik bileşimlerin tespiti amacıyla, örneklerin tamamında tüm kayaç XRD çekimleri gerçekleştirilmiştir. Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ndeki çekimler  $0-50^{\circ} 2\theta$ , İspanya'daki çekimler  $4-60^{\circ} 2\theta$  çekim aralığı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kömürlerin kil içeriklerinin tespiti için kömür örneklerinin kil fraksiyonları ayrılmış ve XRD kil fraksiyonu çekimleri normal, glükollü ve fırınlanmış olarak gerçekleştirilmiştir. XRD kil fraksiyonu difraktogramları  $0-30^{\circ} 2\theta$  aralığında çekilmiştir. Elde edilen toz difraktogramlar ve kil difraktogramları üzerinde mineral tanımlamaları, ASTM kartları ve Moore and Reynolds (1997)'da



verilen bilgiler kullanılarak yapılmış ve her mineralin karakteristik pikleri değerlendirilmiştir.

- e) Petrografik analiz ve hüminit yansıtmasının ölçümü için, tüm kömür örneklerinin parlatma briketleri hazırlanmıştır. Ayrıca uçucu kül ve taban küllerinde üstten aydınlatmalı mikroskopta inceleme yapabilmek amacıyla seçilen uçucu kül (04-05 ve 04-14) ve taban külü (04-09) örneklerinden de parlatma briketi hazırlanmıştır. Parlatma briketleri için 1 mm'lik elekten geçirilmiş kömür ve kül örnekleri kullanılmıştır. Örnekler, epoksi resin ve sertleştirici kullanılarak parlatma briketleri hazırlanmış ve bu briketler Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Kömür Laboratuvarı'nda bulunan Struers Labo Pol-5 parlatma cihazında uygulanan yöntemlerle parlatılmıştır. Bu analizler için Leitz MPV 2 tip üstten aydınlatmalı ve floresans kömür mikroskobu, 32x yağ objektifi, floresans görüntüler için mavi ışık ve K510 sarı filtre kullanılmıştır. Maseral analizi ve hüminit yansıtmasının ölçümünde ICCP (1963, 1971, 1995) ve Stach et al. (1982)'da verilen bilgiler kullanılarak yapılmıştır. Nokta sayımı sırasında Swift nokta sayıcısı kullanılmıştır.
- f) Seçilen kömür (04-01, 04, 07, 10, 13, 22), uçucu kül (04-05, 08, 14) ve taban külü (04-06 ve 04-09) örneklerinde, Hacettepe Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü'nde SEM-EDX çalışması; yine seçilen kömür (04-16) ve uçucu kül (04-17) örneklerinde, İspanya'da SEM-EDX çalışmaları gerçekleştirilmiştir. SEM-EDX çalışmaları için örnekler karbonla kaplanmıştır. Bu çalışmalarda 1 mm'lik elekten geçirilmiş, kömür petrografisi çalışmaları için hazırlanmış parlatma briketleri kullanılmıştır.
- g) Örneklerinin tamamında bazı esas ve eser element analizleri ICP-MS, ICP-AES kullanılarak gerçekleştirilmiştir. ICP-MS, ICP-AES analizleri için kullanılan analiz metodları hakkında ayrıntılı bilgi Querol et al. (1992)'da bulunmaktadır. Örneklerin tamamında Hg analizleri gerçekleştirilmiştir. Civa analizi için Amerika'daki USGS'deki CVAAS cihazı kullanılmıştır. Klor analizi için kromatografi cihazı, Se analizi için AAS cihazı kullanılmıştır. Hg, Cl ve Se analizleri için kullanılan analiz metodları hakkında ayrıntılı bilgi Bullock et al. (2002)'da bulunmaktadır.

h) Katı atıklarda (uçucu kül ve taban külü) elementlerin davranışlarını daha iyi izleyebilmek için kütle denge hesaplamaları yapılmıştır. Kütle denge hesaplamaları Karayiğit et al. (in press)'da açıklandığı gibi yapılmıştır. İlgili bölümde hesaplama yöntemleri kısaca açıklanmıştır.



#### 4. KABA KİMYASAL ANALİZ SONUÇLARI İLE TANE BOYU ANALİZİ

Bu bölümde Seyitömer termik santralında yanan kömürlerden, yanma sonucunda oluşan uçucu kül ve taban küllerinden alınan örneklerin kaba kimyasal analiz sonuçları ile uçucu kül ve taban külü örneklerinde gerçekleştirilen tane boyu analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

##### 4.1. Kaba Kimyasal Analizler

Tez kapsamında alınan örnekler üzerinde nem, kül, uçucu madde, toplam kükürt ve ısı değeri analizleri yapılmıştır. Daha önce yapılan benzer çalışmalarda (Karayığit et. al, 2001; Bulut, 2004; Esenlik, 2005) uçucu küllerin toplam kükürt içeriğinin taban küllerinden daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Bunun nedeninin yanma sırasında açığa çıkan kükürt-oksitlerin bir kısmının küçük uçucu kül taneleri tarafından tutulmasından kaynaklandığı belirtilmektedir. Tez kapsamında yapılan toplam kükürt analizleri sonucunda taban külü örneklerinin toplam kükürt içeriğinin uçucu kül örneklerinden daha fazla olduğu saptanmıştır. Bu nedenle farklı laboratuvarlarda ve farklı cihazlarda toplam kükürt analizleri tekrar yapılmıştır. Analiz sonuçları Çizelge 4.1 verilmiştir. Sonuçların karşılaştırılması, Şekil 4.1'de sunulmuştur. Tez kapsamında taban küllerinin toplam kükürt içeriğinin uçucu küllere göre daha yüksek tespit edilmesinin nedeni taban küllerinde yanmamış kömür parçacıklarının uçucu küllere göre daha fazla miktarda bulunmasından kaynaklanmaktadır. Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu kül ve taban küllerinin kimyasal analiz sonuçları ise Çizelge 4.2'de verilmiştir. Analiz sonuçlarının değerlendirilmesi ve yorumu aşağıda özetlenmiştir.

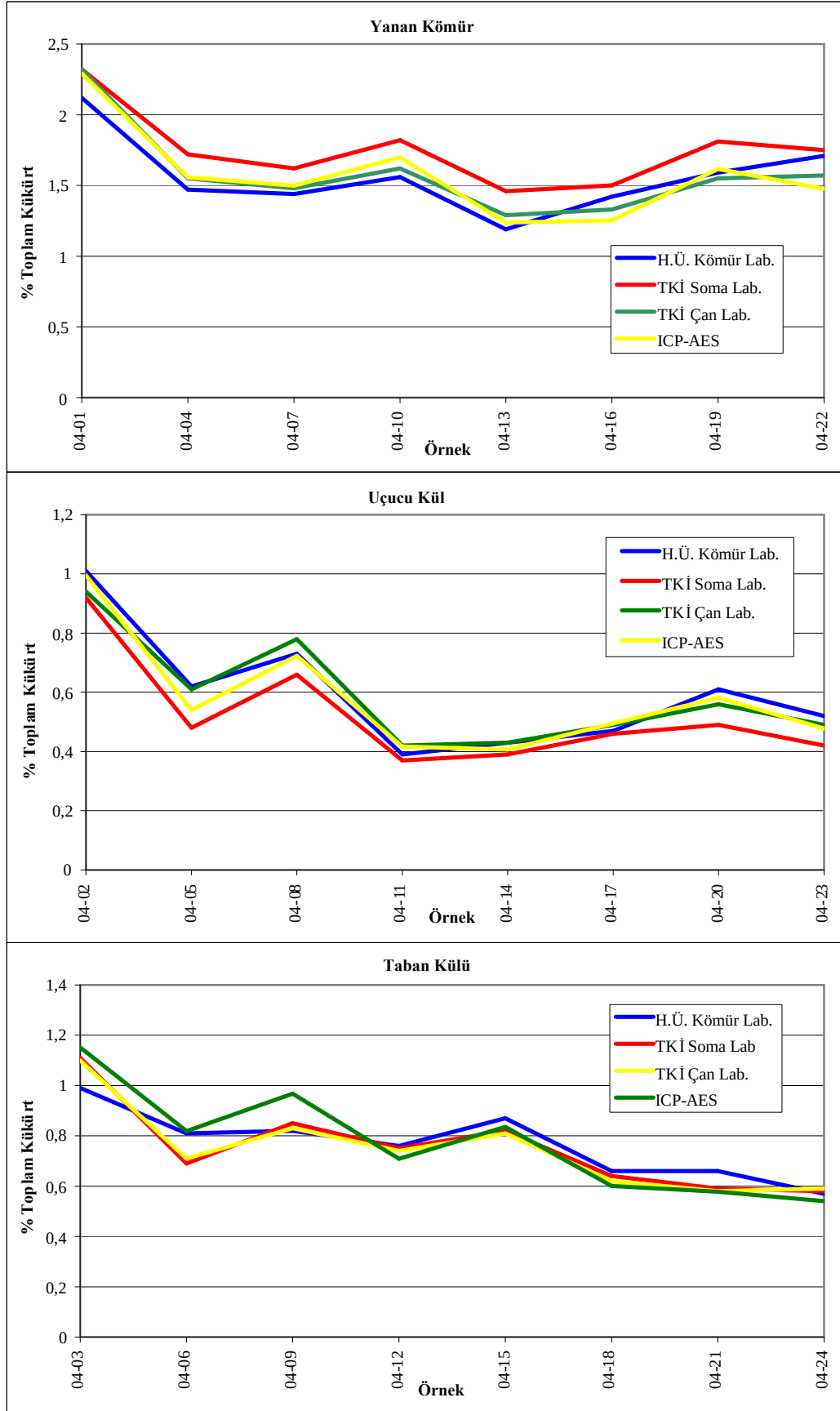
**Nem:** Bu çalışma kapsamında toplam nem (örneğin laboratuvara getirildiği durumda içerdiği nem) ve havada kurutulduktan sonra örnekte kalan kalıntı nemi analizleri yapılmıştır.

**Toplam Nem:** Tez kapsamında termik santraldan ağız bağlı naylon torbalarda alınan örnekler zaman kaybedilmeden laboratuvara getirilerek toplam nem analizleri yapılmıştır. Uçucu kül örneklerinin nem değeri elektrofiltrelerdeki yüksek sıcaklık nedeniyle çoğunlukla sıfır değerine yakındır. Taban külü örnekleri, termik

santralin kazan altı sisteminin sulu yöntem prensibine göre çalışmasından dolayı laboratuvara getirilmeden önce termik santral laboratuvarında havada kurutulmuşlardır. Termik santralda yakılan kömürlerin laboratuvara getirildiği durumda ortalama toplam nem içeriği nispeten yüksek değerlerde (%31,87) bulunmuştur (Çizelge 4.2). Uçucu kül ve taban küllerinin ortalama toplam nem içerikleri sırasıyla %0,62 ve %19,92 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Kömür, uçucu kül ve taban külleri örneklerinin farklı laboratuvarlara ve farklı cihazlara göre saptanan % toplam kükürt değerleri.

| Örnek          | H.Ü. Kömür Lab. | TKİ - Soma Lab. | TKİ - Çan Lab. | ICP-AES | Ortalama |
|----------------|-----------------|-----------------|----------------|---------|----------|
| Beslenen Kömür | 04-01           | 2,12            | 2,32           | 2,32    | 2,29     |
|                | 04-04           | 1,47            | 1,72           | 1,55    | 1,56     |
|                | 04-07           | 1,44            | 1,62           | 1,48    | 1,50     |
|                | 04-10           | 1,56            | 1,82           | 1,62    | 1,70     |
|                | 04-13           | 1,19            | 1,46           | 1,29    | 1,24     |
|                | 04-16           | 1,42            | 1,50           | 1,33    | 1,25     |
|                | 04-19           | 1,59            | 1,81           | 1,55    | 1,62     |
|                | 04-22           | 1,71            | 1,75           | 1,57    | 1,48     |
| Uçucu Kül      | 04-02           | 1,01            | 0,92           | 0,94    | 1,00     |
|                | 04-05           | 0,62            | 0,48           | 0,61    | 0,54     |
|                | 04-08           | 0,73            | 0,66           | 0,78    | 0,72     |
|                | 04-11           | 0,39            | 0,37           | 0,42    | 0,42     |
|                | 04-14           | 0,43            | 0,39           | 0,43    | 0,41     |
|                | 04-17           | 0,47            | 0,46           | 0,49    | 0,50     |
|                | 04-20           | 0,61            | 0,49           | 0,56    | 0,58     |
|                | 04-23           | 0,52            | 0,42           | 0,49    | 0,48     |
| Taban Külü     | 04-03           | 0,99            | 1,11           | 1,10    | 1,15     |
|                | 04-06           | 0,81            | 0,69           | 0,71    | 0,82     |
|                | 04-09           | 0,82            | 0,85           | 0,83    | 0,97     |
|                | 04-12           | 0,76            | 0,75           | 0,74    | 0,71     |
|                | 04-15           | 0,87            | 0,82           | 0,81    | 0,84     |
|                | 04-18           | 0,66            | 0,64           | 0,62    | 0,60     |
|                | 04-21           | 0,66            | 0,59           | 0,58    | 0,58     |
|                | 04-24           | 0,57            | 0,58           | 0,59    | 0,54     |



Şekil 4.1. Toplam kükürt analiz sonuçlarının laboratuvarlara göre karşılaştırılması.

Çizelge 4.2. Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu kül, taban külü örneklerinin havada kuru bazda kaba kimyasal (proximate) analiz sonuçları. as-rec: Örneğin laboratuvara geldiği durumda, AID: Alt ısı değer, ND: tespit edilemedi.

| Örnek      | Yanan Kömür           |       |               |       |                |            |               |
|------------|-----------------------|-------|---------------|-------|----------------|------------|---------------|
|            | % Toplam Nem (as-rec) | % Nem | % Uçucu Madde | % Kül | % Sabit Karbon | % Toplam S | AID (kcal/kg) |
| 04-01      | 30,92                 | 8,55  | 33,80         | 44,62 | 13,03          | 2,26       | 2857          |
| 04-04      | 28,71                 | 9,54  | 29,22         | 45,11 | 16,13          | 1,57       | 2519          |
| 04-07      | 30,86                 | 9,13  | 28,12         | 50,72 | 12,03          | 1,51       | 2581          |
| 04-10      | 31,52                 | 9,62  | 29,60         | 44,33 | 16,45          | 1,67       | 2844          |
| 04-13      | 32,58                 | 8,76  | 27,46         | 51,42 | 12,36          | 1,29       | 2499          |
| 04-16      | 33,95                 | 9,15  | 28,07         | 49,12 | 13,66          | 1,38       | 2492          |
| 04-19      | 31,96                 | 9,95  | 32,92         | 38,48 | 18,65          | 1,64       | 2990          |
| 04-22      | 34,41                 | 9,03  | 30,11         | 46,96 | 13,90          | 1,63       | 2520          |
| ortalama   | 31,87                 | 9,22  | 29,91         | 46,35 | 14,53          | 1,62       | 2663          |
| Uçucu Kül  |                       |       |               |       |                |            |               |
| 04-02      | 0,08                  | 0,27  | 5,23          | 94,50 | 0,00           | 0,97       | ND            |
| 04-05      | 0,92                  | 0,12  | 1,64          | 98,17 | 0,07           | 0,56       | ND            |
| 04-08      | 0,41                  | 0,14  | 1,73          | 98,08 | 0,05           | 0,72       | ND            |
| 04-11      | 0,25                  | 0,41  | 4,83          | 94,76 | 0,00           | 0,40       | ND            |
| 04-14      | 0,46                  | 0,18  | 1,76          | 98,05 | 0,01           | 0,41       | ND            |
| 04-17      | 0,71                  | 0,34  | 3,35          | 96,31 | 0,00           | 0,48       | ND            |
| 04-20      | 0,42                  | 0,22  | 2,52          | 97,26 | 0,00           | 0,56       | ND            |
| 04-23      | 1,71                  | 0,43  | 4,11          | 95,46 | 0,00           | 0,48       | ND            |
| ortalama   | 0,62                  | 0,26  | 3,15          | 96,57 | 0,02           | 0,57       | ND            |
| Taban Külü |                       |       |               |       |                |            |               |
| 04-03      | 24,96                 | 2,11  | 9,15          | 84,08 | 4,66           | 1,09       | 850           |
| 04-06      | 8,59                  | 1,90  | 6,89          | 84,97 | 6,24           | 0,76       | 645           |
| 04-09      | 13,76                 | 2,31  | 7,90          | 81,43 | 8,36           | 0,87       | 989           |
| 04-12      | 25,33                 | 1,84  | 5,70          | 86,92 | 5,54           | 0,74       | 816           |
| 04-15      | 22,49                 | 1,85  | 6,41          | 85,71 | 6,03           | 0,83       | 922           |
| 04-18      | 16,09                 | 1,56  | 5,59          | 87,32 | 5,53           | 0,63       | 1012          |
| 04-21      | 22,28                 | 1,56  | 5,89          | 87,34 | 5,21           | 0,60       | 775           |
| 04-24      | 25,89                 | 1,33  | 6,43          | 89,37 | 2,87           | 0,57       | 615           |
| ortalama   | 19,92                 | 1,81  | 6,75          | 85,89 | 5,56           | 0,76       | 828           |

**Havada Kuruma Sonrası Kalan Nem (Kalıntı Nemi):** Termik santrale beslenen kömürlerin sahip oldukları toplam nemin önemli bir miktarını havada kurutulduklarında kaybettikleri görülmektedir (Çizelge 4.2). Termik santralda yanan kömürlerin havada kuru bazda ortalama %9,22 nem içeriğine sahip oldukları saptanmıştır.

Termik santralin uçucu kül örnekleri için kalıntı nemi değerleri ortalama %0,26 olarak bulunulmuştur (Çizelge 4.2). Tez çalışması sırasında alınan bu uçucu kül örneklerinin havada kurutulma sırasında nem içermeyecekleri düşünülmüştür. Ancak ince taneli olan bu malzemenin analize hazırlanırken çok az da olsa havadan nem kaptıkları ortaya çıkmaktadır. Taban külü örneklerinde ise kalıntı nemi değeri ortalama %1,81 olarak bulunulmuştur (Çizelge 4.2).

**Uçucu Madde:** Kömürlerdeki uçucu madde, nem (organik maddenin bozunma nemi ve minerallerin hidrasyon suyu), hidrojen, karbondioksit, karbonmonoksit, hidrojen sülfür, organik sülfür bileşikler, organik bileşikler, katran, klorürler ve amonyak gibi bileşikler içermektedirler. Kömürleşme derecesine bağlı olarak uçucu madde içeriği azalmaktadır. Termik santralda yanan kömürlerden alınan örneklerin havada kuru bazda ortalama uçucu madde içeriği %29,91 olarak bulunulmuştur (Çizelge 4.2).

Tez kapsamında alınan uçucu kül ve taban külü örneklerinin uçucu madde içeriğinin kömürlere göre daha düşük olduğu saptanmıştır. Uçucu küllerde uçucu madde içeriği ortalama %3,15 ve taban külü örneklerinde ise ortalama %6,75 olarak tespit edilmiştir. Taban küllerinin uçucu madde içeriğinin daha yüksek tespit edilmesinin nedeni taban küllerinde yanmamış kömür parçacıklarının uçucu küllere göre daha fazla miktarda bulunmasıdır.

**Kül:** Kömürün kül içeriği, standart koşullar altında (750 °C'de) yanma sonucu arta kalan inorganik kalıntıyı gösterir. Tez kapsamında alınan örneklerde, Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin kül içeriğinin çok yüksek olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.2). Termik santralda yanan kömürlerden alınan örneklerin havada kuru bazda ortalama kül içeriği %46,35 olarak bulunulmuştur (Çizelge 4.2).

Termik santrallarda yanma sonucu oluşan katı atıkların (uçucu kül ve taban külü) kül içerikleri teorik olarak %100 olması gerekmektedir. Fakat gerek beslenen kömür özelliklerine ve gerekse yakma sistemlerindeki şartlara bağlı olarak her zaman bir miktar yanmamış kömür kalıntısı bu atıklar içinde bulunabilmektedir. Tez kapsamında uçucu küllerin ortalama kül içeriği beklenildiği gibi oldukça yüksek değerlerde tespit edilmiştir. Uçucu kül örnekleri için kül içeriği %96,57 olarak bulunmuştur. Termik santralın taban küllerinin kül içeriği ise %85,89 olarak tespit edilmiştir. Taban küllerinin kül içeriği, uçucu küllere göre biraz daha düşüktür (Çizelge 4.2). Bunun nedeni, taban küllerinde yanmamış/kısmen yanmış kömür kalıntılarının uçucu küllere göre çok daha fazla miktarda bulunmasından kaynaklanmaktadır.

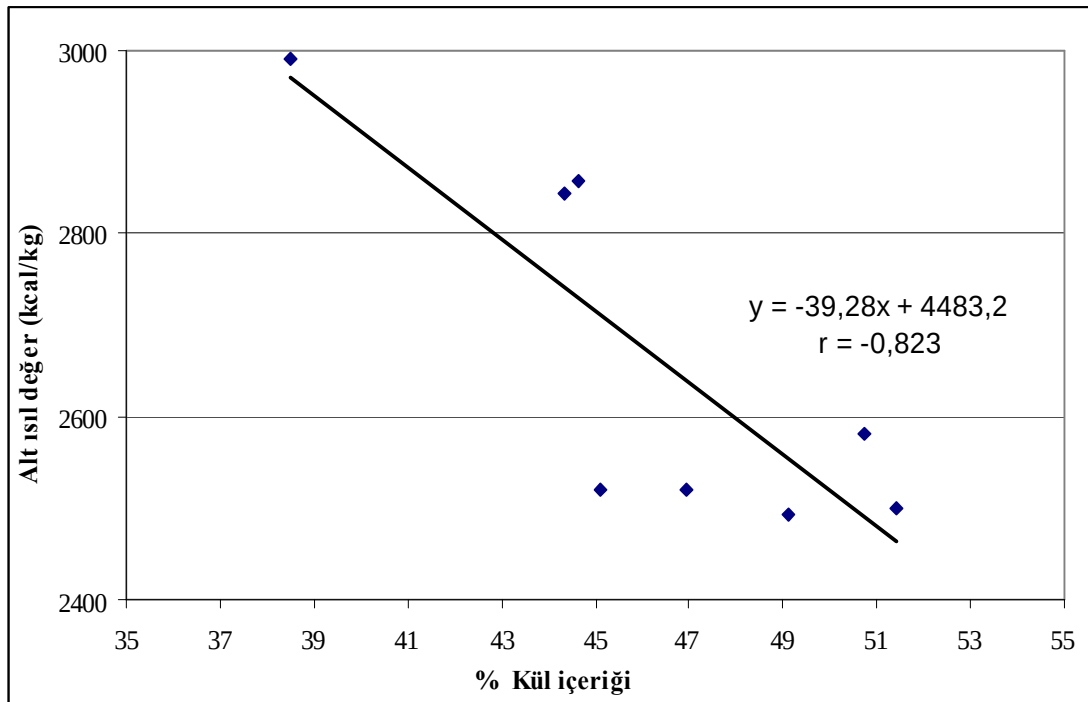
**Toplam Kükürt:** Tez kapsamında termik santralda yanan kömürlerin havada kuru bazda toplam kükürt içeriklerinin ortalamaları %1,62 olarak bulunmuştur. Kükürt, uçuculuk özelliği yüksek olan ve uçucu küllerde taban küllerine göre daha yüksek oranda zenginleşen elementlerdendir (Bulut, 2004; Karayigit et al., in press). Tez kapsamında uçucu ve taban küllerinde ortalama toplam kükürt içeriği sırasıyla %0,57 ve %0,76 olarak bulunulmuştur. Bu sonuçlar, taban külü örneklerinin uçucu küllere göre daha yüksek toplam kükürt içerdiğini göstermektedir. Bunun nedeni olarak Seyitömer termik santralı taban küllerinin oldukça fazla yanmamış kömür içeriğine sahip olması düşünülmektedir. Taban küllerinde yapılan ısı değer analizlerinde elde edilen ısı değerlerin yüksek olması bu görüşü desteklemektedir.

**Isıl Değer:** Isıl değer, kömürün türüne ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlıdır. Kömürün mineral miktarı (kül içeriği) arttıkça ısı değeri azalmaktadır. Ayrıca kömürün yüzeyde altere olması ısı değerinin azalmasına neden olmaktadır. Kömürün ısı değeri jeolojik yaşına bağlı olarak da değişir. Genel olarak, genç kömürlerin ısı değerleri oksijen ve nem içeriğinin yüksek olması nedeniyle düşüktür (Bulut, 2004).

İncelenen kömürlerinin havada kurutulmuş bazdaki alt ısı değerlerinin ortalamaları 2663 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Termik santralda yanan kömürlerde kül ve ısı değer arasındaki ilişkiyi daha iyi görebilmek için bu değerler karşılaştırılmıştır (Şekil

4.2). İlgili şekilde görüldüğü gibi kül içeriği ile ısı değeri arasında negatif doğrusal bir ilişkinin varlığı saptanabilmektedir.

Termik santraldan alınan uçucu küllerin birkaç adedinde ısı değeri analizi yapılmış ancak ısı artışı saptanamamıştır. Taban küllerinde ise daha önce açıklandığı gibi yanmamış kömürler gözlenildiğinden tüm örneklerde önemli oranda ısı değerleri (ortalama= 828 kcal/kg) tespit edilmiştir.

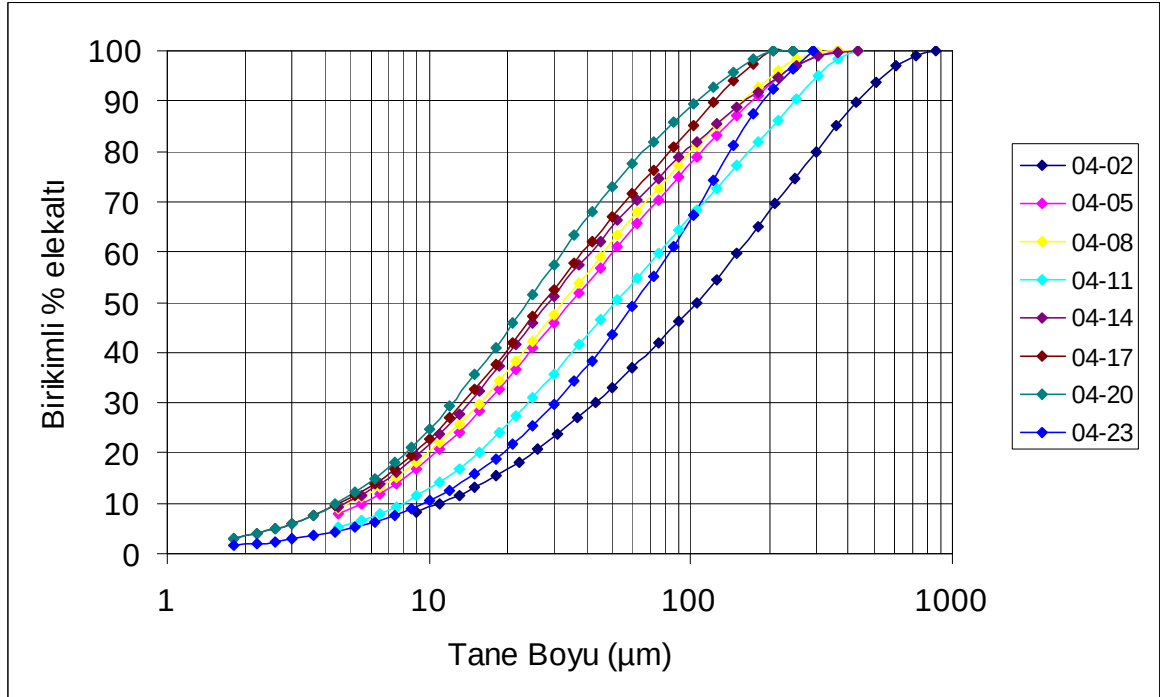


Şekil 4.2. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin havada kuru bazda kül içerikleri ile alt ısı değerlerinin karşılaştırılması.

#### 4.2. Uçucu ve Taban Küllerinin Tane Boyu Analizi

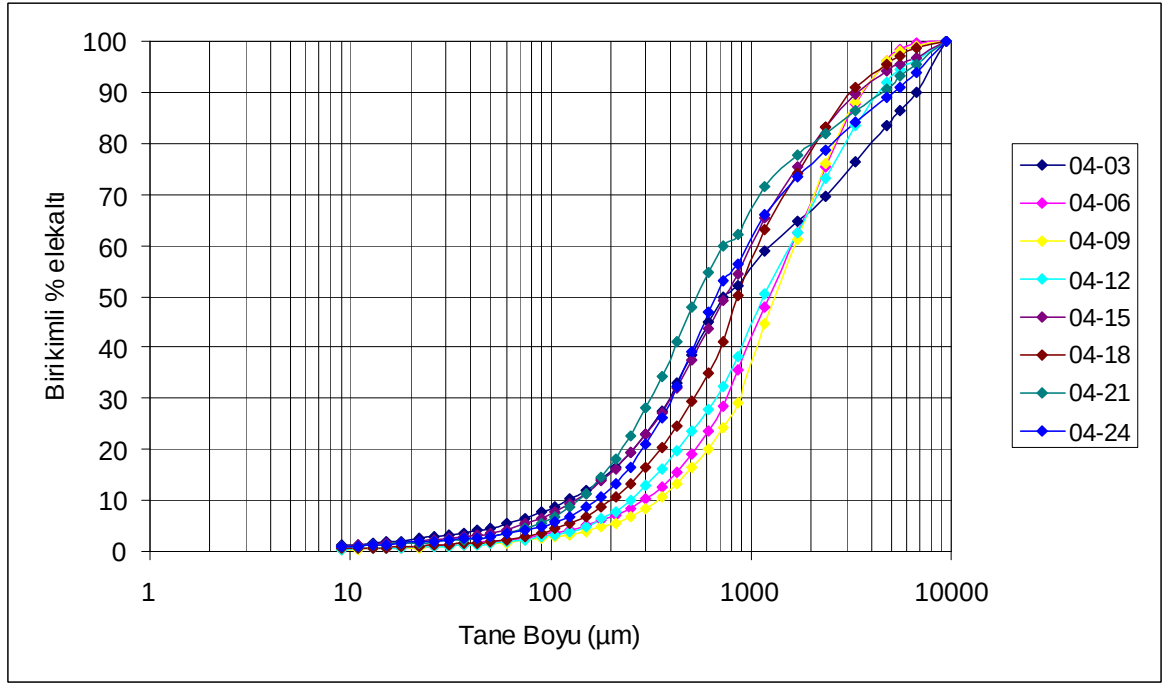
Tez kapsamında, daha önce açıklandığı gibi Hacettepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümünde bulunan Sympatec GmbH PM-Tour 2000 tane boyu analiz cihazı kullanılarak Seyitömer termik santralından alınan tüm uçucu kül ve taban külü örneklerinin tane boyu analizleri yapılmıştır. Tez kapsamında alınan taban külü örneklerinin tane boyu, cihazın okuma aralığından fazla olduğu için öncelikle kaba taneler, standart elekler kullanılarak tane boyu analizi yapılmıştır. Uçucu küllerde her bir örneğe ait tane boyu grafiği Şekil 4.3'de, taban küllerinde

her bir örneğine ait tane boyu grafiği ise Şekil 4.4'de sunulmuştur. Beklenildiği gibi gibi taban küllerinin uçucu küllere göre daha büyük taneli olduğu ve taban küllerinin tane boyunun daha geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği ortaya çıkmaktadır (Şekil 4.3 - Şekil 4.4). Seyitömer termik santralı uçucu külleri 1  $\mu\text{m}$  - 1 mm arasında tane boyuna, taban külleri ise 9  $\mu\text{m}$  - 10 mm tane boyuna sahiptirler.



Şekil 4.3. Seyitömer termik santralından alınan uçucu küllerin tane boyu dağılım grafiği.





Şekil 4.4. Seyitömer termik santralından alınan taban küllerinin tane boyu dağılım grafiği.

## 5. TERMİK SANTRALDA YANAN KÖMÜRLERİN, UÇUCU KÜL VE TABAN KÜLLERİNİN MİNERALOGİSİ

### 5.1. Giriş

Bu bölümde tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanan kömürlerden, uçucu kül ve taban küllerinden alınan örneklerin mineralojisi değerlendirilmiştir. Bu kapsamda aşağıda bazı literatür bilgilerine, konunun anlaşılması açısından yer verilmiştir. Konu ile ilgili daha ayrıntılı bilgiler, Onacak (1999) ve Bulut (2004)'ta bulunmaktadır.

**Kömürlerde Rastlanılan Mineraller:** Kömürlerdeki inorganik bileşenlerin cins ve miktarları, bilindiği gibi, kömürlerin jeolojik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi açısından önemlidir. Çizelge 5.1'de kömür içinde gözlenen mineraller ve izlenme sıklıkları verilmiştir. Kömürlerde gözlenen mineraller kömürün bünyesine üç farklı yolla girmektedir. Bunlardan ilki bataklık ortamındaki su akış hızının düşmesi sonucu detritik olarak ortama gelen kuvars, feldispat ve kil mineralleri gibi önemli inorganik bileşenlerdir. Kaolinit ve pirit gibi mineraller ise gömülme ve kömürleşme sırasında diyajenetik süreçlerle çoğunlukla sinjenetik olarak meydana gelmektedir. Kömürler içinde gözlenebilen kalsit ve pirit gibi mineraller ise kömürleşmeden sonra kırık ve çatlaklarda epijenetik olarak oluşmaktadır (Bulut, 2004).

Çizelge 5.1'de de görüldüğü gibi kömürler içinde oldukça fazla mineral çeşidi bulunabilmektedir. Ancak bunların çoğu yaygın olarak görülmemekte ve az miktarda bulunmaktadır. Kömür içindeki mineraller orijinal depolama alanlarındaki jeokimyasal şartları ve jeolojik parametreleri, gömülme, sıkışma ve kömürleşme sırasındaki sıcaklık ve basıncı, kömürleşme sonrasındaki mineral oluşumlarının ve oksidasyon olaylarının ortaya çıkarılması açısından yararlanılabilecek en önemli kaynaktır (Mattigod et al., 1990).

Çizelge 5.1. Kömürlerde gözlenen mineraller ve izlenme sıklıkları (Groen and Craig'den, 1993). Kısaltmalar: \* B: Baskın, Y: Yaygın, A:Az, N:Nadir

| Mineral Sınıfı | Mineral        | Bileşim                                                                                                                                                | İzlenme Sıklığı* |
|----------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Sülfidler      | Pirit          | $\text{FeS}_2$                                                                                                                                         | Y-N              |
|                | Markasit       | $\text{FeS}_2$                                                                                                                                         | N                |
|                | Sfalerit       | $(\text{Zn}, \text{Fe})\text{S}$                                                                                                                       | N                |
|                | Galenit        | $\text{PbS}$                                                                                                                                           | N                |
|                | Arsenopirit    | $\text{FeAsS}$                                                                                                                                         | N                |
| Tuzlar         | Halit          | $\text{NaCl}$                                                                                                                                          | Y-N              |
|                | Silvit         | $\text{KCl}$                                                                                                                                           | Y-N              |
|                | Fluorit        | $\text{CaF}_2$                                                                                                                                         | N                |
| Oksitler       | Kuvars         | $\text{SiO}_2$                                                                                                                                         | Y                |
|                | Rutil          | $\text{TiO}_2$                                                                                                                                         | Y                |
|                | Hematit        | $\text{Fe}_2\text{O}_3$                                                                                                                                | N                |
|                | Manyetit       | $\text{Fe}_3\text{O}_4$                                                                                                                                | N                |
| Hidroksitler   | Limonit        | $\text{FeO}(\text{OH})$                                                                                                                                | Y-N              |
|                | Götit          | $\alpha\text{-FeO}(\text{OH})$                                                                                                                         | N                |
|                | Diaspor        | $\text{AlO}(\text{OH})$                                                                                                                                | N                |
|                | Lepidokrosit   | $\beta\text{-FeO}(\text{OH})$                                                                                                                          | N                |
| Karbonatlar    | Kalsit         | $\text{CaCO}_3$                                                                                                                                        | Y                |
|                | Siderit        | $\text{FeCO}_3$                                                                                                                                        | Y                |
|                | Dolomit        | $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$                                                                                                                           | Y                |
|                | Ankerit        | $\text{Ca}(\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$                                                                                            | Y                |
|                | Aragonit       | $\text{CaCO}_3$                                                                                                                                        | N                |
| Silikatlar     | Kaolinit       | $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$                                                                                                        | Y                |
|                | Muskovit       | $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2$                                                                               | Y                |
|                | İllit-Serisit  | = muskovit                                                                                                                                             | B-Y              |
|                | Montmorillonit | $(\text{Na}, \text{Ca})_3(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$                                      | Y                |
|                | Klorit         | $(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$                                                                    | Y                |
|                | Ortoklaz       | $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$                                                                                                                             | Y                |
|                | Anortit        | $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$                                                                                                                   | Y                |
|                | Biyotit        | $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_{3-1.5}(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_{0-1.5}(\text{OH}, \text{F})_2\text{Al}_{1-1.5}\text{Si}_{3-2.5}\text{O}_{10}$ | Y                |
|                | Sanidin        | $(\text{K}, \text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$                                                                                                         | A                |
|                | Epidot         | $\text{Ca}_2\text{FeAl}_2(\text{O}/\text{OH}/\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7)$                                                                      | A                |
|                | Hornblend      | $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{+2})_3(\text{Al}, \text{Fe}^{+3})_2(\text{OH}_2/\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22})$                               | A                |
|                |                |                                                                                                                                                        |                  |
| Fosfatlar      | Flor-apatit    | $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{F}, \text{OH})$                                                                                                      | Y                |
|                | Evansit        | $\text{Al}_3\text{PO}_4(\text{OH})_6 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$                                                                                        | N                |

**Termik Santral Uçucu ve Taban Külleri:** Termik santral küllerin morfolojisi, mineralojik bileşimleri ve küllerde gözlenen minerallerin oluşumları hakkındaki bazı bilgiler, Onacak (1999) ve Türker vd. (2003)'den alınarak aşağıda özetlenmiştir. Kömürün kül içeriği, yanma sonucu arta kalan inorganik kalıntıyı gösterir. Termik santrallarda her zaman tam yanma gerçekleşmediğinden oluşan külün içinde çok az miktar da organik madde kalıntıları bulunabilmektedir.

Uçucu kül baca içine giren (0,5-150  $\mu\text{m}$ ) boyutlarındaki partikülleri içermektedir. Partiküller hem camsı küresel, hem de düzensiz şekilli olabilmektedir. Taneciklerin şekil ve büyüklük açısından farklılıkları, uçucu külün tipinden (düşük veya yüksek kireçli) kaynaklanmaktadır. Taban külü ise yanma kazanının altında biriken daha büyük (500-7000  $\mu\text{m}$ ) boyutlardaki kalıntılardan oluşmaktadır. Taban külleri düzensiz bir yapıdadır.

Uçucu küllerde camsı küresel şekilli tanecikler, içi boşluksuz küresel yapılar (katı camsı küre), boşluklu küreler (senosfer), büyük bir küre içinde küçük küreler kümesi içeren yapılar (plerosfer), yüzeyi düzensiz dağılmış şekilsiz boşluklar içeren yapılar, yüzeyinde sıvı damlacıkları bulunan yapılar, yüzeyi kristalle kaplanmış yapılar (dermosfer), deforme yapılar, yüzeyinde şekilsiz birikimler olan yapılar gibi çeşitli şekiller halinde bulunabilir.

Termik santrallarda yanma esnasında kazan alev sıcaklığı 1600 °C'yi aşabilmektedir. Kazan alevindeki yüksek sıcaklık koşulları altındaki tanecikler üzerinde bir dizi kompleks fizikokimyasal değişiklikler oluşur. Tanecikler yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisi ile çok çabuk küresel formlara dönüşebilmektedir. Ayrıca, gaz akışıyla da ergimiş malzeme kısmen veya tamamen küresel şekilli kül parçacıklarına dönüşmektedir. Oldukça küçük tane boyuna sahip olan partiküller atık gazlar ile birlikte ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{SO}_2$ , v.b.) bacadan çıkış esnasında çok kısa sürede gerçekleşen sıcaklık düşüşü nedeniyle amorf katı durumda soğurlar. Soğuma şiddeti ile taneciklerin boyutu arasında önemli bir ilişki söz konusudur. Yavaş soğuyan büyük tanecikler kristaller oluşturmakta, hızlı soğuyan küçük tanecikler ise camsı formda meydana gelmektedir.

Termik santrallarda yanma sırasındaki yüksek kazan alev sıcaklığı nedeniyle kömür içindeki pek çok mineral termal olarak bozunmakta ve yeni formlar oluşturmaktadır. Uçucu küller hakkında yapılan araştırmalara göre uçucu küllerin esas bileşimi kuvars, amorf madde (cam) ve mullitten ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ) oluşmaktadır. Uçucu küllerde en fazla gözlenen demirli mineraller hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) ve manyetittir ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Uçucu küllerdeki kalsiyumlu mineraller Anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ) ve kireçtir ( $\text{CaO}$ ). Amorf fazda ise az oranda Fe, Ca ve Mg bulunabilmektedir.

Uçucu külün mineralojik bileşimi, kömürde bulunan minerallere (kil, kuvars, pirit, alçıtaşı, karbonatlar (Ca, Mg, Fe)) ve proses koşullarına (kömür hazırlama ve yanma gibi) bağlıdır. Uçucu küller içinde bulunan mineraller, kömür içinde gözlenen minerallerin ısı dönüşümüyle oluşmaktadır. Kömür içindeki minerallerin yanma sonucu uçucu küllerde oluşturduğu mineral fraksiyonları Çizelge 5.2'de verilmiştir. Uçucu küllerde rastlanılan kuvars, termik santral yanma ürünlerinde bozunmadan kalmakta veya kömürlerdeki mika, kaolinit, klorit ve montmorillonit gibi fillosilikatlardan itibaren meydana gelmektedir. Uçucu küllerde tespit edilen demiroksitler kömürlerde yaygın olarak gözlenen demirsülfid, demirkarbonat ve demirsülfatlarla ilişkili olarak oluşmaktadır. Uçucu küllerdeki Ca ve Mg oksitler kömürlerde sık olarak gözlenen toprak alkali elementlerin oluşturduğu minerallerden kaynaklanmaktadır (Mattigod, et al., 1990). Uçucu küllerin inorganik kısmı çoğunlukla kristalen olmayan (amorf) bileşenlerden ve daha az miktarda ise kristalen bileşenlerden ibarettir.

Çoğunlukla düşük kireç içeren küller başta camsı faz ve daha az olarak da kuvars, mullit, manyetit, hematit içermekte; yüksek kireçli uçucu küller kuvars, hematit, anhidrit, serbest kireç, gehlenit, mellilit, mervinit gibi mineraller ve camsı faz içermektedir. Bu bileşenlerin yanısıra yüksek kireçli küllerde kalsit, portlandit, trisülfoalüminat ve mullit de bulunabilmektedir. Her iki külde de alkali feldispatlara rastlanmaktadır.

Çizelge 5.2. Kömürlerin yanması sonrasında oluşan major inorganik dönüşümler (Mattigod et al., 1990'dan).

| Kömür içindeki mineraller                                            | Uçucu küldeki dönüşüm ürünleri                                            |
|----------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Fillosilikatlar                                                      | Amorf madde, Mullit ( $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ), Kuvars     |
| Kuvars                                                               | Amorf madde, Kuvars ( $\text{SiO}_2$ )                                    |
| Pirit ( $\text{FeS}_2$ ), siderit ( $\text{FeCO}_3$ ), Demiroksitler | Hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), Manyetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) |
| Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ )                                           | Kireç ( $\text{CaO}$ )                                                    |
| Dolomit $\text{Ca Mg} (\text{CO}_3)_2$                               | Kireç, Periklaz ( $\text{MgO}$ )                                          |
| Jips ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )                   | Anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ )                                              |
| Ankerit $\text{Ca} (\text{Mg Fe Mn}) (\text{CO}_3)_2$                | Kalsiyum ferrit ( $\text{CaFe}_2\text{O}_4$ ), Periklaz                   |

## 5.2. Analiz Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde, tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanan kömür, uçucu kül ve taban külü örneklerinin XRD ve SEM-EDX analizleri değerlendirilmiştir. Tez kapsamında örneklerin tamamında XRD analizleri; seçilen kömür, uçucu kül ve taban külü örneklerinde SEM-EDX analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve görüntüler de bu bölümde değerlendirilmiştir.

### 5.2.1. Termik santralda yanan kömür örneklerinin mineralojisi

Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin tümünde XRD tüm kayaç ve XRD kil fraksiyonu difraktogramları yardımıyla tanımlanan mineraller Çizelge 5.3'te sunulmuştur. Aynı örneklerle ait XRD tüm kayaç ve XRD kil fraksiyonu difraktogramları ise Ek Şekil 1 - 9'da sunulmuştur.

Beslenen kömür örneklerinde X-ışınları toz difraktogramları yardımıyla amorf madde dışında, kil mineralleri, kuvars, feldispat, pirit, siderit, opal-CT ve az oranda kalsit, aragonit, ankerit, jips mineralleri saptanmıştır. Aynı kömür örneklerinde gerçekleştirilen XRD kil difraktogramları sonucunda kömürlerin kil içeriğini smektit, illit, kaolinit, klorit ve az oranda pirofillitin oluşturduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.3. Seyitömer termik santralından alınan kömürlerin, uçucu küllerin ve taban küllerinin XRD tüm kayaç ve XRD kil fraksiyonunda tanımlanan mineraller. Kısaltma:  $\pm$  = az oranda.

| Örnek No | Kömürdeki mineraller                                                                               |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 04-01    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Siderit + Pirit + Kalsit + Opal-CT + Jips                   |
| 04-04    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Pirit + Siderit + Aragonit + Jips                           |
| 04-07    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Opal-CT + Siderit + Pirit $\pm$ Kalsit $\pm$ Ankerit + Jips |
| 04-10    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Opal-CT + Pirit $\pm$ Siderit + Jips                        |
| 04-13    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Pirit + Siderit + Aragonit + Jips $\pm$ Opal-CT             |
| 04-16    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Pirit + Siderit + Opal-CT $\pm$ Aragonit + Jips             |
| 04-19    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Pirit + Siderit + Opal-CT + Jips                            |
| 04-22    | Kil Mineralleri + Kuvars + Feldispat + Pirit + Siderit + Opal-CT $\pm$ Aragonit + Jips             |
|          | <b>Kömürdeki kil fraksiyonu mineralleri</b>                                                        |
| 04-01    | Smektit + İllit + Kaolinit + Klorit $\pm$ Pirofillit                                               |
| 04-04    | Smektit + İllit + Kaolinit + Klorit $\pm$ Pirofillit                                               |
| 04-07    | Smektit + İllit + Kaolinit + Klorit $\pm$ Pirofillit                                               |
| 04-10    | Smektit + İllit + Kaolinit + Klorit $\pm$ Pirofillit                                               |
| 04-13    | Smektit + İllit + Kaolinit $\pm$ Pirofillit $\pm$ Klorit                                           |
| 04-16    | Smektit + İllit + Kaolinit + Klorit $\pm$ Pirofillit                                               |
| 04-19    | Smektit + İllit + Kaolinit + Klorit $\pm$ Pirofillit                                               |

|       |                                                                                               |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 04-22 | Smektit + İllit + Kaolinit + Klorit ± Pirofillit                                              |
|       | <b>Uçucu küllerdeki mineraller</b>                                                            |
| 04-02 | Kuvars + Feldispat + Anhidrit + Hematit + Manyetit + İllit ± Opal-CT ± Mullit                 |
| 04-05 | Kuvars + Anhidrit + Feldispat + Hematit + Manyetit + Portlandit ± Mullit                      |
| 04-08 | Kuvars + Anhidrit + Feldispat + Hematit + Manyetit + Opal-CT + İllit ± Mullit                 |
| 04-11 | Kuvars + Anhidrit + Feldispat + Hematit + Manyetit ± Tridimit ± Mullit                        |
| 04-14 | Kuvars + Anhidrit + Feldispat + Hematit + Manyetit + Pirofillit ± Opal-CT                     |
| 04-17 | Kuvars + Anhidrit + Feldispat + Hematit + Manyetit ± Mullit                                   |
| 04-20 | Kuvars + Anhidrit + Feldispat + Hematit + Manyetit + İllit + Pirofillit ± Opal-CT ± Mullit    |
| 04-23 | Kuvars + Anhidrit + Feldispat + Hematit + Manyetit + İllit + Stışovit ? ± Tridimit ± Manyetit |
|       | <b>Taban küllerindeki mineraller</b>                                                          |
| 04-03 | Kuvars + Opal-CT + Feldispat + Manyetit + Mullit + Kalsit + Jips ± Hematit ± İllit            |
| 04-06 | Kuvars + Feldispat + Tridimit + Mullit + Manyetit ± Hematit ± Kalsit                          |
| 04-09 | Kuvars + Mullit + Opal-CT + Feldispat + Manyetit + Hematit + Kalsit                           |
| 04-12 | Kuvars + Feldispat + Tridimit + Mullit + Jips + Manyetit ± Hematit ± Kalsit                   |
| 04-15 | Kuvars + Opal-CT + Feldispat + Manyetit + Mullit + Hematit + Kalsit + Jips                    |
| 04-18 | Kuvars + Feldispat + Tridimit + Mullit + Manyetit + Hematit ± Opal-CT                         |
| 04-21 | Kuvars + Opal-CT + Manyetit + Mullit + Feldispat + Hematit + Kalsit ± Jips                    |
| 04-24 | Kuvars + Feldispat + Tridimit + Mullit + Manyetit ± Kalsit                                    |

Tez kapsamında termik santralda yanan kömürlerden seçilen örneklerde (04-01, 04, 07, 10, 13, 16, 22) gerçekleştirilen SEM-EDX çalışmalarında saptanan mineraller Çizelge 5.4'te özetlenmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi, saptanan mineraller, XRD çalışmalarıyla tanımlananlara genelde benzerlik göstermektedir.



Çizelge 5.4. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerden seçilen örneklerde SEM- EDX yardımıyla saptanan mineraller.

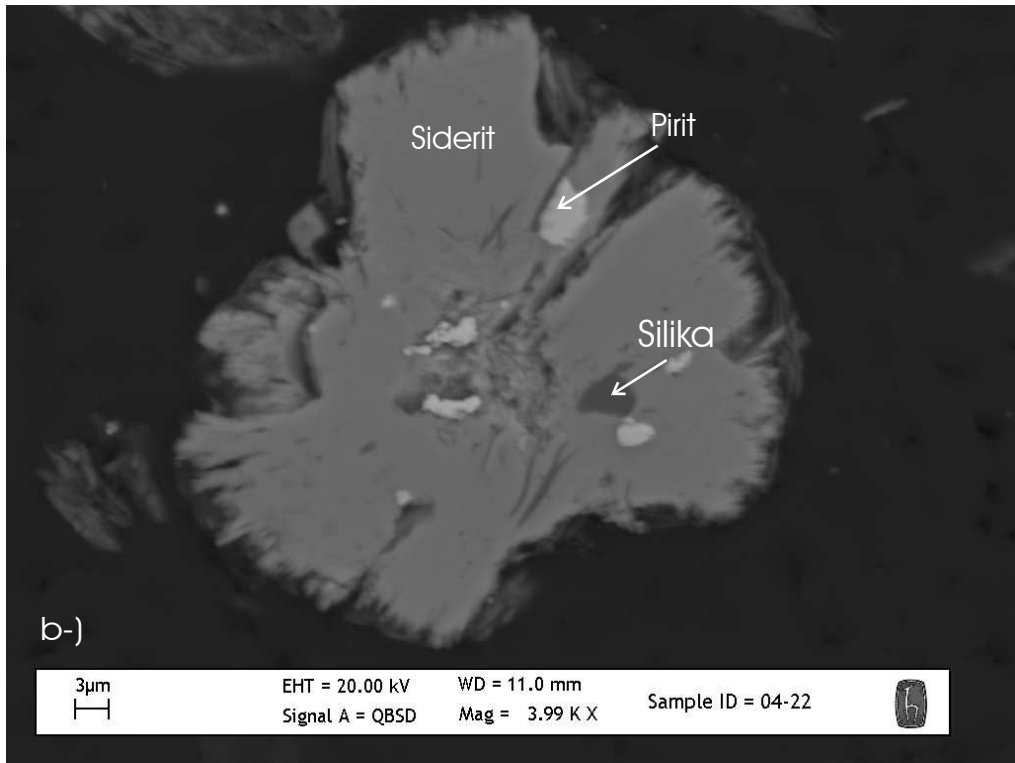
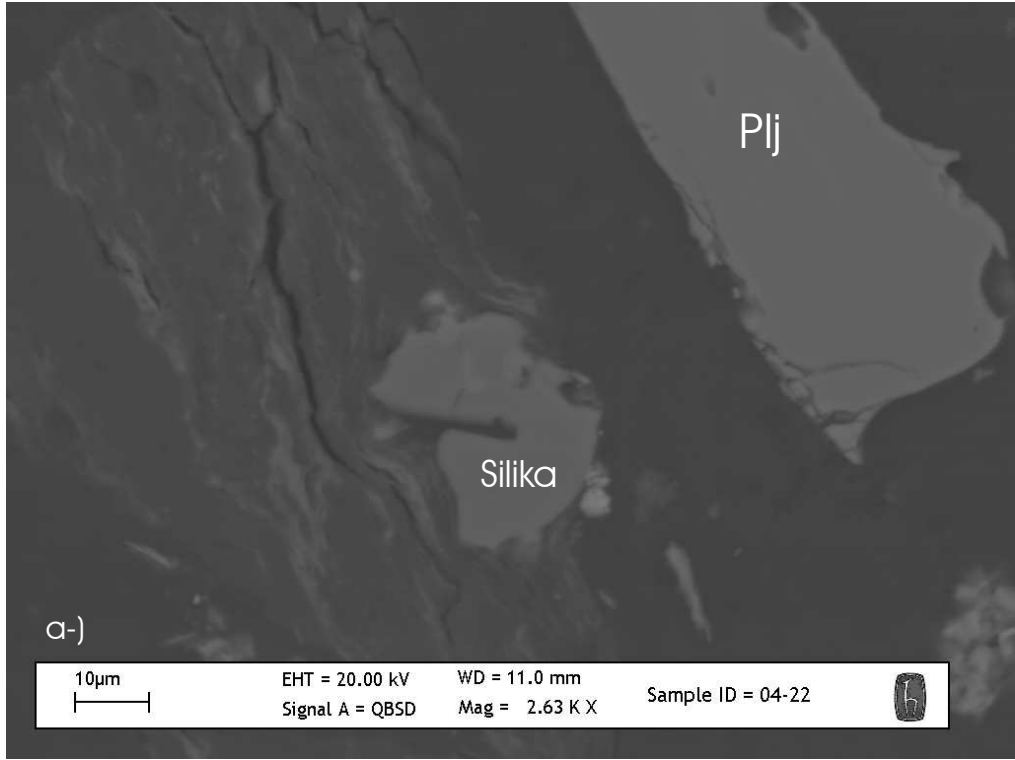
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Örnek No: 04-01</b><br><br>Silika, Na-feldispat, NaK-feldispat, plajiyoklaz, kaolinit, klorit (az oranda Ti içeriyor), illit, siderit (az oranda Ca ve Mn içeriyor), ankerit, masif pirit ve framboidal pirit, barit (az oranda Sr içeriyor), FeNi-sülfür (pentlandit), fosil kavkısı (saf CaCO <sub>3</sub> bileşimli), CaCO <sub>3</sub> (kalsit veya aragonit). |
| <b>Örnek No: 04-04</b><br><br>Silika, masif pirit ve framboidal pirit, (Ca-fosfat) apatit, barit.                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Örnek No: 04-07</b><br><br>Silika, Na-feldispat, NaK-feldispat, plajiyoklaz, illit, siderit (az oranda Ca ve Mn içeriyor), ankerit, masif pirit ve framboidal pirit, Ti-oksit (rutil), fosil kavkısı (saf CaCO <sub>3</sub> bileşimli), CaCO <sub>3</sub> (kalsit veya aragonit), FeNi-sülfür (pentlandit).                                                        |
| <b>Örnek No: 04-10</b><br><br>Silika, Na-feldispat, K-feldispat, plajiyoklaz, illit, klorit, siderit, masif pirit ve framboidal pirit, Ti-oksit (rutil), Cl-apatit.                                                                                                                                                                                                   |
| <b>Örnek No: 04-13</b><br><br>Silika, Na-feldispat, NaK-feldispat, K-feldispat, plajiyoklaz, illit, klorit, kaolinit, siderit, masif pirit ve framboidal pirit, Ca-fosfat (apatit), barit, Fe-oksit veya karbonat.                                                                                                                                                    |
| <b>Örnek No: 04-16</b><br><br>Silika, K-feldispat, piroksen, illit, kaolinit, siderit, masif pirit ve framboidal pirit, FeNi-sülfür (pentlandit).                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>Örnek No: 04-22</b><br><br>Silika, NaK-feldispat, plajiyoklaz, illit, klorit (az oranda Ti içeriyor), siderit, ankerit, masif pirit ve framboidal pirit, Ti-oksit (rutil), Cl-apatit, FeNi-sülfür (pentlandit), sfalerit, barit, fosil kavkısı (CaCO <sub>3</sub> bileşimli), CaCO <sub>3</sub> (kalsit veya aragonit).                                            |

SEM-EDX çalışmalarından elde edilen görüntüler ve açıklamaları şekil 5.1-5.2 ve geri kalanları Ek şekil 10-13'te sunulmuştur. SEM alışmaları sırasındaki gözlemler, izelge 5.4'te verilen bilgiler ışığında aşağıda özetlenmiştir.

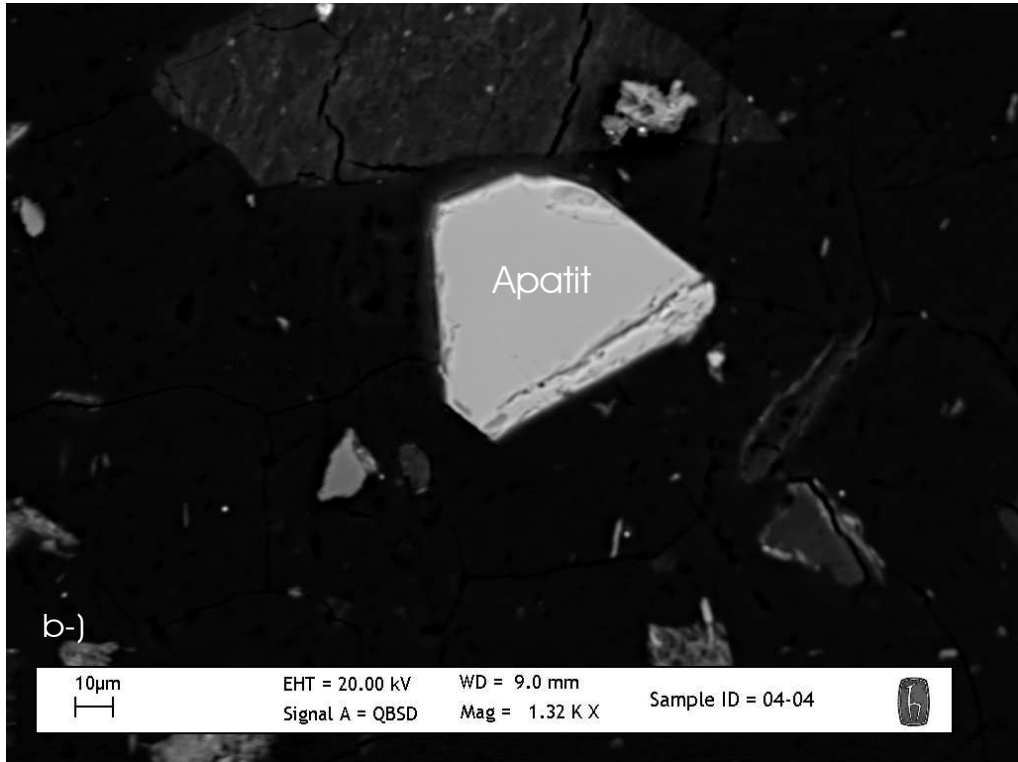
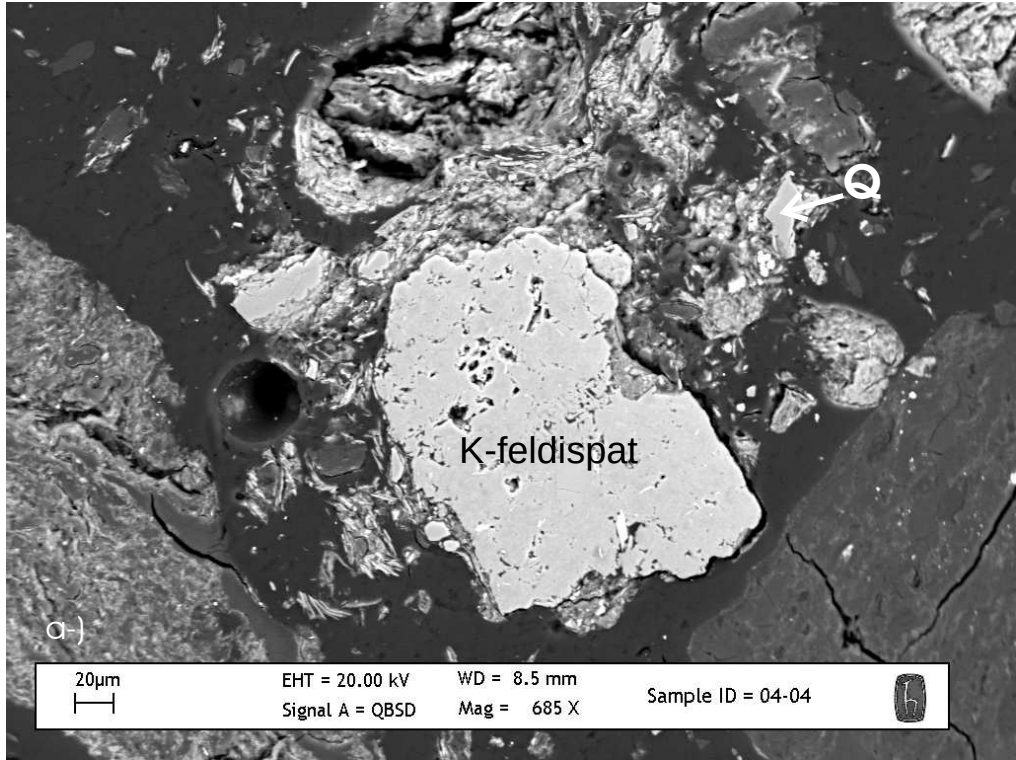
Kömür rneklerinde;

- Yaygın olarak kuvars ve feldispat minerallerine rastlanılmıştır. Özellikle plajiyoklaz ve Na-feldispatlar oldukça sık gözlenmiştir.
- Organik madde genellikle Ca ve S içermektedir.
- Tespit edilen kaolinit mineralleri az oranda K, Mg, Fe içermektedir.
- Az oranda Ti içeren klorit saptanmıştır.
- Kömür içinde masif ve framboidal piritlere rastlanmıştır. Bazı framboidal piritler Ni içermektedir.
- Fosil kavkıları saf  $\text{CaCO}_3$  bileşimlidir.
- Sideritler az oranda Ca ve Mn içermektedir.
- Örneklerin bazılarında ankeritler az oranda Mn içermektedir.
- Örneklerde sıklıkla pentlandit mineraline rastlanmıştır.
- Az oranda Sr içeren barit tespit edilmiştir.

Kömür örneklerinde plajiyoklaz ve Na-feldispatların oldukça sık gözlenmesi kömür çökelim ortamına volkanik getirimin olduğuna işaret etmektedir.



Şekil 5.1. Seyitömer termik santralinde yanan 04-22 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** Silika ve plajikloz (Plj). **b-)** Az oranda Ca içeren siderit, silika ve pirit.



Şekil 5.2. Seyitömer termik santralında yanan 04-04 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** K-feldispat ve kuvars (Q). **b-)** Ca-fosfat (apatit).

### 5.2.2. Uçucu ve taban küllerinin mineralojisi

Tez çalışması kapsamında, daha öncede açıklandığı gibi, Seyitömer termik santralından alınan uçucu küllerin ve taban küllerinin tümünde (8 adet uçucu kül, 8 adet taban külü) XRD toz difraktogramları yardımıyla tanımlanmış mineraller Çizelge 5.3'te sunulmuştur.

XRD toz difraktogramları yardımıyla uçucu kül örneklerinde amorf madde dışında kuvars, feldispat, anhidrit, hematit, manyetit ve az oranda portlandit, illit, pirofillit, stişovit ?, mullit, tridimit, opal-CT saptanmıştır (Çizelge 5.3; Ek Şekil 14 - 18). Taban külü örneklerinde ise amorf madde dışında kuvars, feldispat, manyetit, hematit ve az oranda mullit, tridimit, opal-CT, jips, kalsit tanımlanmıştır (Çizelge 5.3; Ek Şekil 19 - 23).

Uçucu kül ve taban külü örneklerinin mineralojik bileşimleri arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Uçucu kül örneklerinde kuvars, anhidrit ve feldispat miktarı taban küllerine göre daha yüksektir.

Uçucu kül ve taban küllerinde bulunan mineralleri, daha önce açıklandığı gibi, beslenen kömür içinde bulunan ve yanma sonucunda değişim göstermeyen birincil mineraller ve yanma sonucunda oluşan ikincil mineraller oluşturmaktadır. Tez çalışması kapsamında gerçekleştirilen XRD çalışmalarıyla, bu küllerde amorf maddenin (cam) en önemli kısmı oluşturduğu ortaya çıkmaktadır (Ek Şekil 14 - 23).

Uçucu ve taban külünde tanımlanan yeni oluşan (ikincil) mineraller, silikat eriyiklerinden kristalizasyonla, kısmi dehidratasyon ve katı faz reaksiyonu yoluyla oluşabilmektedir. Uçucu ve taban küllerinde saptanan anhidrit, hematit, manyetit, portlandit, mullit daha öncede açıklandığı gibi, ikincil olarak oluşmuş minerallerdir.

Taban külünde gözlenen kalsit, kömür içinde bulunan değişime uğramayan birincil ve/veya Ca-Mg-Fe oksitlerin organik maddelerden serbest hale geçen CO<sub>2</sub> ile reaksiyonu sonucu ikincil mineral olarak oluşabilmektedir. Örnekler içinde saptanan anhidritin ise, jipsin dehidratasyonu ve/veya organik maddelerden ve

piritten serbest hale geçen kükürt oksitler ve kalsiyumun reaksiyonu sonucu olduğu düşünülmektedir. Benzer durum, Vassilev and Vassileva (1996) tarafından da ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Örnekler içindeki hematit ve manyetit ise kömür içerisindeki Fe içeren minerallerden (pirit, siderit ve ankerit) olduğu düşünülmektedir.

Uçucu kül ve taban küllerinde saptanan mullitin yüksek sıcaklıkta eriyik hale gelen Si ve Al'un reaksiyonu sonucu olduğu düşünülmektedir. Portlanditin aragonitten serbest hale geçen CaO'in H<sub>2</sub>O ile reaksiyonu ile olduğu, tridimitin ise kuvarsın yanma esnasında yüksek sıcaklıklarda form değiştirmesi sonucunda olduğu düşünülmektedir.

Tez kapsamında termik santraldan alınan uçucu kül örneklerinden seçilen 4 adet örnekte (04-05, 08, 14, 17) ve taban küllerinden seçilen 2 adet örnekte (04-06 ve 04-09) gerçekleştirilen SEM-EDX çalışmalarında saptanan mineraller sırasıyla Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 5.5. Seyitömer termik santralından alınan uçucu küllerden seçilen örneklerde SEM- EDX yardımıyla saptanan mineral ve fazlar.

|                                                                                                                                                                                                |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Örnek No: 04-05</b><br>Silika, feldispat, plajiyoklaz, illit, pirit, Fe-oksit, mullit (az oranda Mg, K, Fe içeriyor), apatit, pirotin, Ti-oksit (rutil), Ni-sülfür, Ni-oksit veya karbonat. |
| <b>Örnek No: 04-08</b><br>Silika, Na-feldispat, K-feldispat, NaK-feldispat, plajiyoklaz, pirit, Fe-oksit, mullit (az oranda Mg, K, Fe içeriyor), Ti-oksit (rutil), melilit.                    |
| <b>Örnek No: 04-14</b><br>Silika, plajiyoklaz, pirit, Fe-oksit, apatit, Ti-oksit (rutil), barit, FeNi-sülfür (pentlandit), Ni-sülfür, FeCoNi-sülfür, FeCoNi-oksit veya karbonat.               |
| <b>Örnek No: 04-17</b><br>Silika, K-feldispat, illit, K <sub>2</sub> O?.                                                                                                                       |

SEM-EDX çalışmalarından elde edilen görüntüler ve açıklamaları Şekil 5.3 ve geri kalanları Ek Şekil 24–26’da sunulmuştur. SEM çalışmaları sırasındaki gözlemler, Çizelge 5.5’te verilen bilgiler ışığında aşağıda özetlenmiştir.

Uçucu kül örneklerinde;

- Yaygın olarak silika, feldispat ve Fe-oksit mineralleri tespit edilmiştir.
- Amorf madde (char) genellikle Ca ve S içermektedir.
- Örneklerdeki uçucu külleri oluşturan amorf madde, genellikle KCaFeMgAl-silikat bileşimindedir. Tespit edilen uçucu kül tanelerinin gri renkli kısımlarının Ca ve Fe içeriği düşük iken; aynı tanenin beyaz renkli gözeneksiz bölümlerinin Ca ve Fe içeriği daha yüksektir.
- Küllerde pentlandit mineraline rastlanmıştır.
- Örneklerde pirit ve pirotin bulunmaktadır.
- Tespit edilen mullitler az oranda Mg, K, Fe içermektedir.
- Uçucu kül örneklerinde apatit, melilit ve Ti-oksit rastlanmıştır.

Çizelge 5.6. Seyitömer termik santralından alınan taban küllerinden seçilen örneklerde SEM- EDX yardımıyla saptanan mineral ve fazlar.

**Örnek No: 04-06**

Silika, Fe-oksit, mullit, siderit, Ti-oksit, pirit, pirotin, FeNi-sülfür (pentlandit), FeNi-oksit veya karbonat, BaAl-silikat (selsian), MnFe-oksit.

**Örnek No: 04-09**

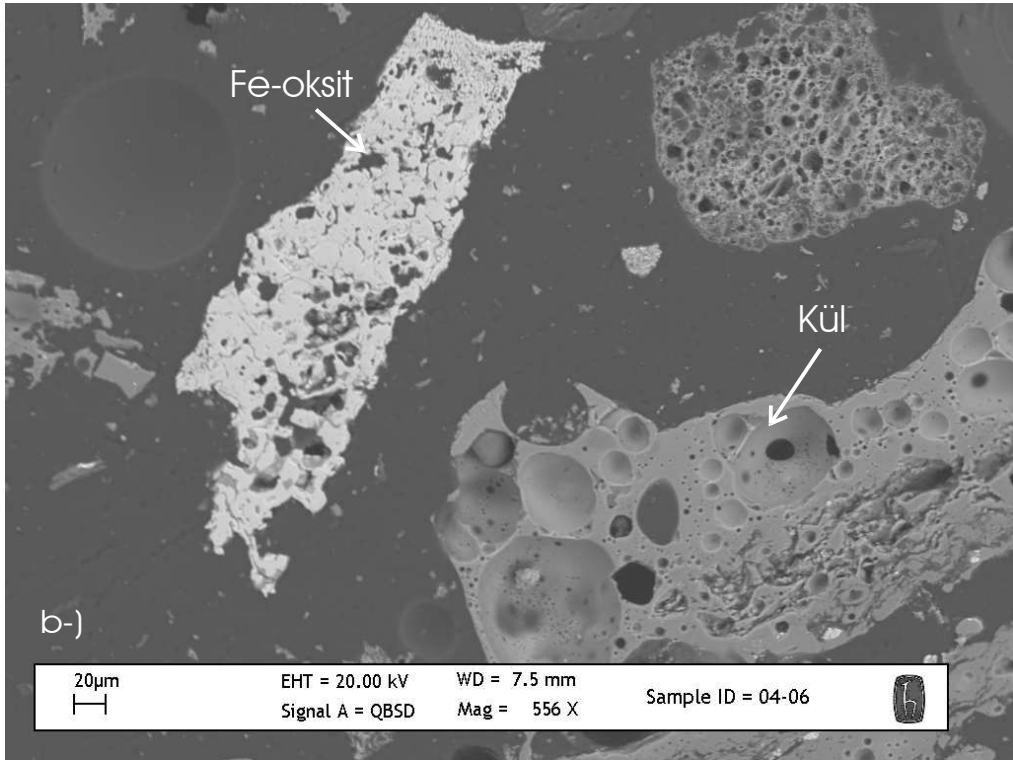
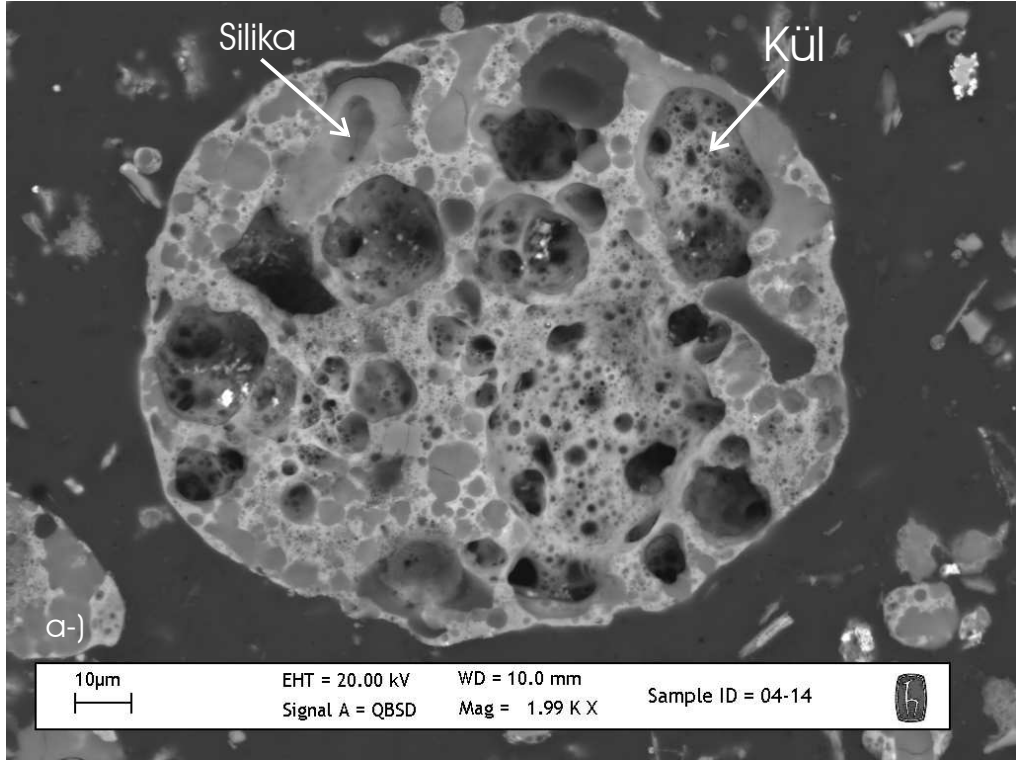
Silika, feldispat, pirit, Fe-oksit, apatit, melilit.

SEM-EDX çalışmalarından elde edilen görüntüler ve açıklamaları Şekil 5.3 ve geri kalanları Ek Şekil 27-28’ de sunulmuştur. SEM çalışmaları sırasındaki gözlemler, Çizelge 5.6’te verilen bilgiler ışığında aşağıda özetlenmiştir.

Taban külü örneklerinde;

- Yaygın olarak KNaCaAl-silikat bileşimli feldispat ve Fe-oksit tespit edilmiştir.
- Taban külünde tespit edilen kömür parçaları Ca ve S içermektedir.
- Kömürler içinde piritlere rastlanmıştır.
- Örneklerde külleri oluşturan amorf madde, genellikle KCaFeMgAl-silikat bileşimindedir. Uçucu küllerde olduğu gibi kül tanelerinin Ca ve Fe içeriği tanelerde görülen renk farklılığına göre değişim göstermektedir.
- Uçucu küllerde gözlemlendiği gibi taban külü örneklerinde de apatit, Ti-oksit, pirotin, pentlandit ve melilit minerallerine rastlanmıştır.
- Uçucu küllerden farklı olarak örneklerde siderit tespit edilmiştir.





Şekil 5.3. Seyitömer termik santralından alınan 04-14 ve 04-06 nolu uçucu kül ve taban külü örneklerinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** Kül tanesi ve silika. **b-)** NaKCaFeMgAl-silikat bileşimli kil ve Fe-oksit.

## 6. TERMİK SANTRALDA YANAN KÖMÜRLERİN, UÇUCU KÜL VE TABAN KÜLLERİNİN PETROGRAFİSİ

### 6.1. Giriş

Tez kapsamında termik santralda yanan kömürlerden alınan tüm örneklerin ve santral katı atıklarından (uçucu kül ve taban külü) alınan örneklerden seçilenlerin üstten aydınlatmalı mikroskoptaki incelemeleri bu bölümde yapılmıştır. Parlatma briketleri üzerinde maseral-minerallerin hacimce yüzde bileşenleri ve rastgele (random) hüminit yansıtımalarının ölçümü ICCP (1963, 1971, 1995) ve Stach et al. (1982)'da verilen yöntemlere göre yapılmıştır. Modal analiz için kömür parlatma briketleri üzerinde minimum 500 noktada maseral ve mineraller tanımlanmış ve sayılmıştır. Kömürlerin hüminit yansıtma değerleri için ise her örnekte 50 adet ülminit (çoğunlukla eu-ulminit ve daha az oranda tekstoülminit) maserali üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çizelge 6.1'de linyit ve alt bitümlü kömürlerdeki maseral grupları, maseralleri ile maseral tipleri; Çizelge 6.2'de tez kapsamında gerçekleştirilen modal analizle kömürlerde saptanmış maseral-minerallerin orijinal sayım sonuçları verilmiştir. Modal analiz sırasında mineraller (örneğin kil mineralleri) ile liptinit maserallerin ayrılmasında mavi ışık ve sarı filtre (K510) kullanılmıştır. Diğer taraftan, uçucu kül ve taban külü örneklerinin parlatma briketlerinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları sırasında özellikle yanmamış karbonların (char) tanımlanmasında, Oka et al. (1987) ve Unsworth et al. (1991)'da verilen bilgilerden geniş ölçüde yararlanılmıştır. Konu ile ilgili bazı bilgiler de Bulut (2004)'ta da bulunmaktadır.

Kömürler, kayalardaki minerallere eşdeğer olarak maserallerden oluşmaktadır. Bunlar, minerallerden farklı olarak çok geniş aralıkta değişen kimyasal bileşime ve organik bir kökene sahiptirler. Tezde kullanılan terimlerin daha kolay anlaşılabilmesi amacıyla maseral grubu, maseral alt grubu, maseral ve maseral tipleri, genellikle Stach et al. (1982)'da verilen bilgilerden derlenerek aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Linyit ve alt bitümlü kömürlerde maseral grupları, maseral alt grupları, maseraller ve maseral tipleri (Stach et al., 1982).

| MASERAL GRUBU | MASERAL ALT GRUBU | MASERALLER     | MASERAL TİPİ                                                   |
|---------------|-------------------|----------------|----------------------------------------------------------------|
| HÜMİNİT       | HÜMOTELİNİT       | Tekstinit      | Tekstoülminit<br>Eu-ülminit                                    |
|               |                   | Ülminit        |                                                                |
|               | HÜMODETRİNİT      | Atrinit        |                                                                |
|               |                   | Densinit       |                                                                |
|               | HÜMOKOLLİNİT      | Gelinit        | Levigelinit<br>Porigelinit<br>Filobafinit<br>Psödo-filobafinit |
|               |                   | Korpohüminit   |                                                                |
| LİPTİNİT      |                   | Sporinit       |                                                                |
|               |                   | Kütinit        |                                                                |
|               |                   | Resinit        |                                                                |
|               |                   | Süberinit      |                                                                |
|               |                   | Alginit        |                                                                |
|               |                   | Fluorinit      |                                                                |
|               |                   | Bitüminit      |                                                                |
|               |                   | Eksudatinit    |                                                                |
|               |                   | Liptodetrinit  |                                                                |
|               |                   | Sporongium     |                                                                |
| İNERTİNİT     |                   | Füsinit        |                                                                |
|               |                   | Semifüsinit    |                                                                |
|               |                   | Makrinit       |                                                                |
|               |                   | Mikrinit       |                                                                |
|               |                   | Sklerotinit    |                                                                |
|               |                   | İnertodetrinit |                                                                |

Çizelge 6.2. İncelenen kömürlerde tanımlanan maseral ve minerallerin modal analiz sonuçları.

|       | HÜMİNİT       |            |         |          |         |              | LİPTİNİT |         |               |         | İNERTİNİT |             | MİNERALLER |                  |               |               |        |
|-------|---------------|------------|---------|----------|---------|--------------|----------|---------|---------------|---------|-----------|-------------|------------|------------------|---------------|---------------|--------|
| Örnek | Tekstoülminit | Eu-ülminit | Atrinit | Densinit | Gelinit | Korpohüminit | Sporinit | Alginit | Liptodetrinit | Kütinit | Füsinit   | Sklerotinit | Pirit      | Diğer Mineraller | Karbonat Min. | Fosil Kavkısı | Toplam |
| 04-01 | 3             | 56         | 28      | 67       | 10      | 9            | 10       | 0       | 8             | 0       | 0         | 0           | 38         | 263              | 32            | 6             | 530    |
| 04-04 | 17            | 73         | 26      | 40       | 6       | 14           | 7        | 0       | 8             | 0       | 2         | 0           | 21         | 282              | 4             | 0             | 500    |
| 04-07 | 25            | 43         | 32      | 56       | 3       | 13           | 3        | 0       | 10            | 1       | 0         | 0           | 37         | 290              | 3             | 1             | 517    |
| 04-10 | 9             | 107        | 33      | 30       | 9       | 18           | 12       | 0       | 5             | 0       | 0         | 0           | 27         | 264              | 3             | 0             | 517    |
| 04-13 | 3             | 102        | 31      | 51       | 6       | 17           | 20       | 0       | 13            | 0       | 0         | 0           | 18         | 250              | 8             | 0             | 519    |
| 04-16 | 15            | 92         | 40      | 30       | 6       | 15           | 8        | 0       | 10            | 2       | 0         | 0           | 10         | 293              | 7             | 0             | 528    |
| 04-19 | 26            | 102        | 36      | 38       | 9       | 15           | 13       | 0       | 7             | 0       | 1         | 1           | 15         | 236              | 1             | 0             | 500    |
| 04-22 | 46            | 78         | 22      | 26       | 14      | 9            | 22       | 2       | 13            | 2       | 0         | 1           | 26         | 267              | 5             | 1             | 534    |

## 6.2. Kömürlerde Optik Mikroskop Çalışmaları

İncelenen kömürlerin optik mikroskop çalışmaları sonucunda saptanan maseral ve mineral bileşimlerine ait sayım sonuçları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Çizelge 6.3’de, Çizelge 6.2’de verilen değerlerden hesaplanmış hacimce yüzde değerleri ve Çizelge 6.4’de ise maseral gruplarının ve minerallerin hacimce yüzde değerleri ile maseral gruplarının mineral-maddesiz bazda hesaplanan hacimce yüzde değerleri verilmiştir. Petrografik çalışmalar sırasında kömür örneklerinde çekilen bazı önemli maseral ve minerallerin fotoğrafları Ek Şekil 29-33’te sunulmuştur. İlgili fotoğraflar üzerinde, maseral ve minerallerin gerekli açıklamaları da yapılmıştır.

Termik santralda yanan kömür örneklerinde, Çizelge 6.2-6.3’de de görüldüğü gibi, hüminit grubunda tekstoülminit, eu-ülminit, densinit, atrinit, gelinit, korpohüminit; liptinit grubunda sporinit, liptodetrinit, kütinit; inertinit grubunda füsinit ve sklerotinit tanımlanmıştır. İncelenen örneklerde tanımlanabilen mineralleri ise pirit ve diğer mineraller (örneğin karbonatlar, kil mineralleri, kuvars, feldispat, v.b.) ile fosil kavkıları oluşturmaktadır.

Termik santralda yanan kömürlerden alınan örneklerde hüminit grubuna ait maseraller içinde eu-ülminit ve densinit en önemli hacimce yüzde oluşturan maserallerdir. Liptinit grubunda sporinit ve liptodetrinit önemli hacimce yüzdeyi oluşturan maserallerdir (Çizelge 6.3).

Tez çalışması kapsamında incelenen Seyitömer termik santralında yanan kömürlerde hüminit grubu, liptinit ve inertinit grubuna ait maserallerden daha yaygındır (Çizelge 6.3 ve 6.4).

Tez kapsamında yapılan çalışmalar sırasında Seyitömer kömürlerindeki sporinitlerin floresans ışık ve K510 sarı filtrede sarı-yeşilimsi sarı renkte olduğu ve spor boşluğunun çok belirgin olarak izlendiği tespit edilmiştir.

Termik santralda yanan kömürlerin kül içeriklerinin yüksek olmasından dolayı, beklenildiği gibi mineraller, kömürlerin hacimce büyük bir kısmını oluşturmaktadır (Çizelge 6.2-6.4). Minerallerin kendi içerisinde oranına bakıldığında pirit, karbonat mineralleri ve fosil kavkılarına göre diğer mineraller (kil mineralleri, kuvars, feldispat, v.b) oldukça yüksek olarak saptanmıştır (Çizelge 6.3).

Çizelge 6.3. İncelenen kömürlerin maseral ve mineral analiz sonuçlarının hacimce yüzde değerleri.

|              | HÜMİNİT       |            |         |          |         |              | LİPTİNİT |         |               |         | İNERTİNİT |             | MİNERALLER |                  |               |               |
|--------------|---------------|------------|---------|----------|---------|--------------|----------|---------|---------------|---------|-----------|-------------|------------|------------------|---------------|---------------|
| Örnek No     | Tekstoülminit | Eu-ülminit | Atrinit | Densinit | Gelinit | Korpohüminit | Sporinit | Alginit | Liptodetrinit | Kütinit | Füsinit   | Sklerotinit | Pirit      | Diğer Mineraller | Karbonat Min. | Fosil Kavkısı |
| <b>04-01</b> | 0,6           | 10,6       | 5,3     | 12,6     | 1,9     | 1,7          | 1,9      | 0,0     | 1,5           | 0,0     | 0,0       | 0,0         | 7,2        | 49,6             | 6,0           | 1,1           |
| <b>04-04</b> | 3,4           | 14,6       | 5,2     | 8,0      | 1,2     | 2,8          | 1,4      | 0,0     | 1,6           | 0,0     | 0,4       | 0,0         | 4,2        | 56,4             | 0,8           | 0,0           |
| <b>04-07</b> | 4,8           | 8,3        | 6,2     | 10,8     | 0,6     | 2,5          | 0,6      | 0,0     | 1,9           | 0,2     | 0,0       | 0,0         | 7,2        | 56,1             | 0,6           | 0,2           |
| <b>04-10</b> | 1,7           | 20,7       | 6,4     | 5,8      | 1,7     | 3,5          | 2,3      | 0,0     | 1,0           | 0,0     | 0,0       | 0,0         | 5,2        | 51,1             | 0,6           | 0,0           |
| <b>04-13</b> | 0,6           | 19,7       | 5,9     | 9,8      | 1,2     | 3,3          | 3,8      | 0,0     | 2,5           | 0,0     | 0,0       | 0,0         | 3,5        | 48,2             | 1,5           | 0,0           |
| <b>04-16</b> | 2,8           | 17,4       | 7,6     | 5,7      | 1,1     | 2,9          | 1,5      | 0,0     | 1,9           | 0,4     | 0,0       | 0,0         | 1,9        | 55,5             | 1,3           | 0,0           |
| <b>04-19</b> | 5,2           | 20,4       | 7,2     | 7,6      | 1,8     | 3,0          | 2,6      | 0,0     | 1,4           | 0,0     | 0,2       | 0,2         | 3,0        | 47,2             | 0,2           | 0,0           |
| <b>04-22</b> | 8,6           | 14,6       | 4,1     | 4,9      | 2,6     | 1,7          | 4,1      | 0,4     | 2,4           | 0,4     | 0,0       | 0,2         | 4,9        | 50,0             | 0,9           | 0,2           |

Çizelge 6.4. İncelenen kömürlerin maseral grupları ve mineral içeriği ile mineral-maddesiz (mmf) bazda maseral gruplarının hesaplanan hacimce yüzde değerleri.

| Örnek           | % Hüminit | % Liptinit | % İnertinit | % Mineral | % Hüminit (mmf) | % Liptinit (mmf) | % İnertinit (mmf) |
|-----------------|-----------|------------|-------------|-----------|-----------------|------------------|-------------------|
| 04-01           | 32,6      | 3,4        | 0,0         | 64,0      | 90,6            | 9,4              | 0,0               |
| 04-04           | 35,2      | 3,0        | 0,4         | 61,4      | 91,2            | 7,8              | 1,0               |
| 04-07           | 33,3      | 2,7        | 0,0         | 64,0      | 92,5            | 7,5              | 0,0               |
| 04-10           | 39,8      | 3,3        | 0,0         | 56,9      | 92,4            | 7,6              | 0,0               |
| 04-13           | 40,4      | 6,4        | 0,0         | 53,2      | 86,4            | 13,6             | 0,0               |
| 04-16           | 37,5      | 3,8        | 0,0         | 58,7      | 90,8            | 9,2              | 0,0               |
| 04-19           | 45,2      | 4,0        | 0,4         | 50,4      | 91,1            | 8,1              | 0,8               |
| 04-22           | 36,5      | 7,3        | 0,2         | 56,0      | 83,0            | 16,6             | 0,4               |
| <b>ortalama</b> | 37,6      | 4,2        | 0,1         | 58,1      | 89,8            | 10,0             | 0,3               |

### 6.3. Uçucu ve Taban Küllerinde Optik Mikroskop Çalışmaları

Uçucu ve taban küllerinde gerçekleştirilen çalışmalar, daha önce belirtildiği gibi, Oka et al. (1987) ve Unsworth et al. (1991)'da verilen bilgiler esas alınarak yürütülmüştür. Uçucu ve taban küllerinde bulunan yanmamış karbonların (char) şekli, termik santralda yakılan kömürlerin kömürleşme derecesine ve kömürlerin maseral bileşimine bağlı olarak gelişmektedir. Yanmamış karbonların sınıflandırmasına ilişkin olarak kullanılan bilgiler, Çizelge 6.5'de sunulmuştur. Aşağıda sunulan bazı bilgiler, konunun anlaşılması bakımından, Oka et al. (1987) ve Unsworth et al. (1991)'dan özetlenerek alınmıştır. Daha ayrıntılı bilgiler, Bulut (2004)'da bulunmaktadır.

Çizelge 6.5. Piroliz sırasında elde edilen yanmamış karbonların (char) sınıflaması (Unsworth et al., 1991).

|          |                 |                     |
|----------|-----------------|---------------------|
| Erimiş   | Senosfer        | İnce duvarlı        |
|          |                 | Kalın duvarlı       |
|          |                 | Ağ (network) yapılı |
|          | Petek yapılı    |                     |
| Erimemiş | Mikro kırıntılı |                     |
|          | İskelet yapılı  |                     |
|          | Yanmamış blok   |                     |

Yanmamış karbonların (char) tanımlanmasında ve sınıflandırılmasında erime, birincil parametre olarak kullanılmaktadır. Mikroskop altında gözlenebilen gözeneklerin şekli ve dağılımı ise ikincil parametre olarak kullanılmaktadır. Yanma esnasında yakma koşullarına bağlı olarak kömür kırıntıları önce yumuşarlar ve akışkanlıkları artar. Yanma ilerledikçe akışkanlığı artan kömürler şişerler ve uçucu gazlar açığa çıkarlar. Bu uçucu gazların kömür içerisinden ani ayrılmaları sonucunda gözenekli yapıda yanmamış karbonlar (char) oluşur. Oluşan bu yanmamış karbonlarda gözenekli yapılar genellikle bimodal dağılım gösterir. Bu tür yanmamış karbonlar içerisinde bir veya iki tane büyük gözenek ve bunların çevresinde (hücre duvarında) daha küçük gözenekler oluşur. Gözenekleri bimodal dağılım gösteren yanmamış karbonlar (char), ince duvarlı senosfer ve kalın duvarlı senosfer olarak tanımlanmaktadır. Diğer erimiş ağ ve petek yapılı yanmamış karbonlar (char), neredeyse düzenli bir gözenek boyutuna sahiptirler. Yani, ağ yapılı yanmamış karbonlar, iyi yuvarlaklaşmış bir şekle sahip iken, petek yapılı yanmamış karbonlar daha düzensiz şekillere sahiptir. İnce duvarlı senosferden başlayarak kalın duvarlı senosfere, ağ yapılı yanmamış karbona ve petek yapılı yanmamış karbona doğru piroliz sırasında akışkanlığın azalan gelişimini göstermektedir. Yanmamış karbonlarda (char), ince duvarlı senosferlerin orijinini



vitrit (+ liptinit), kalın duvarlı senosferlerin orijinini vitrit, ağ yapılı yanmamış karbonların orijinini vitrit (+ inertinit veya + mineral) ve inertinit (+ liptinit), petek yapılı yanmamış karbonların orijinini ise inertinit oluşturmaktadır (Bulut, 2004).

Erimenin gözlenmediği yanmamış karbonlar (char) ise mikro kırıntılı, iskelet yapılı ve erimemiş blok tiplerine ayrılmaktadır (Çizelge 6.5). Bunlardan mikro kırıntılı olanların orijinini inertinitler, iskelet yapılı olanların orijinini füsinitler ve erimemiş blokların orijinini ise sklerotinit ve oksitlenmiş vitritler oluşturmaktadır.

Tez kapsamında incelenen iki adet uçucu kül ve bir adet taban külü örneklerinden hazırlanan parlatma briketlerinde gerçekleştirilen petrografik çalışmalar, bu alt bölümde değerlendirilmiştir. Uçucu kül ve taban külü örneklerinden çekilen görüntülerin bir kısmı sırasıyla Ek Şekil 34-35 ve Ek Şekil 36'da sunulmuştur. Tez kapsamında yapılan tanımlamalar, ilgili fotoğraflar üzerinde gösterilmiştir.

Parlatma briketlerinde yürütülen optik mikroskopi çalışmaları sırasında uçucu küllerde çoğunlukla yanmamış karbon (char) ve Fe-oksit saptanmıştır (Ek Şekil 34-35). Unsworth et al. (1991)'a ait char sınıflamasına göre uçucu küllerde rastlanılan yanmamış karbonların (char) daha az oranda blok yapılı oldukları; ancak daha çok ağ veya petek yapılı olarak gözlendikleri tespit edilmiştir. Sınıflamada erime, gözenek şekli ve dağılımı göz önünde bulundurulmuştur. Taban küllerinde rastlanılan tam yanmamış kömür parçalarına ise uçucu küllerde rastlanılmamıştır. Bunun, termik santraldaki yanma koşullarıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Taban küllerinde yürütülen optik mikroskopi çalışmaları sırasında yanmamış karbon (char), tam yanmamış kömür parçası ve Fe-oksit saptanmıştır (Ek Şekil 36). Unsworth et al. (1991)'a ait char sınıflamasına göre taban küllerinde rastlanılan yanmamış karbonlar (char), uçucu küllerde olduğu gibi, daha az oranda blok yapılı; daha çok oranda ise ağ veya petek yapılı olarak gözlenmiştir. Ayrıca taban küllerinde, uçucu küllere göre daha fazla oranda yanmamış karbon (char) tespit edilmiştir. Bu durum termik santraldaki yanma sırasında önemli oranda kömürün yanmadan yanma kazanın altındaki taban külüne karıştığını göstermektedir. Bu ise, daha önce de açıklandığı gibi, önemli ekonomik kayba ve olası çevresel riske neden olmaktadır.

#### 6.4. Hüminit Yansıtma Ölçümü ve Kömürleşme Derecesinin Tayini

Kömürlerdeki hüminit/vitrinit, liptinit ve inertinit maseral grupları içerisinde sadece hüminit/vitrinit grubu maseralleri, artan fiziksel ve kimyasal değişikliklere göre nispeten düzenli bir değişim göstermektedirler (Stach et al., 1982). Linyit ve alt bitümlü kömürlerde yansıtma ölçümleri, genellikle hüminit maseral grubu içinde eu-ülminit ve bazende eu-ülminitin az olması durumunda tekstoülminit maseralleri üzerinde gerçekleştirilmekte ve belirlenen ortalama değer yardımıyla kömürün rankı yani kömürleşme derecesi saptanmaktadır. Tez kapsamında da çoğunlukla eu-ülminit maseralleri ve az oranda da tekstoülminit maseralleri üzerinde, daha önce açıklandığı gibi, her örnekte 50 farklı noktada rastgele hüminit yansıtma ölçümleri yapılmıştır. Her bir örneğe ait ortalama değerler ve bunların standart sapmaları, Çizelge 6.6'da sunulmuştur.

Tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanan kömürler için hüminit yansıtma değerlerinin ortalamaları %0,29-0,31 arasında değişmektedir (Çizelge 6.6). Tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanan kömürler için hüminit yansıtma değerlerinin ortalaması 0,30 %Rr olarak saptanmıştır.

Tez kapsamında tespit edilen ortalama rastgele hüminit yansıtma değerlerine göre Seyitömer sahasından gelen kömürlerin kömürleşme derecesi, Stach et al. (1982) tarafından verilen ASTM sınıflamasına göre "liniyit" ve Alman DIN sınıflamasına göre "yumuşak kahverengi kömür" aşamasında kömürleşme derecesine sahip oldukları tespit edilmiştir. Bu veri tez kapsamında gerçekleştirilen kaba kimyasal analizlerle bulunan sonuçlarla genelde uyumluluk göstermektedir.

Çizelge 6.6. Seyitömer termik santralına ait kömürlerde ölçülen rastgele hüminit yansıtma larının herbir örnekteki ölçüm sayısı, ortalaması ve standart sapması. Kısaltmalar= n: Ölçüm sayısı, %Rr: Yüzde rastgele hüminit yansıtma larının ortalaması, s:Standart sapma.

| <b>Örnek</b>    | <b>n</b> | <b>% Rr</b> | <b>s</b> |
|-----------------|----------|-------------|----------|
| <b>04-01</b>    | 50       | 0,31        | 0,02     |
| <b>04-04</b>    | 50       | 0,31        | 0,02     |
| <b>04-07</b>    | 50       | 0,31        | 0,02     |
| <b>04-10</b>    | 50       | 0,30        | 0,02     |
| <b>04-13</b>    | 50       | 0,29        | 0,01     |
| <b>04-16</b>    | 50       | 0,31        | 0,03     |
| <b>04-19</b>    | 50       | 0,30        | 0,03     |
| <b>04-22</b>    | 50       | 0,30        | 0,02     |
| <b>ortalama</b> | 50       | 0,30        | 0,02     |

## **7. TERMİK SANTRALDA YANAN KÖMÜRLERİN, UÇUCU KÜL VE TABAN KÜLLERİNİN ELEMENT ANALİZLERİ**

### **7.1. Giriş**

Bu bölümde, termik santralda yanan kömür ve yanma sonucunda oluşan uçucu kül ve taban külü örneklerinin esas element ve bazı eser element içerikleri ile ilgili analiz sonuçları değerlendirilmiştir.

Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu kül ve taban küllerine ait toplam 24 örneğin (8 adet kömür, 8 adet uçucu kül, 8 adet taban külü), esas ve bazı eser element içerikleriyle ilgili analiz sonuçları Ek Çizelge 1 - 3'de sunulmuştur. Ayrıca, Seyitömer termik santralından alınan örneklerin element içeriklerinin, ülkemizde daha önce incelenen Soma, Çayırhan, Kangal ve Orhaneli termik santrallerinde yanan kömür, uçucu kül ve taban külleri element içerikleriyle karşılaştırılması da bu bölümde yapılmıştır.

Kömürde bulunan eser elementler, kömürleşme sırasında farklı aşamalarla kömürün bünyesine girebilmektedir. Eser elementlerin çoğu kömürdeki mineral madde ile ilişkili iken bazıları organik kökenli olabilmektedir (Finkelman, 1994). Özellikle, kömürde bulunan 25 adet element, çevre ve sağlık açısından duyarlı elementler olarak değerlendirilmektedir. Bu elementler ve kömürde bulunuş şekilleri Çizelge 7.1'de sunulmuştur. Çizelgede, koyu tonda gösterilen elementler, 1990 Amerika Temiz Hava Kanununa göre, potansiyel tehlikeli hava kirleticiler (HAPs) olarak belirlenmiştir. Daha önce de bahsedildiği gibi, kömür kullanımı nedeniyle, çok sayıda çevresel sorunlar ile insan sağlığına yönelik problemler ortaya çıkmaktadır. Bu problemlerin çoğu, kömürün yanması sonucunda hareketli hale geçen potansiyel toksik elementlerden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, termik santrallardan kaynaklanan tehlikeli hava kirleticilerin (HAPs) kömürdeki ve yanma sonucunda oluşan katı atıklardaki (uçucu kül ve taban külü) konsantrasyonları son derece önemlidir (Finkelman and Gross, 1999).

Çizelge 7.1. Kömürlerde rastlanılan, çevre ve sağlık açısından duyarlı 25 element ve kömürde bulunuş şekilleri (Finkelman and Gross, 1999).

| ELEMENT         | BULUNUŞ ŞEKLİ                                                              |
|-----------------|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>Antimon</b>  | Organik madde, pirit ve nadiren sülfidler                                  |
| <b>Arsenik</b>  | Pirit                                                                      |
| <b>Berilyum</b> | Organik madde                                                              |
| <b>Civa</b>     | Pirit                                                                      |
| <b>Flor</b>     | Çeşitli mineraller                                                         |
| <b>Kadmiyum</b> | Sfalerit                                                                   |
| <b>Klor</b>     | Gözenek suyunda klor iyonlarında veya maseraller üzerinde adsorbe şeklinde |
| <b>Kobalt</b>   | Değişken birliktelik                                                       |
| <b>Krom</b>     | Organik madde, illit ve kromit                                             |
| <b>Kurşun</b>   | Galen                                                                      |
| <b>Mangan</b>   | Siderit ve ankerit                                                         |
| <b>Nikel</b>    | Değişken birliktelik                                                       |
| <b>Selenyum</b> | Organik madde, pirit ve nadiren selenit                                    |
| <b>Uranyum</b>  | Organik madde, zirkon ve silikatlar                                        |
| Bakır           | Kalkopirit ve pirit                                                        |
| Baryum          | Barit ve baryum içeren diğer mineraller                                    |
| Bor             | Organik madde                                                              |
| Çinko           | Sfalerit                                                                   |
| Fosfor          | Fosfatlar                                                                  |
| Gümüş           | Sülfidler                                                                  |
| Kalay           | Oksitler ve sülfidler                                                      |
| Molibden        | Nadiren sülfidler ve organik madde                                         |
| Talyum          | Pirit                                                                      |
| Toryum          | Monazit, zenotim, zirkon ve kil mineralleri                                |
| Vanadyum        | Kil mineralleri ve organik madde                                           |

## 7.2. Termik Santralda Yanan Kömürlerin Element Konsantrasyonları

Tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanan kömür örnekleri ile yanma sonucunda oluşan uçucu ve taban küllerinin esas element ve bazı eser element içeriklerinin sınır ve ortalama değerleri Ek Çizelge 1 - 3'den hesaplanarak Çizelge 7.2'de sunulmuştur. Ayrıca aynı çizelgede Swaine (1990)'den derlenen dünya kömürlerinin element sınır değerleri de gösterilmiştir.

Çizelge 7.2. Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu kül ve taban küllerinin bazı esas ve eser element sınır değerleri ve ortalama değerleri. Not: Aksi belirtilmedikçe değerler ppm'dir.

| Örnek / Element | Yanan Kömür     |        |                                     | Uçucu Kül        |        | Taban Külü       |        |
|-----------------|-----------------|--------|-------------------------------------|------------------|--------|------------------|--------|
|                 | Sınır Değeri    | Ort.   | Dünya kömürleri, Swaine (1990), ppm | Sınır Değeri     | Ort.   | Sınır Değeri     | Ort.   |
| % Al            | 3,39 - 4,98     | 4,41   | -                                   | 8,41 - 10,27     | 9,54   | 6,60 - 8,57      | 7,92   |
| % Ca            | 0,99 - 2,29     | 1,34   | -                                   | 2,26 - 5,72      | 3,00   | 1,77 - 4,82      | 2,43   |
| % Fe            | 2,68 - 4,17     | 3,21   | -                                   | 6,69 - 7,99      | 7,18   | 5,85 - 7,42      | 6,50   |
| % K             | 0,75 - 0,97     | 0,86   | -                                   | 1,67 - 2,06      | 1,84   | 1,02 - 1,27      | 1,16   |
| % Mg            | 0,97 - 1,32     | 1,10   | -                                   | 2,07 - 2,39      | 2,23   | 1,99 - 2,26      | 2,09   |
| % Na            | 0,21 - 0,31     | 0,25   | -                                   | 0,45 - 0,60      | 0,53   | 0,31 - 0,42      | 0,36   |
| % S             | 1,24 - 2,29     | 1,58   | -                                   | 0,41 - 1,00      | 0,58   | 0,54 - 1,15      | 0,78   |
| P               | 200 - 400       | 300    | 10 - 3000                           | 0,05 - 0,08      | 0,06   | 0,04 - 0,06      | 0,04   |
| Ti              | 1600 - 2500     | 2100   | 10 - 2000                           | 0,40 - 0,50      | 0,47   | 0,30 - 0,43      | 0,38   |
| As              | 12,68 - 30,53   | 19,94  | 0,5 - 80                            | 36,22 - 77,14    | 61,55  | 16,24 - 30,78    | 23,45  |
| B               | 28,73 - 70,54   | 49,61  | 5 - 400                             | 72,03 - 194,85   | 120,93 | 44,79 - 125,32   | 71,05  |
| Ba              | 339,28 - 423,21 | 392,18 | 20 - 1000                           | 872,10 - 1095,47 | 988,03 | 484,83 - 568,52  | 530,52 |
| Be              | 0,00 - 0,00     | 0,00   | 0,1 - 15                            | 0,00 - 1,16      | 0,50   | 0,00 - 0,00      | 0,00   |
| Bi              | 0,92 - 1,32     | 1,07   | 2 - 20                              | 0,85 - 1,74      | 1,33   | 0,58 - 0,92      | 0,74   |
| Cd              | 0,00 - 0,72     | 0,17   | 0,1 - 3                             | 0,63 - 1,24      | 0,92   | 0,00 - 1,00      | 0,12   |
| Cl              | 24,80-33,60     | 28,28  | 50-2000                             | 16,10-30,00      | 21,31  | 30,40-78,60      | 54,09  |
| Co              | 15,69 - 21,99   | 18,45  | 0,5 - 30                            | 38,22 - 46,02    | 42,37  | 39,26 - 46,84    | 42,32  |
| Cr              | 126,79 - 221,63 | 182,93 | 0,5 - 60                            | 353,39 - 430,71  | 394,46 | 314,00 - 457,85  | 409,06 |
| Cs              | 4,12 - 5,88     | 5,00   | 0,3 - 5                             | 9,61 - 12,30     | 10,91  | 6,61 - 9,25      | 7,93   |
| Cu              | 27,16 - 50,15   | 39,16  | 0,5 - 50                            | 70,97 - 102,33   | 85,04  | 62,04 - 80,13    | 71,98  |
| Ga              | 6,56 - 10,01    | 8,29   | 1 - 20                              | 17,04 - 21,98    | 18,74  | 13,69 - 15,93    | 14,30  |
| Ge              | 0,00 - 1,42     | 0,51   | 0,5 - 50                            | 1,24 - 3,65      | 2,49   | 0,00 - 1,23      | 0,77   |
| Hf              | 0,54 - 1,32     | 0,88   | 0,4 - 5                             | 1,30 - 2,49      | 1,90   | 0,86 - 2,24      | 1,71   |
| Hg              | 0,227-0,278     | 0,246  | 0,02 - 1,00                         | 0,092-0,391      | 0,294  | 0,004-0,037      | 0,018  |
| Li              | 2,23 - 10,53    | 5,89   | 1 - 80                              | 14,88 - 30,08    | 21,41  | 7,94 - 21,48     | 12,38  |
| Mn              | 220,17 - 901,93 | 347,62 | 5 - 300                             | 610,91 - 1582,68 | 859,60 | 404,64 - 1363,37 | 632,60 |
| Mo              | 2,61 - 3,44     | 3,10   | 0,1 - 10                            | 7,04 - 13,14     | 9,13   | 4,76 - 7,49      | 5,60   |
| Nb              | 2,76 - 6,99     | 4,89   | 1 - 20                              | 4,77 - 15,82     | 11,49  | 7,55 - 12,44     | 11,24  |
| Ni              | 321,84 - 489,25 | 422,85 | 0,5 - 50                            | 821,84 - 1072,33 | 975,87 | 855,67 - 1057,89 | 968,33 |
| Pb              | 20,42 - 34,58   | 26,47  | 2 - 80                              | 52,58 - 92,83    | 76,85  | 16,14 - 25,19    | 20,32  |

Çizelge 7.2. devam ediyor. Not: ortalama değerler <sup>a</sup>= 2 örnekte, <sup>b</sup>= 4 örnekte, <sup>c</sup>= 7 örnekte, <sup>d</sup>= 6 örnekte, <sup>e</sup>= 5 örnekte hesaplanmıştır. bdl=Dedeksiyon limitinin altında.

| Örnek / Element | Yanan Kömür    |                   |                                     | Uçucu Kül       |                   | Taban Külü      |                   |
|-----------------|----------------|-------------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
|                 | Sınır Değeri   | Ort.              | Dünya kömürleri, Swaine (1990), ppm | Sınır Değeri    | Ort.              | Sınır Değeri    | Ort.              |
| Rb              | 29,15 - 44,44  | 37,39             | 2 - 50                              | 74,36 - 100,11  | 86,35             | 49,61 - 63,20   | 57,65             |
| Sb              | 0,26 - 1,49    | 0,76              | 0,1 - 10                            | 1,76 - 4,04     | 2,72              | 0,85 - 2,35     | 1,22              |
| Sc              | 4,88 - 8,53    | 6,71              | 1 - 10                              | 13,32 - 18,73   | 16,51             | 10,87 - 15,79   | 14,16             |
| Se              | 0,78-0,91      | 0,85              | 0,2 - 10                            | 0,00 - 0,00     | 0,00              | 0,00 - 0,00     | 0,00              |
| Sn              | 0,84 - 2,53    | 1,72              | 1 - 10                              | 2,86 - 4,75     | 3,61              | 1,33 - 3,02     | 1,95              |
| Sr              | 74,38 - 103,09 | 85,82             | 15 - 500                            | 182,67 - 228,45 | 208,39            | 145,01 - 177,38 | 158,44            |
| Ta              | bdl - 0,77     | 0,53 <sup>a</sup> | 0,1 - 1                             | bdl - 1,69      | 0,72 <sup>b</sup> | bdl - 1,02      | 0,41 <sup>c</sup> |
| Th              | 7,13- 15,94    | 9,98              | 0,5 - 10                            | 16,29 - 26,69   | 22,15             | 12,65 - 23,67   | 18,49             |
| Tl              | 0,00 - 1,98    | 0,97              | < 0,2 - 1                           | 1,24 - 2,78     | 2,15              | 0,66 - 1,79     | 1,45              |
| U               | 3,53 - 6,12    | 4,74              | 0,5 - 10                            | 6,98 - 14,12    | 10,68             | 7,36 - 10,93    | 8,99              |
| V               | 42,13 - 73,15  | 61,80             | 2 - 100                             | 130,06 - 173,91 | 152,49            | 102,35 - 135,42 | 122,90            |
| W               | bdl            | bdl               | 0,5 - 5                             | bdl - 2,19      | 0,99 <sup>d</sup> | bdl - 1,49      | 0,55 <sup>e</sup> |
| Y               | 6,35 - 8,37    | 7,22              | 2 - 50                              | 13,62 - 19,31   | 15,79             | 10,82 - 14,19   | 12,43             |
| Zn              | 42,73 - 91,31  | 61,52             | 5 - 300                             | 102,85 - 187,79 | 160,44            | 45,42 - 90,75   | 54,45             |
| Zr              | 37,01 - 69,25  | 59,27             | 5 - 200                             | 81,48 - 139,68  | 112,33            | 74,05 - 112,82  | 97,73             |
| La              | 13,58 - 23,73  | 17,49             | 1 - 40                              | 30,29 - 44,11   | 39,81             | 23,73 - 34,15   | 30,25             |
| Ce              | 23,64 - 40,91  | 30,58             | 2 - 70                              | 54,84 - 78,69   | 71,09             | 41,14 - 59,15   | 52,33             |
| Pr              | 2,72 - 4,70    | 3,52              | 1 - 10                              | 6,56 - 9,20     | 8,24              | 4,97 - 6,80     | 6,01              |
| Nd              | 11,56 - 20,36  | 16,31             | 3 - 30                              | 29,94 - 39,72   | 36,00             | 21,05 - 29,69   | 26,67             |
| Sm              | 1,41 - 2,27    | 1,91              | 0,5 - 6                             | 3,67 - 5,58     | 4,70              | 3,14 - 3,91     | 3,49              |
| Eu              | 0,00 - 0,00    | 0,00              | 0,1 - 2                             | 0,90 - 1,37     | 1,17              | 0,64 - 0,99     | 0,82              |
| Gd              | 1,48 - 2,41    | 1,92              | 0,4 - 4                             | 3,69 - 6,05     | 5,17              | 3,30 - 4,45     | 3,74              |
| Tb              | 0,00 - 0,00    | 0,00              | 0,1 - 1                             | 0,00 - 0,00     | 0,00              | 0,00 - 0,00     | 0,00              |
| Dy              | 0,79 - 1,89    | 1,42              | 0,5 - 4                             | 3,28 - 4,57     | 3,93              | 1,91 - 4,55     | 3,01              |
| Ho              | 0,00 - 0,00    | 0,00              | 0,1 - 2                             | 0,00 - 0,00     | 0,00              | 0,00 - 0,00     | 0,00              |
| Er              | 0,00 - 0,81    | 0,18              | 0,5 - 3                             | 1,16 - 2,06     | 1,56              | 0,58 - 1,28     | 1,06              |
| Tm              | 0,00 - 0,00    | 0,00              | 0,5 - 3                             | 0,00 - 0,00     | 0,00              | 0,00 - 0,00     | 0,00              |
| Yb              | 0,00 - 1,06    | 0,30              | 0,3 - 3                             | 1,47 - 2,43     | 1,74              | 0,81 - 1,84     | 1,21              |
| Lu              | 0,00 - 0,00    | 0,00              | 0,03 - 1                            | 0,00 - 0,00     | 0,00              | 0,00 - 0,00     | 0,00              |

Tez çalışması, Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin ortalama değerlere göre önemli esas element bileşimlerini Al, Fe, Ca, Mg ve K'un oluşturduğunu göstermektedir (Çizelge 7.2). Element konsantrasyonlarına ait ortalama değerlerin çoğu, Swaine (1990) tarafından verilen dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerleri arasındadır. Ancak, incelenen örneklerde Ti, Mn ve özellikle Cr ve Ni ortalama değerleri dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerlerini aşmaktadır (Çizelge 7.2). Ayrıca Th ve Cs ortalama değerleri maksimum sınır değerlerine oldukça yakın tespit edilmiştir. Bilindiği gibi, bu elementlerden Cr, Ni ve Mn potansiyel tehlikeli hava kirletici elementler arasında yer almaktadır.

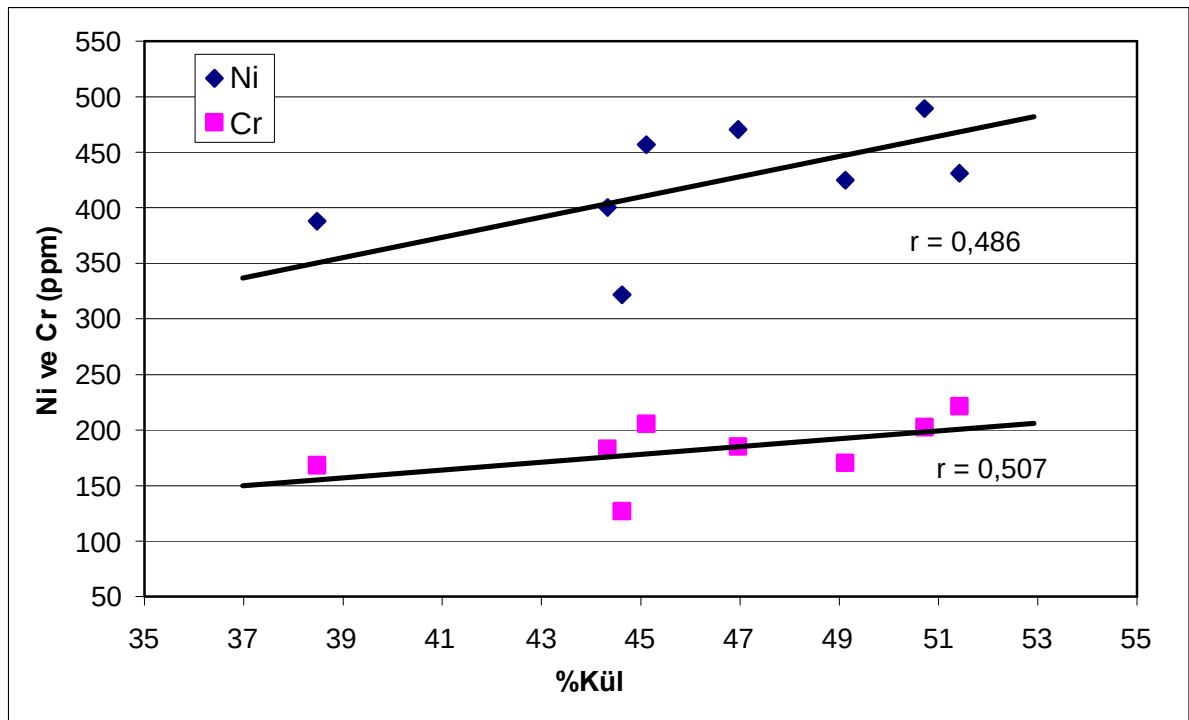
Tez kapsamında incelenen örneklerde yüksek konsantrasyonlarda tespit edilen Ti, Mn, Cr ve Ni, Karayiğit et al. (2000) tarafından da Seyitömer termik santralına ait 1 adet beslenen kömür örneğinde yapılan analizlerde dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerlerini aşmaktadır. Tuncalı vd. (2002) tarafından Seyitömer havzasındaki bölgelere ait birer adet kömür örneğinde yapılan analizlere göre de, ortalama Cr ve Ni konsantrasyonları dünya kömürlerine ait sınır değerlerini aşmaktadır.

Finkelman and Gross (1999) tarafından kömürlerde Cr'un organik madde, illit ve kromitlerde bulunduğu belirtilmiştir. Karayiğit et al. (2000) tarafından yapılan çalışmalar kapsamında kromun coğrafik açıdan birbirine yakın termik santrallar olan Seyitömer, Tunçbilek, Orhaneli termik santrallarına beslenen kömürlerde Swaine (1990) tarafından verilen maksimum sınır değerine oldukça üzerinde konsantrasyona sahip olduğu gözlenmiştir. Kromun, özellikle Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek, Orhaneli kömürlerinde önemli oranda zenginleştiği tespit edilmiştir. Yazarlar, linyit havzaları çevrelerinde (örneğin Kütahya ve Bursa) serpantinleşmiş ofiyolitik kayalar içinde işletilen krom cevherleşmelerinin bulunması ve kromit içeren serpantinleşmiş tanelerin kömür çökelim ortamına taşınması sonucu bu kömürlerde Cr zenginleşmesine neden olduğu belirtilmiştir.

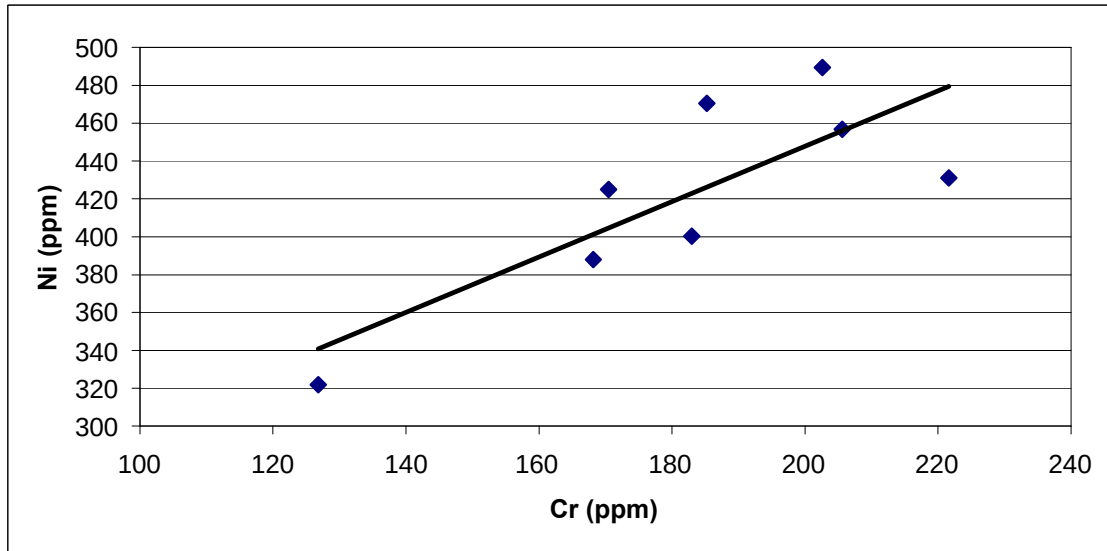
Tez kapsamında incelenen kömür örneklerindeki yüksek Ni içeriğinin, organik maddeyle ilişkili veya mineral açısından daha çok SEM-EDX çalışmaları sırasında rastlanan pentlandit  $((Fe,Ni)_9S_8)$ , daha az oranda Ni içerikli framboidal piritlerle ilişkili olduğu saptanmıştır.



İncelenen örneklerde zenginleşme gösteren Cr ve Ni, hem kül içeriği ile ve hem de kendi aralarında pozitif doğrusal ilişki göstermektedir (Şekil 7.1 ve 7.2). Kül içeriği genellikle esas ve çok az oranda da eser element içeriği ile ilgilidir. Genel olarak kül içeriğiyle önemli pozitif ilişki gösteren elementler inorganik, negatif korelasyona sahip olanlar ise organik birlikteliği ifade etmektedir. Örneklerde Cr ve Ni'nin örneklerin kül içeriği ile önemli pozitif korelasyona sahip olması, Cr ve Ni'nin incelenen örneklerde daha çok inorganik birlikteliğine işaret etmektedir (Şekil 7.1). İncelenen örneklerde pentlandit gibi Ni içeren minerallerin SEM-EDX çalışmalarıyla saptanması bunu desteklemektedir.



Şekil 7.1. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin Cr ve Ni içeriklerinin kül içerikleriyle karşılaştırılması.



Şekil 7.2. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin Cr ve Ni konsantrasyonlarının karşılaştırılması.

Kömürlerde yüksek oranda tespit edilen Mn ise SEM-EDX çalışmalarıyla da tespit edilen siderit ve ankerit mineralleri ile ilişkili olabilir.

Swaine (1990)'e göre kömürleşme derecesi düşük linyitlerde titanyum organik madde, rutil, anataz ve kil minerallerinden kaynaklanmaktadır. Seyitömer termik santralından alınan kömürlerde yüksek oranda tespit edilen titanyum ise kil mineralleri ve Ti-oksit (rutil) ile ilişkili olabilir.

Tez kapsamında incelenen kömürlerin element içeriklerinin Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santralında yanan kömürlerin element içerikleriyle karşılaştırılabilmesi için önceki çalışmalardan bu veriler derlenip Çizelge 7.3'de sunulmuştur. Çizelge 7.3'deki Orhaneli verileri Esenlik (2005)'ten, Soma verileri Vassilev et al. (2005)'dan , Çayırhan verileri Onacak (1999)'dan ve Kangal verileri Karayiğit (2002)'den derlenmiştir.

Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santrallerinde yanan kömürlere göre Fe, K, Bi, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sc ve Th içerikleri daha yüksektir. Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin Ca, As, B, Be, Cd, Ge, Hf, Li, Nb, Sb, Sr, Ta, U, Y ve bazı nadir toprak element (Eu, Tb, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) içerikleri diğer termik santralarda yanan kömürlere göre düşük değerlerdedir.

Çizelge 7.3. Seyitömer, Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santrallerinde yanan kömürlerin ortalama element içerikleri. Not: Aksi belirtilmedikçe değerler ppm'dir.

| Örnek | Yanan Kömür |          |       |          |        |
|-------|-------------|----------|-------|----------|--------|
|       | Seyitömer   | Orhaneli | Soma  | Çayırhan | Kangal |
| % Al  | 4,4         | 4,3      | 4,9   | 3,3      | 2,6    |
| % Ca  | 1,3         | 8,5      | 7,7   | 4,3      | 9,6    |
| % Fe  | 3,2         | 2,2      | 1,4   | 3,1      | 1,3    |
| % K   | 0,9         | 0,6      | 0,5   | 0,8      | 0,4    |
| % Mg  | 1,1         | 0,7      | 0,4   | 1,3      | 0,7    |
| % Na  | 0,2         | 0,2      | 0,2   | 0,2      | 0,2    |
| % P   | 0,03        | 0,03     | 0,05  | 0,10     | 0,05   |
| % S   | 1,6         | 2,2      | 1,0   | -        | -      |
| % Ti  | 0,2         | 0,1      | 0,2   | 0,2      | 0,2    |
| As    | 19,9        | 30,5     | 37,0  | 48,0     | 71,0   |
| B     | 49,6        | 107,6    | 324,0 | 244,0    | 67,0   |
| Ba    | 392,2       | 463,0    | 282,0 | 241,0    | 205,0  |
| Be    | 0,0         | 1,3      | 1,6   | 1,7      | 0,7    |
| Bi    | 1,1         | 0,3      | 0,5   | 0,4      | 0,2    |
| Cd    | 0,2         | 0,3      | 2,0   | -        | 0,4    |
| Co    | 18,5        | 11,0     | 7,0   | 9,5      | 6,7    |
| Cr    | 182,9       | 66,6     | 53,0  | 108,0    | 83,0   |
| Cs    | 5,0         | 8,0      | 10,0  | 3,1      | 20,0   |
| Cu    | 39,2        | 25,4     | 27,0  | 23,0     | 18,0   |
| Ga    | 8,3         | 10,0     | 11,0  | 6,6      | 6,8    |
| Ge    | 0,5         | 1,1      | 2,0   | 3,3      | 0,7    |
| Hf    | 0,9         | 1,2      | 1,9   | -        | -      |
| Li    | 5,9         | 36,3     | 89,0  | 11,0     | 32,0   |
| Mn    | 347,6       | 263,4    | 168,0 | 223,0    | 140,0  |
| Mo    | 3,1         | 1,2      | 2,0   | 6,1      | 101,0  |
| Nb    | 4,9         | 5,0      | 9,0   | 12,0     | 6,2    |
| Ni    | 422,9       | 137,2    | 36,0  | 188,0    | 97,0   |
| Pb    | 26,5        | 24,3     | 25,0  | 24,0     | 20,0   |
| Rb    | 37,4        | 39,0     | 36,0  | 22,0     | 31,0   |
| Sb    | 0,8         | 2,0      | 1,0   | -        | 2,8    |
| Sc    | 6,7         | 4,2      | 6,0   | 4,4      | 5,6    |
| Sn    | 1,7         | 1,2      | 3,0   | 2,7      | 12,0   |
| Sr    | 85,8        | 320,0    | 154,0 | 166,0    | 606,0  |
| Ta    | 0,5         | 0,7      | 0,9   | 0,8      | 0,7    |
| Th    | 10,0        | 7,3      | 9,0   | 8,4      | 3,9    |
| Tl    | 1,0         | 0,6      | 0,6   | 0,5      | 4,9    |
| U     | 4,7         | 11,9     | 14,0  | 7,5      | 37,0   |
| V     | 61,8        | 49,3     | 133,0 | 87,0     | 219,0  |
| W     | -           | 2,1      | 1,9   | 8,8      | 1,7    |
| Y     | 7,2         | 8,4      | 17,0  | 8,1      | 7,8    |
| Zn    | 61,5        | 67,3     | 78,0  | 43,0     | 129,0  |
| Zr    | 59,3        | 41,6     | 69,0  | 170,0    | 42,0   |
| La    | 17,5        | 16,9     | 23,0  | 12,0     | 11,0   |
| Ce    | 30,6        | 32,1     | 38,0  | 23,0     | 20,0   |
| Pr    | 3,5         | 3,7      | 4,8   | 2,8      | 2,3    |
| Nd    | 16,3        | 14,7     | 19,0  | 10,0     | 8,4    |
| Sm    | 1,9         | 2,1      | 2,7   | 2,1      | 1,6    |
| Eu    | 0,0         | 0,5      | 0,7   | 0,6      | 0,5    |
| Gd    | 1,9         | 2,4      | 3,5   | 2,2      | 1,7    |
| Tb    | 0,0         | 0,3      | 0,5   | 0,4      | 0,3    |
| Dy    | 1,4         | 1,7      | 2,7   | 2,0      | 1,4    |
| Ho    | 0,0         | 0,3      | 0,6   | 0,4      | 0,3    |
| Er    | 0,2         | 0,8      | 1,4   | 1,2      | 0,8    |
| Tm    | 0,0         | 0,1      | 0,3   | 0,2      | 0,1    |
| Yb    | 0,3         | 0,8      | 1,4   | 1,2      | 0,7    |
| Lu    | 0,0         | 0,1      | 0,3   | 0,2      | 0,1    |

### 7.3. Termik Santral Uçucu ve Taban Küllerinin Element Konsantrasyonları

Tez çalışması kapsamında Seyitömer termik santralından alınan uçucu küllerin ve taban küllerinin esas ve bazı eser element konsantrasyonları, bu alt bölümde değerlendirilmiştir. Tez kapsamında analiz edilen 8 adet uçucu kül ve 8 adet taban külünün analiz sonuçları, daha önce açıklandığı gibi, Ek Çizelge 2 ve 3'te verilmiştir. Tez kapsamında değerlendirmeler yapabilmek için, Ek Çizelge 2 ve 3'ten Seyitömer termik santrali için hesaplanan sınır ve ortalama değerleri Çizelge 7.2'de sunulmuştur.

Termik santral uçucu ve taban küllerinin, önemli bileşenlerini, Ca, Al, Fe, Mg ve K oluşturmaktadırlar (Çizelge 7.2). Elementlerin uçucu ve taban küllerindeki dağılımı ise kütle-denge hesaplamaları kısmında açıklanacağından burada değinilmemiştir.

Termik santralda yanan kömürlerde olduğu gibi Seyitömer termik santralından alınan uçucu kül ve taban küllerinin element içerikleri de Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santrallarının küllerine ait literatürlerden derlenen element içerikleri ile karşılaştırılmış ve Çizelge 7.4 ve 7.5'te sunulmuştur. Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santrallarına ait literatür bilgileri kömürler için kullanılan aynı kaynaklardan derlenmiştir.

Seyitömer termik santralından alınan uçucu küllerin Ba, Co, Cr, Cu, Mn ve Ni içeriği, Soma, Çayırhan, Kangal termik santralları uçucu küllerine göre oldukça yüksek iken, Pb ve Sc içeriği ise nispeten yüksektir. Uçucu küllerin As, B, Be, Sr, W ve U içeriği ise diğer termik santrallara göre oldukça düşük değerlerdedir.

Seyitömer termik santrali taban küllerinin Cr, Cu, Li ve Ni içeriği diğer termik santral taban küllerine göre oldukça yüksek değerlerde tespit edilmişken, taban küllerinin Bi, Co, Sn ve Th içeriği ise nispeten daha yüksektir. Taban küllerinin W ve U içeriği ise diğer termik santrallara göre oldukça düşük değerlerdedir.

Çizelge 7.4. Seyitömer, Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santralleri uçucu küllerinin ortalama element içerikleri. Not: Aksi belirtilmedikçe değerler ppm'dir.

| Örnek   | Uçucu Kül |          |       |          |        |
|---------|-----------|----------|-------|----------|--------|
| Element | Seyitömer | Orhaneli | Soma  | Çayırhan | Kangal |
| % Al    | 9,5       | 9,0      | 10,8  | 6,9      | -      |
| % Ca    | 3,0       | 14,2     | 15,5  | 10,4     | 22,3   |
| % Fe    | 7,2       | 4,9      | 2,9   | 6        | -      |
| % K     | 1,8       | 1,2      | 1,0   | 1,7      | -      |
| % Mg    | 2,2       | 1,6      | 0,9   | 0,3      | 1,6    |
| % Na    | 0,5       | 0,5      | 0,3   | 0,8      | -      |
| % P     | 0,1       | 0,1      | 0,1   | 0,2      | 0,1    |
| % S     | 0,6       | 1,4      | 0,9   | -        | -      |
| % Ti    | 0,5       | 0,3      | 0,5   | 0,3      | 0,4    |
| As      | 61,5      | 156,8    | 95,0  | 94       | 143    |
| B       | 120,9     | 648,4    | 650,0 | -        | -      |
| Ba      | 988,0     | 872,9    | 617,0 | 607      | 717    |
| Be      | 0,5       | 3,7      | 3,6   | -        | -      |
| Bi      | 1,3       | 1,1      | 0,9   | 0,9      | 0,4    |
| Cd      | 0,9       | 1,0      | 3,5   | -        | 0,7    |
| Co      | 42,4      | 24,9     | 15,0  | 20       | 15     |
| Cr      | 394,5     | 203,2    | 117,0 | -        | 167    |
| Cs      | 10,9      | 19,8     | 25,0  | 6,7      | 47     |
| Cu      | 85,0      | 60,7     | 60,0  | 49       | 45     |
| Ga      | 18,7      | 25,9     | 26,0  | 13       | 16     |
| Ge      | 2,5       | 5,9      | 4,0   | 6,2      | 1,2    |
| Hf      | 1,9       | 2,7      | 4,2   | -        | -      |
| Li      | 21,4      | 78,9     | 196,0 | 24       | 77     |
| Mn      | 859,6     | 662,0    | 297,0 | 586      | 334    |
| Mo      | 9,1       | 15,7     | 2,5   | 11       | 218    |
| Nb      | 11,5      | 8,0      | 19,0  | 22       | 15     |
| Ni      | 975,9     | 335,1    | 66,0  | -        | -      |
| Pb      | 76,8      | 72,5     | 66,0  | 53       | 48     |
| Rb      | 86,3      | 89,4     | 83,0  | 49       | 75     |
| Sb      | 2,7       | 7,4      | 1,0   |          | 5,8    |
| Sc      | 16,5      | 11,2     | 14,0  | 10       | 14     |
| Sn      | 3,6       | 3,6      | 4,5   | -        | -      |
| Sr      | 208,4     | 608,5    | 324,0 | 416      | 1448   |
| Ta      | 0,1       | 0,4      | 1,5   | 1,8      | 1,6    |
| Tl      | 2,1       | 2,5      | 1,6   | 1        | 8,8    |
| V       | 152,5     | 139,4    | 291,0 | -        | -      |
| W       | 0,7       | 6,0      | 5,2   | 18       | 3,7    |
| Y       | 15,8      | 19,0     | 37,0  | 17       | 18     |
| Zn      | 160,4     | 159,1    | 148,0 | 80       | 282    |
| Zr      | 112,3     | 105,6    | 150,0 | 317      | 103    |
| La      | 39,8      | 36,0     | 54,0  | 27       | 25     |
| Ce      | 71,1      | 68,4     | 88,0  | 53       | 48     |
| Pr      | 8,2       | 7,9      | 11,1  | 6,2      | 5,5    |
| Nd      | 36,0      | 31,5     | 45,0  | 23       | 20     |
| Sm      | 4,7       | 4,5      | 6,4   | 4,8      | 3,9    |
| Eu      | 1,2       | 1,2      | 1,6   | 1,3      | 1,1    |
| Gd      | 5,2       | 5,1      | 8,0   | 4,9      | 3,9    |
| Tb      | 0,0       | 0,7      | 1,0   | 0,8      | 0,6    |
| Dy      | 3,9       | 3,8      | 5,9   | 4,5      | 3,3    |
| Ho      | 0,0       | 0,7      | 1,1   | 0,9      | 0,6    |
| Er      | 1,6       | 1,8      | 2,9   | 2,6      | 1,8    |
| Tm      | 0,0       | 0,3      | 0,5   | 0,4      | 0,3    |
| Yb      | 1,7       | 1,8      | 3,0   | 2,6      | 1,7    |
| Lu      | 0,0       | 0,3      | 0,5   | 0,4      | 0,3    |
| Th      | 22,1      | 15,9     | 22,0  | 18       | 9,2    |
| U       | 10,7      | 38,5     | 34,0  | 17       | 82     |

Çizelge 7.5. Seyitömer, Orhaneli, Soma, Çayırhan ve Kangal termik santralleri taban küllerinin ortalama element içerikleri. Not: Aksi belirtilmedikçe değerler ppm'dir.

| Örnek   | Taban Külü |          |       |          |        |
|---------|------------|----------|-------|----------|--------|
| Element | Seyitömer  | Orhaneli | Soma  | Çayırhan | Kangal |
| % Al    | 7,9        | 7,9      | 8,7   | 7,1      | -      |
| % Ca    | 2,4        | 12,2     | 14,6  | 9,8      | 18,7   |
| % Fe    | 6,5        | 4,5      | 2,9   | 5,6      | -      |
| % K     | 1,2        | 0,9      | 0,8   | 1,7      | -      |
| % Mg    | 2,1        | 1,9      | 0,8   | 2,9      | 1,6    |
| % Na    | 0,4        | 0,5      | 0,3   | 0,8      | -      |
| % P     | 0,0        | 0,1      | 0,1   | 0,2      | 0,1    |
| % S     | 0,8        | 0,4      | 0,5   | -        | -      |
| % Ti    | 0,4        | 0,3      | 0,3   | 0,3      | 0,4    |
| As      | 23,4       | 29,5     | 28,0  | 28,0     | 81,0   |
| B       | 71,0       | 361,3    | 394,0 | -        | -      |
| Ba      | 530,5      | 737,4    | 476,0 | 578,0    | 863,0  |
| Be      | 0,0        | 3,3      | 2,3   | -        | -      |
| Bi      | 0,7        | 0,1      | 0,1   | 0,5      | 0,2    |
| Cd      | 0,1        | 0,2      | 0,6   | -        | 0,5    |
| Co      | 42,3       | 23,0     | 12,0  | 19,0     | 15,0   |
| Cr      | 409,1      | 181,1    | 82,0  | -        | 177,0  |
| Cs      | 7,9        | 12,1     | 24,0  | 6,1      | 53,0   |
| Cu      | 72,0       | 48,0     | 41,0  | 50,0     | 40,0   |
| Ga      | 14,3       | 16,4     | 17,0  | 11,0     | 18,0   |
| Ge      | 0,8        | 1,5      | 2,0   | 2,4      | 1,0    |
| Hf      | 1,7        | 2,6      | 2,9   | -        | -      |
| Li      | 12,4       | 61,9     | 120,0 | 25,0     | 92,0   |
| Mn      | 632,6      | 603,6    | 349,0 | 548,0    | 350,0  |
| Mo      | 5,6        | 6,4      | 1,7   | 6,9      | 107,0  |
| Nb      | 11,2       | 6,9      | 14,0  | 21,0     | 18,0   |
| Ni      | 968,3      | 330,2    | 44,0  | -        | -      |
| Pb      | 20,3       | 22,8     | 23,0  | 37,0     | 61,0   |
| Rb      | 57,6       | 60,7     | 60,0  | 46,0     | 98,0   |
| Sb      | 1,2        | 2,0      | 0,6   | -        | 4,3    |
| Sc      | 14,2       | 10,0     | 13,0  | 10,0     | 15,0   |
| Sn      | 1,9        | 0,7      | 1,4   | -        | -      |
| Sr      | 158,4      | 598,4    | 274,0 | 422,0    | 944,0  |
| Ta      | 0,3        | 0,3      | 0,9   | 1,7      | 1,7    |
| Tl      | 1,5        | 0,6      | 0,7   | 0,4      | 6,2    |
| V       | 122,9      | 123,4    | 223,0 | -        | -      |
| W       | 0,2        | 3,6      | 2,0   | 12,0     | 5,2    |
| Y       | 12,4       | 17,8     | 29,0  | 17,0     | 18,0   |
| Zn      | 54,5       | 68,0     | 79,0  | 60,0     | 317,0  |
| Zr      | 97,7       | 99,9     | 106,0 | 323,0    | 100,0  |
| La      | 30,3       | 31,7     | 40,0  | 25,0     | 28,0   |
| Ce      | 52,3       | 59,2     | 65,0  | 49,0     | 51,0   |
| Pr      | 6,0        | 6,8      | 8,6   | 5,8      | 5,8    |
| Nd      | 26,7       | 27,4     | 32,0  | 22,0     | 21,0   |
| Sm      | 3,5        | 4,0      | 4,8   | 4,4      | 3,9    |
| Eu      | 0,8        | 1,0      | 1,3   | 1,3      | 1,2    |
| Gd      | 3,7        | 4,5      | 6,1   | 4,6      | 4,1    |
| Tb      | 0,0        | 0,6      | 1,0   | 0,7      | 0,6    |
| Dy      | 3,0        | 3,4      | 4,5   | 4,3      | 3,3    |
| Ho      | 0,0        | 0,6      | 1,0   | 0,8      | 0,6    |
| Er      | 1,1        | 1,7      | 2,3   | 2,5      | 1,8    |
| Tm      | 0,0        | 0,3      | 0,4   | 0,4      | 0,3    |
| Yb      | 1,2        | 1,7      | 2,2   | 2,4      | 1,7    |
| Lu      | 0,0        | 0,3      | 0,4   | 0,4      | 0,3    |
| Th      | 18,5       | 13,9     | 15,0  | 18,0     | 9,5    |
| U       | 9,0        | 38,7     | 19,0  | 16,0     | 50,0   |

#### 7.4. Kütle-Denge Hesaplamaları

Esas ve eser elementlerin termik santral uçucu kül ve taban küllerindeki davranışlarını daha iyi izleyebilmek için kütle denge hesaplamaları yapılmıştır. Bu amaçla, Karayiğit et al. (in press)' da açıklanan bazı formüller kullanılarak elementler için denge faktörü (BF) ve toplam zenginleşme faktörü ( $EF_1$ ) hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan formüller:

$$\text{Denge faktörü (BF)} = ((C_{FA} \times K_1 + C_{BA} \times K_2 - C_{FCA}) / C_{FCA}) \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Zenginleşme faktörü (EF)} = ([C]_S / [Al]_S) / ([C]_{FC} / [Al]_{FC}) \quad (2)$$

$$\text{Toplam zenginleşme faktörü (EF}_T\text{)} = (E_{FA} \times 0.8) + (E_{BA} \times 0.2) \quad (3)$$

Denge faktörü (BF) formül (1)'den hesaplanmıştır.  $C_{FA}$  uçucu küldeki element konsantrasyonu (kül bazında);  $C_{BA}$  taban küldeki element konsantrasyonu (kül bazında);  $C_{FCA}$  beslenen kömürdeki element konsantrasyonu (kül bazında);  $K_1$  (0,8) ve  $K_2$  (0,2) Seyitömer termik santrali uçucu kül ve taban külü üretimi arasındaki oranı gösteren katsayılarıdır. Ayrıca kömür, uçucu kül ve taban külündeki esas ve eser elementlerin konsantrasyonları uçucu olmayan element olan aliminyuma göre normalize edilmiştir. Bunu için kullanılan zenginleşme faktörü (EF) formülünde,  $[C]_S$  ve  $[C]_{FC}$  element X'in uçucu kül veya taban külündeki konsantrasyonları ve kömürdeki konsantrasyonunu;  $[Al]_S$  ve  $[Al]_{FC}$  ise, aliminyumun uçucu kül veya taban külündeki konsantrasyonları ve kömürdeki konsantrasyonunu ifade etmektedir (2). Termik santraldaki uçucu kül ve taban külü üretimi arasındaki oran 4:1 olup, toplam zenginleşme faktörü ( $EF_1$ ) ise (3) nolu formülden hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmada, elementlerin uçucu külde ve taban külündeki zenginleşmelerini belirten  $EF_{FA}$  ve  $EF_{BA}$  oranları da hesaplanmıştır.

Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, Çizelge 7.6'da sunulmuştur. Tez kapsamında yapılan analizlerde bazı örneklerde Be, Se, Ta, W ve bazı nadir toprak elementlerinin (Eu, Tb, Ho, Tm, Lu) içeriği ICP-MS'in dedeksiyon limiti altında olduğu için değerlendirme dışında tutulmuştur.

Hesaplamalara göre, S, Bi, Cl ve Hg için çok önemli oranlarda negatif denge faktörü tespit edilmiştir ( $BF \leq - \%20$ ). Aynı elementler için hesaplanan zenginleşme faktörü ( $EF_1$ )  $\leq 0,8$  olarak bulunmuştur. Buna göre, Seyitömer termik santralında beslenen kömürün yanması sırasında S, Bi, Cl ve Hg çok yüksek uçuculuk davranışı göstermekte, yanma sonucu santraldan atmosfere deşarj olmaktadır. Bu termik santralda S'ün tutulması amacıyla desülfirizasyon tesisi (baca gazı arıtma tesisi) bulunmamaktadır. Tez kapsamında uçuculuk davranışı gösterdiği tespit edilen S ve Hg Karayiğit et al. (in press)'a göre de yüksek uçuculuk özelliği gösteren elementler olarak belirlenmiştir. Ayrıca Meij (1994)'e göre de Cl ve Hg elementleri uçuculuk davranışı göstermektedir.

Hesaplamalara göre As, Cd, Ge, Li, Mo, Sb, Dy, Er, Yb için yüksek pozitif denge faktörü ( $BF \geq \%20$ ) belirlenmiştir. As, Cd, Ge, Li, Mo, Sb, Dy, Er, Gd, Yb için hesaplanan zenginleşme faktörü ( $EF_1$ )  $\geq 1,2$  olarak bulunmuştur. Buna göre, kullanılan iki yöntemle de bu elementlerin Seyitömer termik santralında yanma sonucunda oluşan katı atıklarda kalma davranışı gösterdiği ortaya çıkmaktadır. Tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanma sonucunda oluşan küllerde kalma davranışı gösterdiği tespit edilen As, Cd, Mo, Sb, Meij (1994)'e göre de kül taneleri üzerinde yoğunlaşma özelliği göstermektedir.

Ayrıca elementlerin uçucu külde ve taban külündeki zenginleşmelerini belirten  $EF_{FA}$  ve  $EF_{BA}$  oranları da hesaplanmıştır. Buna göre:

- a) Uçucu külde zenginleşen elementler ( $EF_{FA} / EF_{BA}$  konsantrasyon oranı  $\geq 1,2$ ) As, B, Ba, Bi, Cd, Er, Ge, Hg, K, Li, Mo, Na, Pb, Rb, Sb, Sn, Tl, Yb, Zn'dir. Tez kapsamında Seyitömer termik santralında saptandığı gibi, Karayiğit et al. (in press) tarafından da As, B, Bi, Cd, Ge, Hg, Pb, Sb, Sn, Tl, Zn elementlerinin uçucu külde zenginleştiği tespit edilmiştir.
- b) Taban külünde zenginleşen elementler ( $EF_{FA} / EF_{BA}$  konsantrasyon oranı  $\leq 0,8$ ) S, Co, Cr, Nb, Ni'dir. Tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanan kömürlerde özellikle Cr ve Ni'in ortalama değerleri dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerlerini aşmaktadır. Kütle-denge hesaplamaları bu kömürlerin aynı termik santralda yakılması sonucu Cr ve Ni'in yanma



sırasında atmosfere deşarj olmadığını ve taban külünde zenginleştüğünü göstermektedir.

- c)  $EF_{FA} / EF_{BA}$  konsantrasyon oranı 0,9-1,1 arasında olan geriye kalan elementlerin ise, uçucu küller ve taban külleri arasındaki dağılımı için net bir ayırım yapılamamaktadır.

Çizelge 7.6. Seyitömer termik santralından alınan kömür, uçucu kül ve taban küllerinin kütle denge hesaplamaları. Tüm değerler kül bazındadır, aksi belirtilmedikçe ppm'dir. Kısaltmalar: BF=Denge faktörü,  $EF_{FA}$ =Uçucu küldeki zenginleşme faktörü,  $EF_{BA}$ =Taban külündeki zenginleşme faktörü,  $EF_1$ =Toplam zenginleşme faktörü.

| Element | Yanan Kömür | Uçucu Kül | Taban Külü | BF    | $EF_{FA}$ | $EF_{BA}$ | $EF_{FA}/EF_{BA}$ | $EF_1$ |
|---------|-------------|-----------|------------|-------|-----------|-----------|-------------------|--------|
| Al %    | 9,5         | 9,5       | 7,9        | -3,2  | 1,0       | 1,0       | 1,0               | 1,0    |
| Ca %    | 2,9         | 3         | 2,4        | -0,3  | 1,0       | 1,0       | 1,0               | 1,0    |
| Fe %    | 6,9         | 7,2       | 6,5        | 1,6   | 1,0       | 1,1       | 0,9               | 1,1    |
| K %     | 1,9         | 1,8       | 1,2        | -8,6  | 1,0       | 0,7       | 1,3               | 0,9    |
| Mg %    | 2,4         | 2,2       | 2,1        | -7,6  | 0,9       | 1,1       | 0,9               | 1,0    |
| Mn %    | 0,1         | 0,1       | 0,1        | 8,4   | 1,1       | 1,0       | 1,1               | 1,1    |
| Na %    | 0,5         | 0,5       | 0,4        | -5,8  | 1,0       | 0,8       | 1,2               | 1,0    |
| P %     | 0,1         | 0,1       | 0,04       | -5,2  | 1,0       | 0,9       | 1,1               | 1,0    |
| S %     | 3,4         | 0,6       | 0,8        | -81,9 | 0,2       | 0,3       | 0,6               | 0,2    |
| Ti %    | 0,5         | 0,5       | 0,4        | -2,9  | 1,0       | 1,0       | 1,0               | 1,0    |
| As      | 43,1        | 61,5      | 23,4       | 25,2  | 1,4       | 0,7       | 2,2               | 1,3    |
| B       | 107,1       | 120,9     | 71         | 3,6   | 1,1       | 0,8       | 1,4               | 1,1    |
| Ba      | 847,0       | 988       | 530,5      | 5,8   | 1,2       | 0,8       | 1,5               | 1,1    |
| Bi      | 2,3         | 1,3       | 0,7        | -47,4 | 0,6       | 0,4       | 1,5               | 0,5    |
| Cd      | 0,4         | 0,9       | 0,1        | 106,5 | 2,5       | 0,4       | 6,1               | 2,1    |
| Cl      | 61,1        | 21,31     | 54,09      | -54,4 | 0,3       | 1,1       | 0,3               | 0,5    |
| Co      | 39,9        | 42,4      | 42,3       | 6,3   | 1,1       | 1,3       | 0,8               | 1,1    |
| Cr      | 395,1       | 394,5     | 409,1      | 0,6   | 1,0       | 1,2       | 0,8               | 1,0    |
| Cs      | 10,8        | 10,9      | 7,9        | -4,5  | 1,0       | 0,9       | 1,1               | 1,0    |
| Cu      | 84,6        | 85,0      | 72         | -2,5  | 1,0       | 1,0       | 1,0               | 1,0    |
| Ga      | 17,9        | 18,7      | 14,3       | -0,3  | 1,0       | 1,0       | 1,1               | 1,0    |
| Ge      | 1,1         | 2,5       | 0,8        | 95,1  | 2,3       | 0,8       | 2,7               | 2,0    |
| Hf      | 1,9         | 1,9       | 1,7        | -2,5  | 1,0       | 1,1       | 0,9               | 1,0    |
| Hg      | 0,531       | 0,294     | 0,018      | -55,1 | 0,6       | 0,0       | 13,5              | 0,4    |
| Li      | 12,7        | 21,4      | 12,4       | 54,1  | 1,7       | 1,2       | 1,4               | 1,6    |
| Mo      | 6,7         | 9,1       | 5,6        | 25,9  | 1,4       | 1,0       | 1,4               | 1,3    |
| Nb      | 10,6        | 11,5      | 11,2       | 8,2   | 1,1       | 1,3       | 0,8               | 1,1    |
| Ni      | 913,3       | 975,9     | 968,3      | 6,7   | 1,1       | 1,3       | 0,8               | 1,1    |
| Pb      | 57,2        | 76,8      | 20,3       | 14,6  | 1,3       | 0,4       | 3,1               | 1,2    |
| Rb      | 80,8        | 86,3      | 57,6       | -0,2  | 1,1       | 0,9       | 1,2               | 1,0    |
| Sb      | 1,6         | 2,7       | 1,2        | 46,7  | 1,6       | 0,9       | 1,9               | 1,5    |
| Sc      | 14,5        | 16,5      | 14,2       | 10,8  | 1,1       | 1,2       | 1,0               | 1,1    |
| Sn      | 3,7         | 3,6       | 1,9        | -12,1 | 1,0       | 0,6       | 1,5               | 0,9    |
| Sr      | 185,4       | 208,4     | 158,4      | 7,0   | 1,1       | 1,0       | 1,1               | 1,1    |
| Tl      | 2,1         | 2,1       | 1,5        | -4,4  | 1,0       | 0,8       | 1,2               | 1,0    |
| U       | 10,2        | 10,7      | 9,0        | 1,0   | 1,0       | 1,1       | 1,0               | 1,0    |
| V       | 133,5       | 152,5     | 122,9      | 9,8   | 1,1       | 1,1       | 1,0               | 1,1    |
| Y       | 15,6        | 15,8      | 12,4       | -3,1  | 1,0       | 1,0       | 1,1               | 1,0    |
| Zn      | 132,9       | 160,4     | 54,5       | 4,8   | 1,2       | 0,5       | 2,4               | 1,1    |
| Zr      | 128,0       | 112,3     | 97,7       | -14,5 | 0,9       | 0,9       | 1,0               | 0,9    |
| La      | 37,8        | 39,8      | 30,3       | 0,3   | 1,1       | 1,0       | 1,1               | 1,0    |
| Ce      | 66,0        | 71,1      | 52,3       | 2,0   | 1,1       | 1,0       | 1,1               | 1,0    |
| Pr      | 7,6         | 8,2       | 6          | 2,4   | 1,1       | 1,0       | 1,1               | 1,1    |
| Nd      | 35,2        | 36        | 26,7       | -3,1  | 1,0       | 0,9       | 1,1               | 1,0    |
| Sm      | 4,1         | 4,7       | 3,5        | 8,1   | 1,1       | 1,0       | 1,1               | 1,1    |
| Gd      | 4,1         | 5,2       | 3,7        | 17,8  | 1,2       | 1,1       | 1,1               | 1,2    |
| Dy      | 3,1         | 3,9       | 3          | 21,7  | 1,3       | 1,2       | 1,1               | 1,3    |
| Er      | 0,4         | 1,6       | 1,1        | 282,3 | 4,1       | 3,3       | 1,2               | 3,9    |
| Yb      | 0,7         | 1,7       | 1,2        | 150,3 | 2,7       | 2,2       | 1,2               | 2,6    |

## 8. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez çalışması kapsamında elde edilen genel sonuçlar ile gerekli görülen bazı öneriler aşağıda sunulmuştur.

### 8.1. Genel Sonuçlar

**a)** Tez çalışması kapsamında, tezin amacına uygun olarak Seyitömer termik santralında beslenen/yanan kömür ve yanma sonucu oluşan katı atıklardan (uçucu kül ve taban külü) 8 hafta boyunca örnekleme yapılmış ve 8 adet kömür, 8 adet uçucu kül, 8 taban külü olmak üzere toplam 24 örnek derlenmiş ve çalışma amacı kapsamında incelenmiştir.

**b)** Tez kapsamında termik santralda yanan kömürlerin laboratuvara getirildiği durumda toplam nem içeriklerinin ortalamaları %31,87 olarak saptanmıştır. Havada kurutulmuş kömür bazında ortalama uçucu madde içerikleri %29,91, kül içerikleri %46,35, toplam kükürt içerikleri %1,62, alt ısı değeri 2663 kcal/kg olarak tespit edilmiştir. Santraldan alınan uçucu ve taban külü örneklerinin toplam kül içerikleri, beklenildiği gibi, yüksek olarak saptanmıştır. Santraldan alınan uçucu ve taban küllerinin kül içerikleri sırasıyla %96,57 ve %85,89 olarak belirlenmiştir. Taban küllerinin, uçucu küllere göre nispeten düşük kül içermesi, taban küllerinde yanmamış/kısmen yanmış kömür kırıntılarının çok daha fazla miktarda bulunmasından kaynaklanmaktadır.

**c)** Tez kapsamında Seyitömer termik santralından alınan uçucu kül ve taban küllerinin tane boyu analizleri gerçekleştirilmiştir. Taban küllerinin uçucu küllere göre daha iri taneli olduğu ve tane boyunun daha geniş bir aralıkta dağılım gösterdiği saptanmıştır.

**d)** Tez kapsamında XRD ve SEM-EDX çalışmalarıyla termik santralda yanan kömürlerin, uçucu kül ve taban küllerinin mineralojisi incelenmiştir. XRD yardımıyla kömürlerde, amorf madde dışında, kil mineralleri (smektit, illit, kaolinit, klorit ve az oranda pirofillit) kuvars, feldispat, pirit, siderit, opal-CT ve az oranda kalsit, aragonit, ankerit, jips saptanmıştır. Uçucu ve taban küllerinde ise amorf maddenin

(cam) en önemli kısmı oluşturduğu saptanmıştır. Uçucu kül örneklerinin XRD toz difraktogramlarında amorf madde dışında kuvars, feldispat, anhidrit, hematit, manyetit ve az oranda portlandit, illit, pirofillit, stişovit?, mullit, tridimit, opal-CT saptanmıştır. Taban külü örneklerinde ise amorf madde dışında kuvars, feldispat, manyetit, hematit ve az oranda mullit, tridimit, opal-CT, jips, kalsit tanımlanmıştır. Uçucu kül ve taban külü örneklerinin mineralojik bileşimleri arasında önemli farklılıklar görülmektedir. Uçucu kül örneklerinde kuvars, anhidrit ve feldispat miktarı taban küllerine göre daha yüksektir. Termik santralda yanan kömürlerde, SEM-EDX çalışmalarında, XRD çalışmalarına ilave olarak, FeNi-sülfür (pentlandit), rutil, apatit, barit ve sfalerit tespit edilmiştir. Uçucu küllerde, SEM-EDX çalışmalarında, XRD çalışmalarına ilave olarak, FeNi-sülfür (pentlandit), rutil, apatit, barit, melilit ve yanmamış karbon (char) saptanmıştır. Taban küllerinde ise FeNi-sülfür (pentlandit), siderit, rutil, apatit, melilit, selsian ve yanmamış karbon (char) tespit edilmiştir.

**e)** Termik santralda yanan kömürlerden alınan örneklerde yürütülen petrografi çalışmalarında hüminit grubu, liptinit ve inertinit grubuna göre daha yaygın olarak bulunmuştur. Uçucu kül örneğinde yürütülen optik mikroskopi çalışmalarında çoğunlukla yanmamış karbon (char), Fe-oksit saptanmıştır. Taban külü örneğinde yürütülen optik mikroskopi çalışmalarında ise yanmamış karbon (char), tam yanmamış kömür parçası, Fe-oksit saptanmıştır. Taban küllerinde yanmamış/kısmen yanmış kömür kırıntılılarına rastlanması, termik santraldaki yanma sırasında önemli oranda kömürün yanmadan yanma kazanın altındaki taban külüne karıştığını göstermektedir.

**f)** Tez kapsamında Seyitömer termik santralında yanan kömürler için hüminit yansıtma değerlerinin ortalaması 0,30 %Rr olarak saptanmıştır. Ortalama rastgele hüminit yansıtma değerlerine göre Seyitömer sahasından gelen kömürlerin kömürleşme derecesi, Stach et al. (1982) tarafından verilen ASTM sınıflamasına göre “linyit” ve Alman DIN sınıflamasına göre “yumuşak kahverengi kömür” aşamasında kömürleşme derecesine sahip oldukları tespit edilmiştir.

**g)** Tez çalışması, Seyitömer termik santralında yanan kömürlerin ortalama değerlere göre önemli esas element bileşimlerini Al, Fe, Ca, Mg ve K’un

oluşturduğunu göstermektedir. Element konsantrasyonlarına ait ortalama değerlerin çoğu, Swaine (1990) tarafından verilen dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerleri arasındadır. Ancak, incelenen örneklerde Ti, Mn ve özellikle Cr ve Ni'in ortalama değerleri dünyadaki çoğu kömüre ait sınır değerlerini aşmaktadır. Ayrıca Th ve Cs ortalama değerleri sınır değerlerine oldukça yakın tespit edilmiştir. Bilindiği gibi, bu elementlerden Cr, Ni ve Mn potansiyel tehlikeli hava kirletici elementler arasında yer almaktadır.

**h)** Termik santral uçucu ve taban küllerinin önemli bileşenlerini, Ca, Al, Fe, Mg ve K oluşturmaktadır. Kütle-denge hesaplamaları sonucunda, S, Bi, Cl ve Hg'nin yanma sırasında uçuculuk özelliği gösterdiği ve yanma sonucu santraldan deşarj olabileceği ortaya çıkmaktadır. Tez çalışması, As, B, Ba, Bi, Cd, Er, Ge, Hg, K, Li, Mo, Na, Pb, Rb, Sb, Sn, Tl, Yb, Zn önemli oranda uçucu külde zenginleştiğini göstermektedir. Diğer taraftan, S, Co, Cr, Nb, Ni'in ise taban külünde zenginleştiği tespit edilmiştir. Kütle-denge hesapları bu kömürlerin aynı termik santralda yakılması sonucu Cr ve Ni'in yanma sırasında atmosfere deşarj olmadığını ve külde zenginleştiğini, bu zenginleşmenin taban külünde olduğunu göstermektedir.

## **8.2. Öneriler**

**a)** Tez kapsamında da açıklandığı gibi, önemli miktarda kömür taban küleriyle birlikte atılmaktadır. Atılan bu kömürler, önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Ayrıca atılan bu yanmamış karbon, yanmamış/kısmen yanmış kömür kırıntıları gelecekte önemli çevresel risklere neden olabilecektir. Bu durumun, santral ünitelerinde yakma koşullarının iyileştirilmesiyle ilgili çalışmaların yapılmasıyla minimuma indirilebileceği düşünülmektedir.

**b)** Yapılan kütle denge hesaplamaları sonucunda Seyitömer termik santralında beslenen kömürün yanması sırasında S, Bi, Cl ve Hg'nin uçuculuk davranışı gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle başta kükürt olmak üzere termik santralin bacasından atmosfere deşarj edilen atık gazların ortaya çıkarabileceği hava kirliliğini ve özellikle toksik element konsantrasyonlarını azaltılabilmek amacıyla Seyitömer termik santralına baca gazı arıtım tesisinin kurulmasında yarar görülmektedir.

c) Seyitömer termik santralında kömürün yanması sonucunda oluşan katı atıklar santral yakınındaki kül sahasında depolanmaktadır. Bu atıklardan özellikle uçucu küller hiçbir işleme tabi tutulmadan kuru olarak biriktirilmektedir. Yağmur suları ve özellikle rüzgarın etkisiyle uçucu küller, kül sahasından uzaklaşmaktadır. Böylece uçucu küllerin bünyesinde bulunan toksik elementler, hareketli hale geçebilecek ve önemli çevresel riskler ortaya çıkarabilecektir. Bu etkilerin önlenmesi amacıyla uçucu küllerin depolama sahasından uzaklaşmasına engel olunmalıdır. Bunun için uçucu küllerin saha içerisindeki stabilizasyonun sağlanmasında veya sulu depolama sisteminin kurulmasında yarar görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASTM, 1991, Annual book of ASTM standarts, Gaseous Fuels; Coal and Coke, 1916 Race Street, Philadelphia, PA19103, 05.05, 520 p.
- Baş, H., 1986, Domaniç-Tavşanlı-Kütahya-Gediz yöresinin Tersiyer jeolojisi, Jeol. Müh. Derg., 27, 11-19.
- Bayat, O., 1998, Characterisation of Turkish fly ashes, Fuel, 77, 1059-1066.
- Beder, H.A., 1996, Seyitömer Kömür Havzasının Jeolojisi ve Rezerv Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, D.P.Ü. Fen Bilimleri Ens., Kütahya, 70 s.
- Bullock, J.H., Cathcart, J.D. and Betterton, W.J., 2002, Analytical methods utilized by the United States Geological Survey for the analysis of coal and coal combustion by-products, US.Geological Survey, Colorado, 14 p.
- Bulut, Y., 2004, Soma Termik Santralında Yanan Kömürlerin ve Katı Atıkların Mineralojisi, Petrografisi ve Element İçeriği, Manisa Türkiye, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniv. Fen Bilimleri Ens., Ankara, 202 s.
- Çancı, B., 1998, Geochemical assessment of environmental effects of fly ash from Seyitömer (Kütahya) Thermal power plant, MSc Thesis, METU, 72 p. Ankara.
- Çelik, Y. and Karayiğit, A.İ., 2004, Chemical properties and petrographic composition of the lacustrine Seyitomer lignites (Miocene), Kutahya, Turkey, Energy Sources, 26, 339-352.
- ÇEDGM, 2004, Çevresel Etki Değerlendirmesi ve Planlama Genel Müdürlüğü internet sitesi,Türkiye Çevre Atlası, <http://cedgm.gov.tr>.
- DEK-TMK, 2004, Genel Enerji Kaynakları, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi yayını, Ankara.
- DPT, 2006, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı internet sayfası, VIII. Beş Yıllık Kalkınma Planı, <http://ekutup.dpt.gov.tr>.
- Ergüt, Ş., 1994, Seyitömer Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Sinterleşme Karakterizyonu, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniv. Fen Bilimleri Ens., İstanbul, 68s.
- Esenlik, S., 2005. Orhaneli Termik Santralında yanan kömürlerin ve katı atıkların mineralojisi ve petrografisi, Bursa-Türkiye, Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Üniv. Fen Bilimleri Ens., Ankara, 121s.
- Finkelman, R.B., 1994, Modes of occurrence of potentially hazardous elements in coal: Level of confidence, Fuel Proc. Technol. 39, 21-34.

- Finkelman, R. B. and Gross, P.M.K., 1999, The types of data needed for assessing the environmental and human health impacts of coal, *Int. Journal of Coal Geology*, 40, 91-101.
- Gökmen, V., Memikoğlu, O., Dağlı, M., Öz, D. ve Tuncalı, E., 1993, Türkiye linyit envanteri, MTA yayını, 356 s.
- Goodarzi, F. and Goodarzi, N. N., 2004, Mercury in Western Canadian subbituminous coal - a weighted average study to evaluate potential mercury reduction by selective mining, *Int. Journal of Coal Geology*, ( in press).
- Groen, J. C. and Craig, J. R., 1993, The inorganic geochemistry of coal, petroleum and their gasification/combustion products, *Fuel Processing Tech.*, 40, 15-48.
- I.C.C.P., 1963, Internationales Lexikon für Kohlenpetrologie: Centre National de la Recherche Scientifique 15, Quai-Anatole-France, Paris.
- I.C.C.P., 1971, Internationales Lexikon für Kohlenpetrologie: Centre National de la Recherche Scientifique 15, Quai-Anatole-France, Paris.
- I.C.C.P., 1995, Vitrinite classification, International Commite for Coal and Organic Petrology, Aachen, 24 p.
- Karayığit, A.İ., Gayer, R.A., Querol, X., Onacak, T., 2000, Contents of major and trace elements in feed coals from Turkish coal-fired power plants, *Int. Journal of Coal Geology*, 44, 169-184.
- Karayığit, A.İ., Onacak, T., Gayer, R.A., Goldsmith, S., 2001, Mineralogy and geochemistry of feed coals and their combustion residues from the Cayirhan power plant, Ankara, Turkey, *Applied Geochemistry*, 16 (7-8), 911-919.
- Karayığit, A.İ., 2002, Sivas-Kangal termik santralına beslenen linyitlerde ve yanma sonucu oluşan katı atıklarda bazı HAPs elementlerin dağılımı ve orijini, Türkiye, TÜBİTAK, YDABÇAG-100Y006 nolu proje, 117 s.
- Karayığit, A.İ., Bulut, Y., Karayığit, G., Querol, X., Alastuey, A., Vassilev, S., Vassilev, C., Mass balance of major and trace elements in coal-fired Soma power plant, Manisa-Turkey. *Energy Sources*, in press.
- Karr, C. JR., 1979, Analytical methods for coal and coal products, Vol III, Academic Press, 641 p.
- Lebküchner, R.F, 1959, Seyitömer (Kütahya) Neojen sahasında jeoloji ve linyit yataklarıyla ilgili olarak yapılan etüdler hakkında rapor, MTA, Rapor No: 2985.
- Maucher, A., 1936, Seyitömer linyit hsvzasının raporu, MTA, Rapor No: 108.



- Mattigod, S. V., Dhanpat, R., Eary, L. E. and Ainsworth, C. C., 1990, Geochemical factor controlling the mobilization of inorganic constituents from fossil fuel combustion residues: I review of the major elements, *Journal of Environ. Qual.*, 19, 188-201.
- Meij, R., 1994, Trace element behavior in coal-fired power plants, *Fuel Processing Tech.*, 39, 199-217.
- MMO, 2003, Maden Mühendisleri Odası internet sayfası, <http://www.maden.org.tr>.
- MTA, 1986, Türkiye Linyit Envanteri, MTA yayını, 156 s, Ankara.
- Moore, D.M. and Reynolds, Jr. C.J., 1997, X-Ray diffraction and the identification and analysis of clay minerals, Oxford University Press, 378 p.
- Oka, N., Murayama, T., Matsuoka, H., Yamada, S., Yamada, T., Shinozaki, S., Shibaoka, M., and Thomas, C. G., 1987, The influence of rank and maceral composition on ignition and char burnout of pulverized coal, *Fuel Processing Tech.*, 15, 213-224.
- Onacak, T., 1999, Türkiye'deki termik santrallara beslenen kömürlerin ve yanma sonucu oluşan katı atıkların çevresel etkileri, Doktora Tezi, Hacettepe Üniv. Ankara, 188 s.
- Querol, X., Fernández-Turiel, J.L. and López-Soler, A., Durán, M.E., 1992, Trace elements in high-sulfur sub-bituminous coals of the Teruel Mining District (NE Spain), *Appl. Geochem.*, 7, 547-561.
- Pekmezçiler, S., 1953, Seyitömer linyit havzası hakkında rapor, MTA, Rapor No: 2025.
- Spears, D. A. and Zheng, Y., 1999, Geochemistry and origin of elements in some UK coals, *Int. Journal of Coal Geology*, 38, 161-179.
- Spears, D.A., 2000, Role of clay minerals in UK coal combustion, *Applied Clay Science*, 16, 87-95.
- Stach, E., Mackowsky, M.TH., Teichmüller, M., Taylor, G.H., Chandra, D., and Teichmüller, R., 1982, Stach's textbook of coal petrology, Gebrüder Borntraeger, Berlin, 535 p.
- Swaine, D. J. , 1990, Trace elements in coal, Butterwarh, London, 278 p.
- Şengüler İ. ve Sonel 1999, Seyitömer (Kütahya) bitümlü marnlarının stratigrafik özellikleri ve ekonomik önemi, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiriler Kitabı, 10-12 Mayıs, Ankara, 350-357.
- T.K.İ., 2004, Türkiye Kömür İşletmeleri Genel Müdürlüğü internet sayfası, <http://www.tki.gov.tr>.

- Tokay, M. ve Erdoğan, K., 1998, Uçucu küllerin karakterizasyonu, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, AR-GE, Y 98.3, 70 s.
- Tuncalı, E., Çiftçi, B., Yavuz, N., Toprak, S., Köker, A., Gencer, Z., Ayçık, H., Şahin, N., 2002, Türkiye Tersiyer kömürlerinin kimyasal ve teknolojik özellikleri, MTA Genel Müdürlüğü, 402 s.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., 2003, Türkiye'deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, AR-GE Enst., 76 s., Ankara.
- Unsworth, J.F., Barrat, D.J. and Roberts, P.T., 1991, Coal quality and combustion performance, an international perspective, Elsevier, 638 p.
- Vassilev, S.V. and Vassileva, C.G., 1996, Mineralogy of combustion wastes from coal-fired power stations, Fuel Proc. Technol. 47, 261-280.
- Vassilev, S.V., Vassileva, C.G., Karayigit, A.I., Bulut, Y., Alastuey, A., Querol, X., 2005, Phase-mineral and chemical composition of composite samples from feed coals, bottom ashes and fly ashes at the Soma power station, Turkey, Int. Journal of Coal Geology, 61, 35-63.
- Yağmurlu, N., İnaner, H., Nakoman, E. and İnci, U., 2004, Age, tectonic setting and quality of the Neogene lignite deposits of western Anatolia, Geologica Belgica, 7/3-4, 251-258.
- Yan, R., Gauthier, D. and Flamant, G., 2001, Volatility and chemistry of trace elements in a coal combustor, Fuel, 80, 2217-2226.
- Yanık, G., 1997, Seyitömer (Kütahya) Kömür Havzası Kallerinin Jeolojisi, Minerolojisi ve Seramik Endüstrisindeki Kullanım Olanakları. Yük. Müh. Tezi, Dumlupınar Üniv., Kütahya, 47 s.
- Yılmaz, Ş., 1992, Seyitömer Termik Santralı Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi. Yük. Müh. Tezi, İstanbul Teknik Üniv., İstanbul, 80 s.
- Yavuz, N., 1999, Seyitömer (Kütahya) Kömürlerinin Palinostratigrafisi ve Kömür Petrografisi. Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 190 s.
- Yavuz, N., 2001, Palynological Investigations of the Seyitömer Coals, Fourth International Turkish Geology Symposium, (ITGS), 24-28 September 2001, Adana, Turkey.
- Ziegler, J., 1936, Kütahya Linyit Havzası Seyitömer Kenar Mıntıkası Jeolojik Tetkikatı Hakkında Rapor, MTA, Rapor No: 110.

EKLER

Ek Çizelge 1. Seyitömer termik santralından alınan kömür örneklerinin bazı esas element ve eser element bileşimleri. Not: Aksi belirtilmedikçe değerler ppm'dir, bdl= dedeksiyon limitinin altında.

| Element/ Örnek | 04-01  | 04-04  | 04-07  | 04-10  | 04-13  | 04-16  | 04-19  | 04-22  |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| % Al           | 3,39   | 4,93   | 4,91   | 4,08   | 4,98   | 4,69   | 4,00   | 4,30   |
| % Ca           | 2,29   | 1,10   | 1,58   | 1,15   | 1,24   | 1,03   | 0,99   | 1,34   |
| % Fe           | 4,17   | 2,78   | 3,58   | 2,97   | 3,49   | 3,05   | 2,68   | 2,97   |
| % K            | 0,75   | 0,97   | 0,93   | 0,82   | 0,86   | 0,92   | 0,78   | 0,87   |
| % Mg           | 1,00   | 1,14   | 1,32   | 0,97   | 1,14   | 1,18   | 1,00   | 1,09   |
| % Na           | 0,22   | 0,23   | 0,26   | 0,25   | 0,25   | 0,31   | 0,21   | 0,23   |
| % P            | 0,04   | 0,02   | 0,04   | 0,02   | 0,03   | 0,03   | 0,02   | 0,02   |
| % S            | 2,29   | 1,56   | 1,50   | 1,70   | 1,24   | 1,25   | 1,62   | 1,48   |
| % Ti           | 0,16   | 0,23   | 0,24   | 0,22   | 0,25   | 0,22   | 0,20   | 0,21   |
| As             | 30,53  | 27,81  | 20,22  | 19,00  | 15,50  | 15,77  | 12,68  | 18,05  |
| B              | 65,66  | 70,54  | 55,86  | 67,15  | 39,71  | 31,53  | 37,70  | 28,73  |
| Ba             | 403,94 | 401,22 | 396,85 | 363,70 | 387,07 | 423,21 | 339,28 | 422,18 |
| Be             | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Bi             | 1,08   | 1,19   | 1,01   | 1,32   | 0,93   | 1,03   | 1,06   | 0,92   |
| Cd             | 0,00   | 0,00   | 0,72   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,64   | 0,00   |
| Cl             | 24,80  | 26,60  | 30,30  | 28,30  | 27,20  | 33,60  | 28,50  | 26,90  |
| Co             | 17,70  | 18,63  | 20,15  | 16,48  | 20,24  | 16,74  | 15,69  | 21,99  |
| Cr             | 126,79 | 205,61 | 202,61 | 182,96 | 221,63 | 170,43 | 168,19 | 185,22 |
| Cs             | 4,12   | 5,88   | 5,12   | 4,50   | 5,42   | 4,84   | 4,42   | 5,70   |
| Cu             | 27,16  | 48,18  | 45,03  | 50,15  | 44,38  | 32,06  | 33,75  | 32,58  |
| Ga             | 6,56   | 9,92   | 10,01  | 8,56   | 8,94   | 7,92   | 7,16   | 7,27   |
| Ge             | 0,58   | 0,57   | 0,71   | 0,00   | 0,78   | 0,00   | 1,42   | 0,00   |
| Hf             | 0,54   | 0,85   | 1,14   | 0,57   | 0,94   | 1,32   | 0,86   | 0,83   |
| Hg             | 0,234  | 0,260  | 0,278  | 0,257  | 0,247  | 0,229  | 0,235  | 0,227  |
| Li             | 4,36   | 10,53  | 9,24   | 7,12   | 8,25   | 2,85   | 2,23   | 2,54   |
| Mn             | 901,93 | 235,32 | 370,37 | 237,13 | 309,99 | 221,69 | 220,17 | 284,33 |
| Mo             | 3,30   | 3,25   | 2,61   | 3,26   | 2,68   | 3,19   | 3,44   | 3,03   |
| Nb             | 2,76   | 4,65   | 6,99   | 5,54   | 5,63   | 4,27   | 4,82   | 4,49   |
| Ni             | 321,84 | 456,79 | 489,25 | 400,25 | 431,15 | 424,99 | 388,10 | 470,45 |
| Pb             | 22,96  | 28,78  | 26,48  | 24,67  | 24,78  | 34,58  | 20,42  | 29,13  |
| Rb             | 29,15  | 43,61  | 44,44  | 33,98  | 36,82  | 36,43  | 35,76  | 38,94  |
| Sb             | 1,07   | 0,56   | 1,28   | 1,49   | 0,64   | 0,27   | 0,26   | 0,52   |
| Sc             | 4,88   | 7,75   | 7,63   | 6,39   | 8,53   | 5,76   | 6,10   | 6,62   |
| Se             | 0,81   | 0,84   | 0,84   | 0,91   | 0,78   | 0,84   | 0,87   | 0,89   |
| Sn             | 2,38   | 2,16   | 2,53   | 0,84   | 1,56   | 1,54   | 1,38   | 1,41   |
| Sr             | 86,13  | 79,65  | 92,00  | 74,38  | 87,16  | 103,09 | 75,94  | 88,22  |
| Ta             | bdl    | bdl    | 0,77   | 0,29   | bdl    | bdl    | bdl    | bdl    |
| Th             | 7,13   | 9,44   | 10,48  | 9,99   | 8,56   | 15,94  | 8,82   | 9,48   |
| Tl             | 0,00   | 0,95   | 0,91   | 1,24   | 1,47   | 0,00   | 1,23   | 1,98   |
| U              | 3,96   | 4,50   | 4,92   | 4,67   | 3,53   | 5,18   | 6,12   | 5,08   |
| V              | 42,13  | 67,06  | 63,71  | 70,95  | 73,15  | 52,47  | 69,00  | 55,96  |
| W              | bdl    | bdl    | bdl    | bdl    | bdl    | bdl    | bdl    | bdl    |
| Y              | 6,58   | 7,97   | 8,37   | 6,64   | 7,89   | 7,31   | 6,66   | 6,35   |
| Zn             | 42,73  | 91,31  | 47,78  | 79,74  | 70,77  | 56,89  | 56,34  | 46,61  |
| Zr             | 37,01  | 56,06  | 66,18  | 60,42  | 58,60  | 66,80  | 69,25  | 59,83  |
| La             | 13,58  | 16,14  | 18,87  | 15,78  | 17,74  | 23,73  | 16,60  | 17,48  |
| Ce             | 23,64  | 28,75  | 32,79  | 28,10  | 30,96  | 40,91  | 28,93  | 30,52  |
| Pr             | 2,72   | 3,62   | 3,62   | 3,45   | 3,83   | 4,70   | 3,04   | 3,21   |
| Nd             | 11,56  | 17,44  | 18,13  | 16,47  | 16,46  | 20,36  | 15,54  | 14,49  |
| Sm             | 1,59   | 1,92   | 2,19   | 2,27   | 2,18   | 1,92   | 1,41   | 1,80   |
| Eu             | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Gd             | 1,73   | 2,01   | 2,04   | 1,84   | 1,91   | 2,41   | 1,92   | 1,48   |
| Tb             | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Dy             | 0,79   | 1,69   | 1,89   | 1,25   | 1,79   | 1,53   | 1,02   | 1,44   |
| Ho             | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Er             | 0,00   | 0,00   | 0,81   | 0,00   | 0,00   | 0,60   | 0,00   | 0,00   |
| Tm             | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Yb             | 0,00   | 1,06   | 0,00   | 0,00   | 0,76   | 0,00   | 0,61   | 0,00   |
| Lu             | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   | 0,00   |

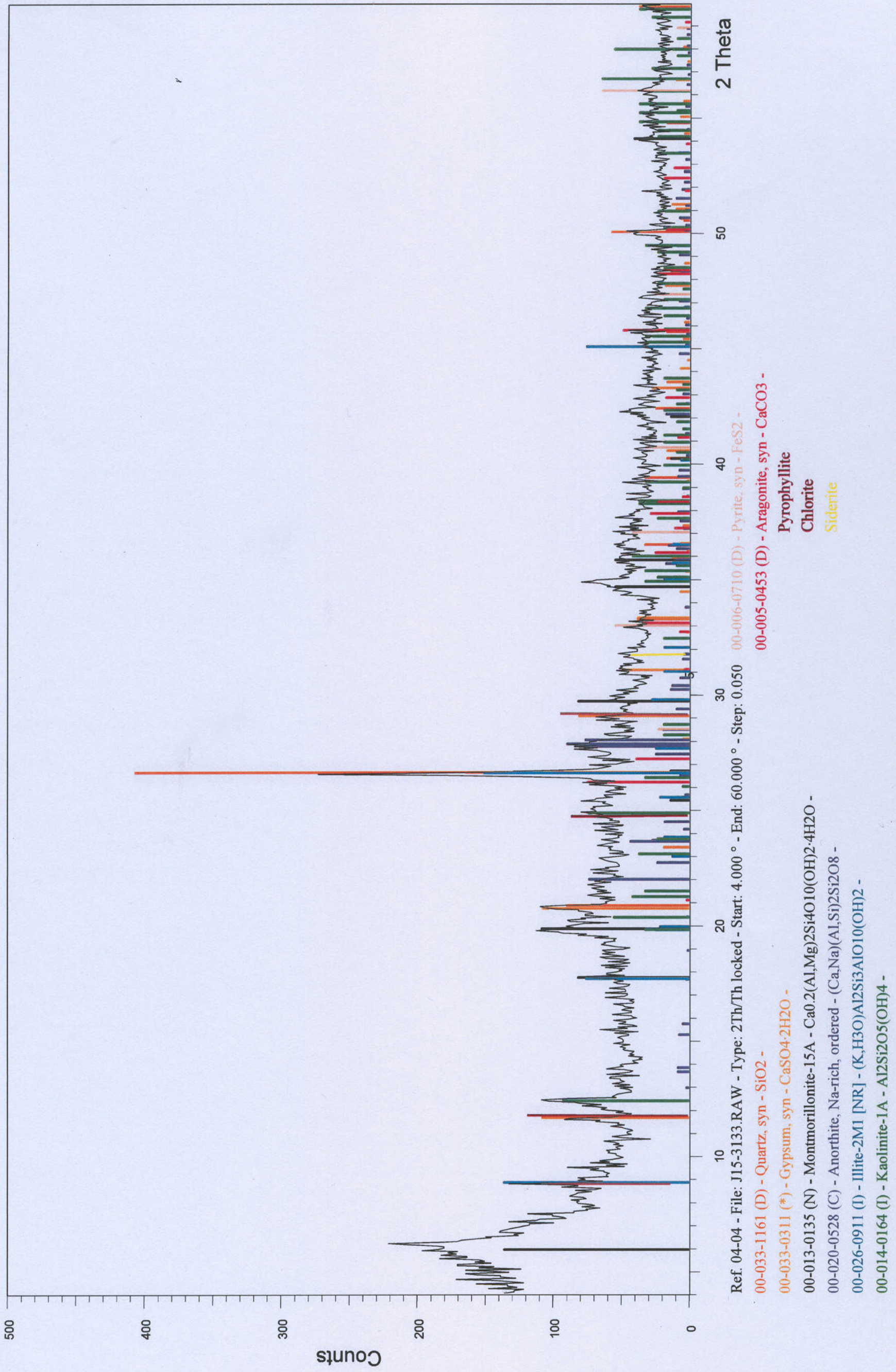
Ek Çizelge 2. Seyitömer termik santralından alınan uçucu kül örneklerinin bazı esas element ve eser element bileşimleri. Not: Aksi belirtilmedikçe değerler ppm'dir, bdl= dedeksiyon limitinin altında.

| Element/ Örnek | 04-02   | 04-05  | 04-08   | 04-11   | 04-14   | 04-17   | 04-20   | 04-23  |
|----------------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
| % Al           | 8,41    | 10,27  | 10,15   | 9,21    | 9,71    | 9,57    | 9,76    | 9,28   |
| % Ca           | 5,72    | 2,74   | 3,30    | 2,33    | 2,26    | 2,49    | 2,52    | 2,59   |
| % Fe           | 7,99    | 7,25   | 7,60    | 6,93    | 7,36    | 6,83    | 6,81    | 6,69   |
| % K            | 1,69    | 2,00   | 1,76    | 1,67    | 1,94    | 1,83    | 2,06    | 1,77   |
| % Mg           | 2,18    | 2,29   | 2,39    | 2,07    | 2,20    | 2,30    | 2,17    | 2,22   |
| % Na           | 0,45    | 0,49   | 0,56    | 0,60    | 0,56    | 0,55    | 0,56    | 0,50   |
| % P            | 0,08    | 0,05   | 0,06    | 0,06    | 0,06    | 0,06    | 0,06    | 0,06   |
| % S            | 1,00    | 0,54   | 0,72    | 0,42    | 0,41    | 0,50    | 0,58    | 0,48   |
| % Ti           | 0,40    | 0,47   | 0,49    | 0,45    | 0,49    | 0,50    | 0,48    | 0,46   |
| As             | 55,38   | 65,95  | 77,14   | 48,58   | 70,37   | 67,26   | 71,49   | 36,22  |
| B              | 194,85  | 139,20 | 135,70  | 98,18   | 114,73  | 128,30  | 84,43   | 72,03  |
| Ba             | 920,18  | 998,34 | 1079,41 | 872,10  | 977,10  | 1066,82 | 1095,47 | 894,83 |
| Be             | 1,04    | 0,94   | 0,89    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 1,16    | 0,00   |
| Bi             | 1,25    | 1,35   | 1,66    | 1,07    | 1,22    | 1,74    | 1,51    | 0,85   |
| Cd             | 1,05    | 0,83   | 1,22    | 0,86    | 1,24    | 0,83    | 0,63    | 0,68   |
| Cl             | 22,30   | 16,40  | 22,90   | 30,00   | 16,10   | 24,90   | 18,60   | 19,30  |
| Co             | 44,47   | 38,22  | 41,40   | 45,30   | 46,02   | 42,91   | 39,23   | 41,39  |
| Cr             | 353,39  | 407,80 | 410,74  | 362,81  | 430,71  | 415,64  | 372,05  | 402,53 |
| Cs             | 10,47   | 11,48  | 10,93   | 9,61    | 11,08   | 10,67   | 12,30   | 10,76  |
| Cu             | 81,47   | 96,08  | 102,33  | 81,56   | 85,04   | 87,24   | 75,65   | 70,97  |
| Ga             | 17,54   | 19,91  | 21,98   | 17,31   | 18,64   | 19,20   | 18,30   | 17,04  |
| Ge             | 1,58    | 2,84   | 3,24    | 1,88    | 3,65    | 3,57    | 1,87    | 1,24   |
| Hf             | 1,52    | 1,30   | 1,80    | 2,17    | 2,34    | 2,49    | 1,80    | 1,76   |
| Hg             | 0,092   | 0,330  | 0,373   | 0,359   | 0,307   | 0,391   | 0,389   | 0,113  |
| Li             | 26,59   | 30,08  | 27,29   | 16,59   | 20,92   | 17,00   | 17,95   | 14,88  |
| Mn             | 1582,68 | 734,84 | 767,06  | 649,25  | 1172,05 | 610,91  | 624,83  | 735,19 |
| Mo             | 13,14   | 7,04   | 9,91    | 8,30    | 8,16    | 9,48    | 9,48    | 7,52   |
| Nb             | 10,10   | 4,77   | 13,83   | 14,00   | 11,81   | 15,82   | 8,46    | 13,14  |
| Ni             | 821,84  | 970,59 | 1072,33 | 1011,50 | 1050,18 | 1031,71 | 921,12  | 927,68 |
| Pb             | 52,58   | 76,73  | 91,38   | 72,97   | 81,84   | 92,58   | 92,83   | 53,87  |
| Rb             | 80,91   | 100,11 | 87,00   | 74,36   | 86,88   | 86,66   | 91,26   | 83,58  |
| Sb             | 2,75    | 1,76   | 4,04    | 2,52    | 2,65    | 3,34    | 2,13    | 2,54   |
| Sc             | 13,32   | 16,36  | 17,14   | 14,26   | 18,73   | 17,73   | 16,74   | 17,84  |
| Se             | 0,00    | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00   |
| Sn             | 2,86    | 3,25   | 4,31    | 2,97    | 3,56    | 4,75    | 4,12    | 3,04   |
| Sr             | 221,12  | 182,67 | 228,45  | 215,29  | 196,97  | 220,30  | 205,45  | 196,85 |
| Ta             | bdl     | bdl    | 0,23    | 0,52    | bdl     | 0,45    | bdl     | 1,69   |
| Th             | 16,29   | 17,36  | 22,29   | 26,67   | 21,44   | 26,69   | 24,58   | 21,86  |
| Tl             | 2,36    | 1,89   | 2,41    | 1,24    | 2,60    | 2,78    | 1,71    | 2,22   |
| U              | 9,55    | 6,98   | 14,12   | 12,87   | 7,92    | 11,98   | 10,80   | 11,24  |
| V              | 130,06  | 152,04 | 172,66  | 147,08  | 173,91  | 155,09  | 151,49  | 137,60 |
| W              | 0,76    | 0,01   | 0,46    | 2,19    | 0,38    | 2,15    | bdl     | bdl    |
| Y              | 13,62   | 16,92  | 19,31   | 14,25   | 16,35   | 16,66   | 15,37   | 13,84  |
| Zn             | 102,85  | 187,79 | 184,89  | 164,82  | 180,39  | 175,14  | 160,60  | 127,06 |
| Zr             | 81,48   | 95,32  | 139,68  | 124,32  | 118,96  | 128,06  | 113,04  | 97,77  |
| La             | 30,29   | 35,00  | 44,11   | 42,85   | 41,32   | 43,92   | 43,09   | 37,91  |
| Ce             | 54,84   | 62,67  | 78,69   | 76,61   | 73,23   | 77,20   | 77,81   | 67,63  |
| Pr             | 6,56    | 7,18   | 8,68    | 8,76    | 8,87    | 9,20    | 8,90    | 7,75   |
| Nd             | 29,94   | 33,79  | 39,72   | 36,00   | 37,12   | 37,67   | 39,12   | 34,62  |
| Sm             | 4,52    | 3,67   | 5,58    | 4,63    | 4,92    | 4,53    | 5,34    | 4,44   |
| Eu             | 0,90    | 0,99   | 1,26    | 1,24    | 1,19    | 1,22    | 1,37    | 1,23   |
| Gd             | 3,69    | 4,60   | 6,05    | 5,48    | 5,33    | 5,62    | 5,69    | 4,93   |
| Tb             | 0,00    | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00   |
| Dy             | 3,28    | 3,96   | 4,54    | 3,59    | 4,57    | 3,90    | 3,65    | 3,91   |
| Ho             | 0,00    | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00   |
| Er             | 1,16    | 1,38   | 2,04    | 1,59    | 2,06    | 1,71    | 1,30    | 1,25   |
| Tm             | 0,00    | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00   |
| Yb             | 1,58    | 1,82   | 2,43    | 1,47    | 1,72    | 1,76    | 1,68    | 1,48   |
| Lu             | 0,00    | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00    | 0,00   |

Ek Çizelge 3. Seyitömer termik santralından alınan taban külü örneklerinin bazı esas element ve eser element bileşimleri. Not: Aksi belirtilmedikçe değerler ppm'dir, bdl= dedeksiyon limitinin altında.

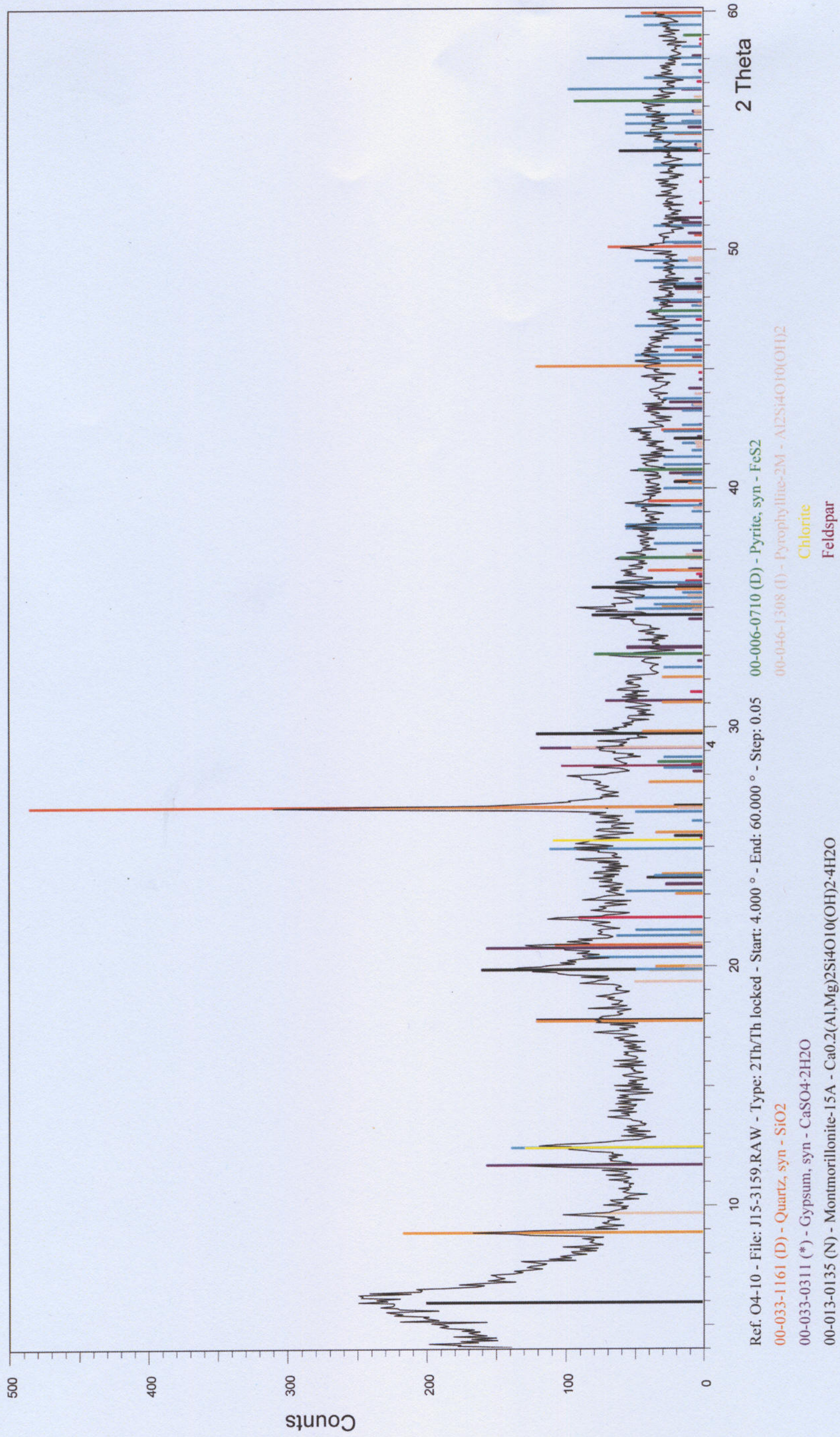
| Element/ Örnek | 04-03   | 04-06  | 04-09  | 04-12   | 04-15   | 04-18  | 04-21  | 04-24  |
|----------------|---------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| % Al           | 6,60    | 8,57   | 8,05   | 7,80    | 7,54    | 8,32   | 8,39   | 8,08   |
| % Ca           | 4,82    | 2,47   | 2,52   | 2,04    | 1,93    | 1,86   | 1,77   | 2,06   |
| % Fe           | 7,42    | 6,58   | 6,47   | 6,41    | 6,56    | 6,14   | 5,85   | 6,60   |
| % K            | 1,13    | 1,23   | 1,02   | 1,05    | 1,05    | 1,25   | 1,26   | 1,27   |
| % Mg           | 2,00    | 2,26   | 2,14   | 1,99    | 2,05    | 2,07   | 2,06   | 2,18   |
| % Na           | 0,32    | 0,31   | 0,39   | 0,42    | 0,39    | 0,35   | 0,37   | 0,35   |
| % P            | 0,06    | 0,04   | 0,04   | 0,04    | 0,05    | 0,04   | 0,04   | 0,04   |
| % S            | 1,15    | 0,82   | 0,97   | 0,71    | 0,84    | 0,60   | 0,58   | 0,54   |
| % Ti           | 0,30    | 0,43   | 0,38   | 0,35    | 0,37    | 0,42   | 0,40   | 0,41   |
| As             | 30,78   | 25,21  | 28,12  | 21,92   | 26,15   | 16,24  | 17,58  | 21,60  |
| B              | 125,32  | 79,75  | 80,36  | 70,06   | 58,02   | 63,23  | 46,82  | 44,79  |
| Ba             | 568,52  | 546,36 | 560,19 | 507,40  | 484,83  | 534,08 | 509,99 | 532,80 |
| Be             | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Bi             | 0,92    | 0,75   | 0,64   | 0,58    | 0,67    | 0,86   | 0,85   | 0,68   |
| Cd             | 0,00    | 0,00   | 1,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Cl             | 70,80   | 49,10  | 59,30  | 45,10   | 78,60   | 45,80  | 53,60  | 30,40  |
| Co             | 43,73   | 39,47  | 39,60  | 46,84   | 46,39   | 39,26  | 39,43  | 43,81  |
| Cr             | 314,00  | 457,85 | 394,22 | 379,67  | 412,33  | 441,21 | 425,51 | 447,70 |
| Cs             | 8,41    | 8,07   | 6,61   | 7,28    | 7,14    | 8,06   | 8,58   | 9,25   |
| Cu             | 75,51   | 77,76  | 80,13  | 76,26   | 69,21   | 68,85  | 62,04  | 66,10  |
| Ga             | 13,28   | 15,93  | 15,39  | 14,27   | 14,00   | 14,48  | 13,84  | 13,19  |
| Ge             | 0,78    | 1,23   | 1,02   | 1,18    | 0,00    | 0,64   | 0,70   | 0,62   |
| Hf             | 0,86    | 1,49   | 2,04   | 1,99    | 1,38    | 2,18   | 2,24   | 1,54   |
| Hg             | 0,020   | 0,027  | 0,004  | 0,021   | 0,011   | 0,037  | 0,012  | 0,010  |
| Li             | 15,16   | 21,48  | 14,89  | 10,88   | 7,94    | 10,60  | 9,24   | 8,87   |
| Mn             | 1363,37 | 594,27 | 481,30 | 473,53  | 598,34  | 448,02 | 404,64 | 697,33 |
| Mo             | 7,49    | 4,76   | 6,40   | 4,88    | 5,36    | 5,42   | 5,64   | 4,87   |
| Nb             | 7,55    | 12,16  | 12,31  | 11,31   | 10,85   | 12,44  | 11,28  | 11,98  |
| Ni             | 855,67  | 983,55 | 982,51 | 1057,89 | 1032,10 | 974,90 | 915,57 | 944,47 |
| Pb             | 19,10   | 16,36  | 17,03  | 24,08   | 20,95   | 16,14  | 23,73  | 25,19  |
| Rb             | 52,64   | 63,20  | 56,00  | 52,30   | 49,61   | 62,86  | 61,53  | 63,03  |
| Sb             | 2,35    | 0,99   | 1,09   | 1,23    | 1,04    | 0,86   | 0,85   | 1,33   |
| Sc             | 10,87   | 15,35  | 13,93  | 12,64   | 14,50   | 14,89  | 15,35  | 15,79  |
| Se             | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Sn             | 1,63    | 1,64   | 1,95   | 1,78    | 1,33    | 2,07   | 2,15   | 3,02   |
| Sr             | 175,08  | 145,01 | 167,57 | 177,38  | 154,70  | 151,71 | 148,16 | 147,90 |
| Ta             | bdl     | 0,30   | 0,16   | 0,35    | 0,34    | 0,42   | 0,28   | 1,02   |
| Th             | 12,65   | 16,01  | 17,98  | 23,67   | 18,94   | 19,31  | 21,66  | 17,69  |
| Tl             | 1,65    | 1,79   | 1,53   | 1,64    | 1,40    | 1,52   | 1,44   | 0,66   |
| U              | 10,09   | 8,32   | 10,93  | 10,32   | 8,09    | 7,36   | 8,71   | 8,13   |
| V              | 102,35  | 132,42 | 135,42 | 119,33  | 117,72  | 123,38 | 123,03 | 129,58 |
| W              | bdl     | 0,64   | bdl    | 1,49    | 0,39    | 0,09   | bdl    | 0,13   |
| Y              | 10,82   | 13,31  | 14,19  | 11,96   | 12,27   | 12,61  | 12,63  | 11,63  |
| Zn             | 49,84   | 50,60  | 46,02  | 48,44   | 90,75   | 48,22  | 45,42  | 56,33  |
| Zr             | 74,05   | 98,43  | 112,82 | 105,39  | 94,05   | 104,83 | 101,70 | 90,56  |
| La             | 23,73   | 25,76  | 31,35  | 34,15   | 30,79   | 31,14  | 34,04  | 31,07  |
| Ce             | 41,14   | 45,82  | 54,05  | 59,15   | 52,75   | 55,30  | 57,29  | 53,10  |
| Pr             | 4,97    | 5,41   | 6,07   | 6,80    | 5,86    | 6,34   | 6,44   | 6,23   |
| Nd             | 21,05   | 24,86  | 26,97  | 29,69   | 26,79   | 26,97  | 29,41  | 27,61  |
| Sm             | 3,25    | 3,54   | 3,72   | 3,87    | 3,21    | 3,91   | 3,31   | 3,14   |
| Eu             | 0,86    | 0,74   | 0,64   | 0,91    | 0,99    | 0,77   | 0,79   | 0,88   |
| Gd             | 3,43    | 3,43   | 4,45   | 3,92    | 4,11    | 3,68   | 3,60   | 3,30   |
| Tb             | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Dy             | 1,91    | 2,82   | 3,17   | 2,83    | 3,12    | 3,29   | 4,55   | 2,35   |
| Ho             | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Er             | 0,58    | 1,17   | 0,92   | 1,17    | 1,28    | 1,06   | 1,24   | 1,03   |
| Tm             | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00   |
| Yb             | 0,91    | 1,60   | 1,84   | 1,33    | 0,97    | 0,81   | 1,19   | 1,01   |
| Lu             | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00    | 0,00    | 0,00   | 0,00   | 0,00   |





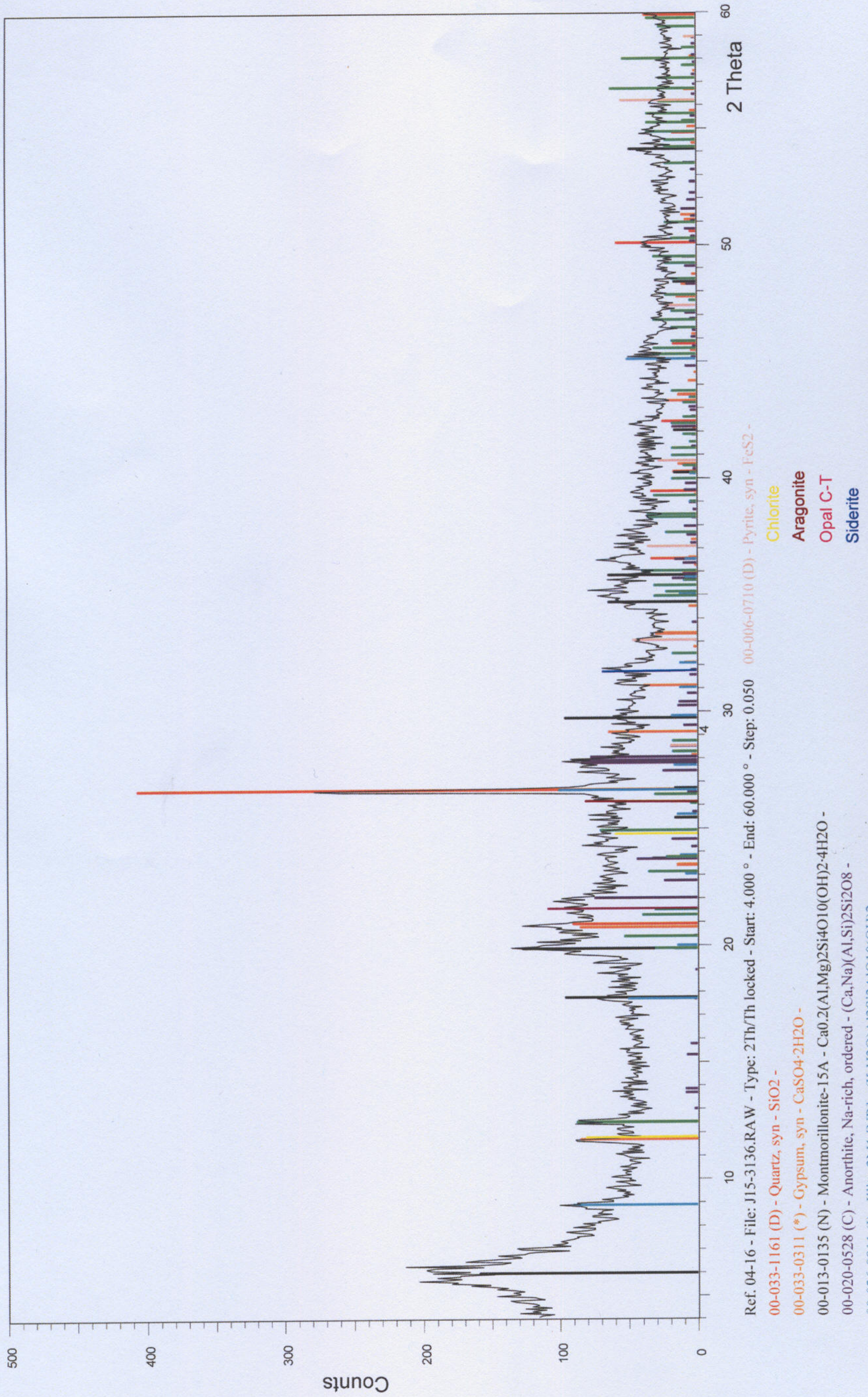
Ek Şekil 1. Seyitömer termik santralında yanan 04-04 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





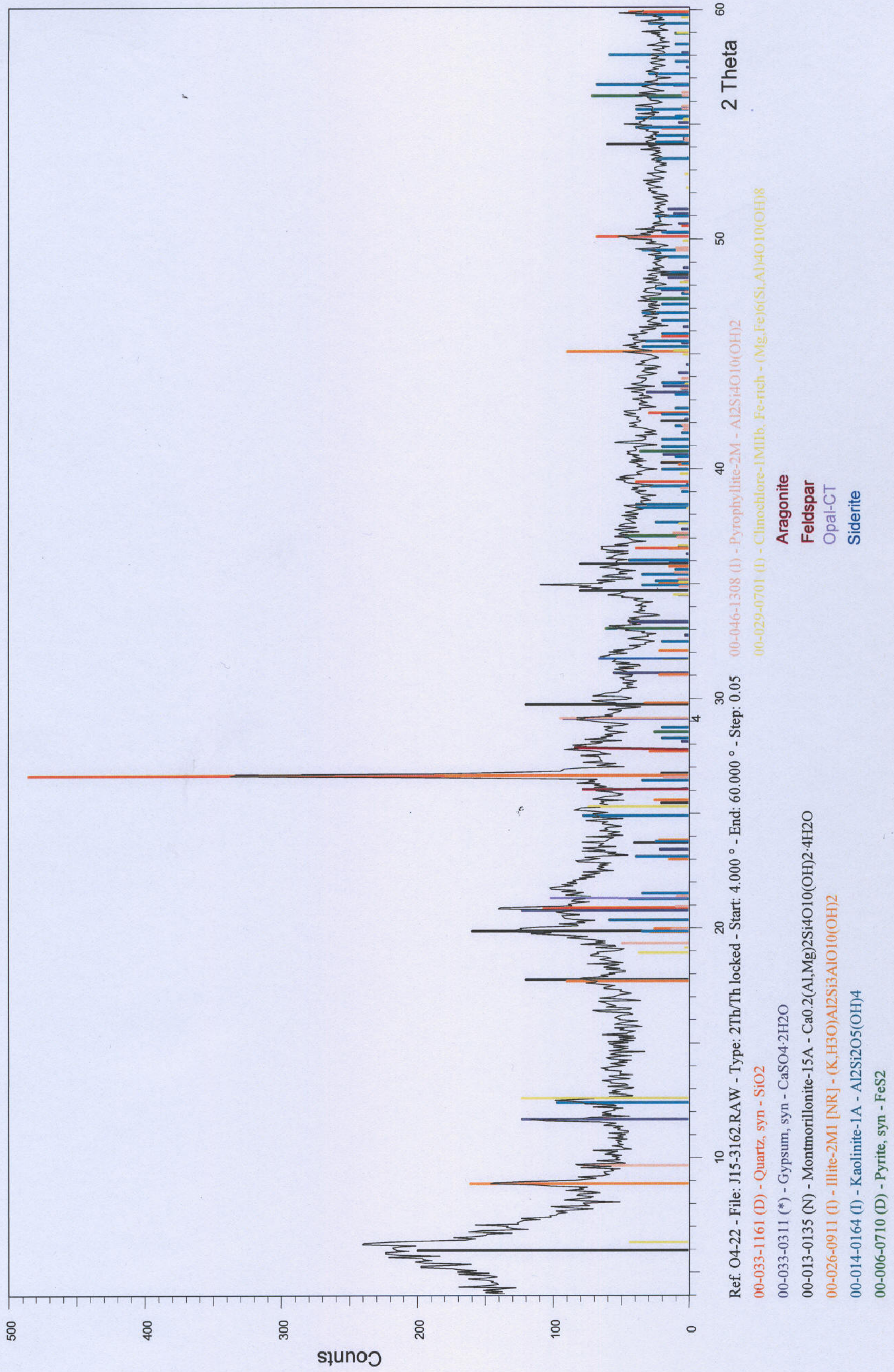
Ek Şekil 2. Seyitömer termik santralında yanan 04-10 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





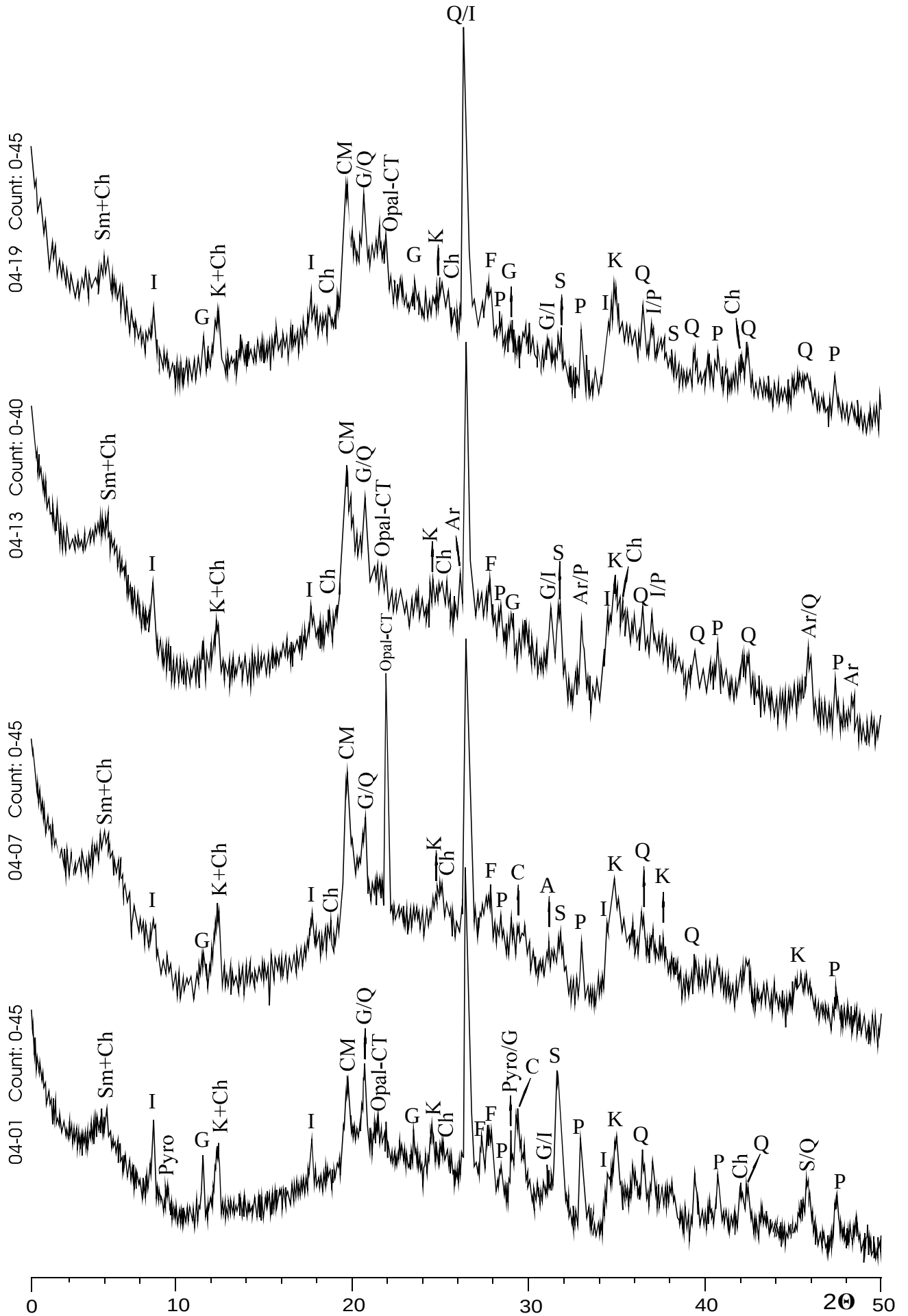
Ek Şekil 3. Seyitömer termik santralında yanan 04-16 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.



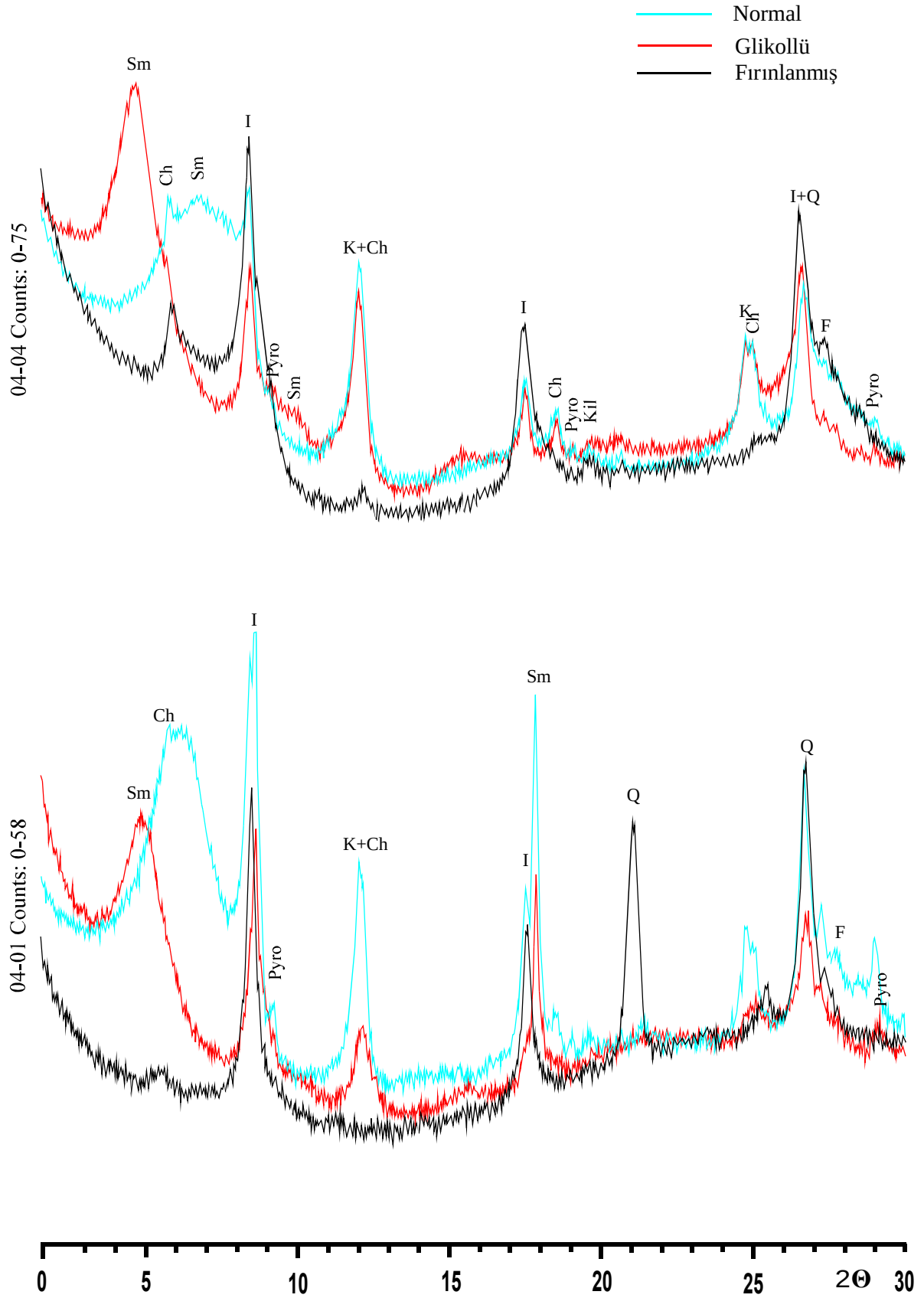


Ek Şekil 4. Seyitömer termik santralında yanan 04-22 nolu kömür örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.

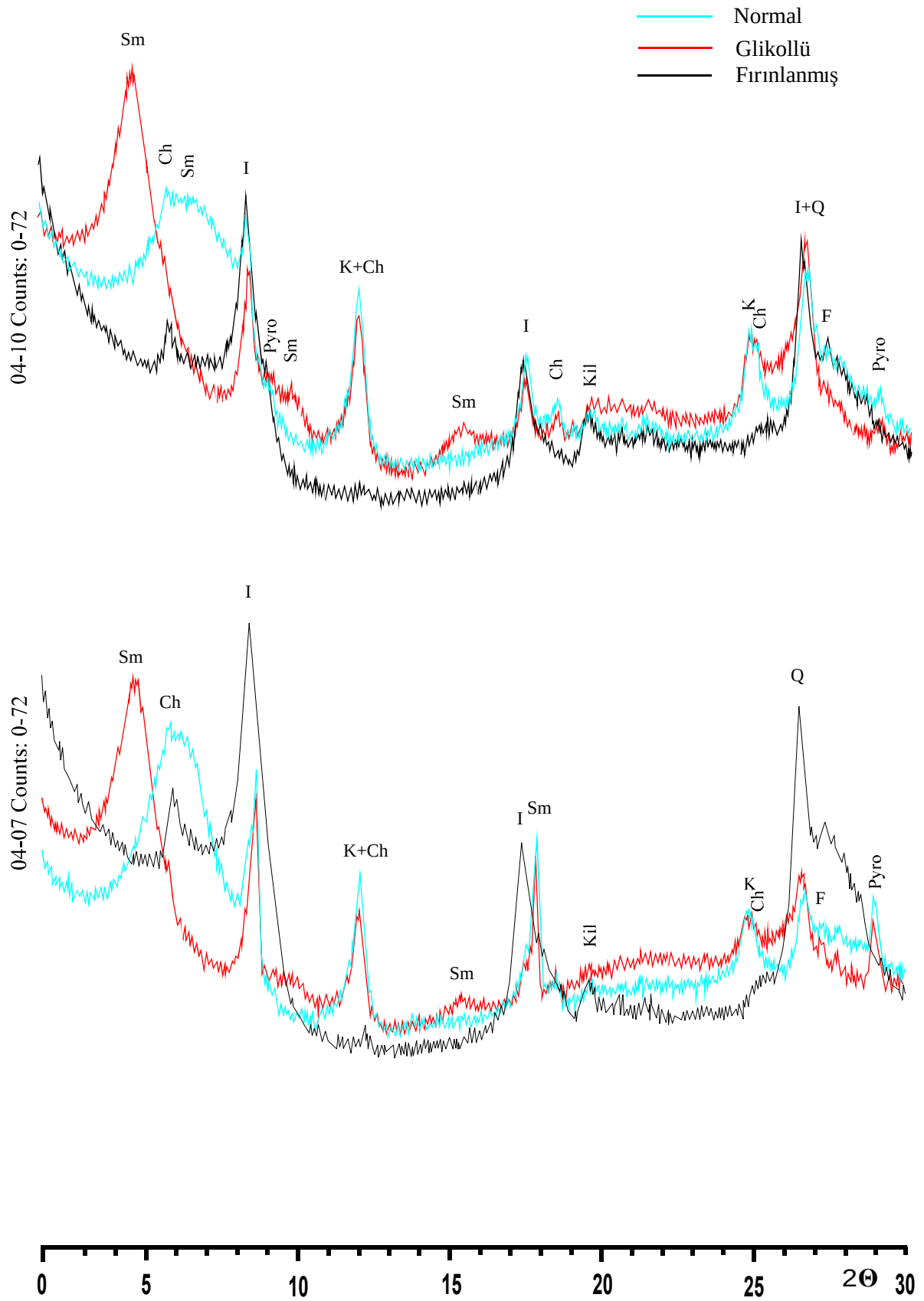




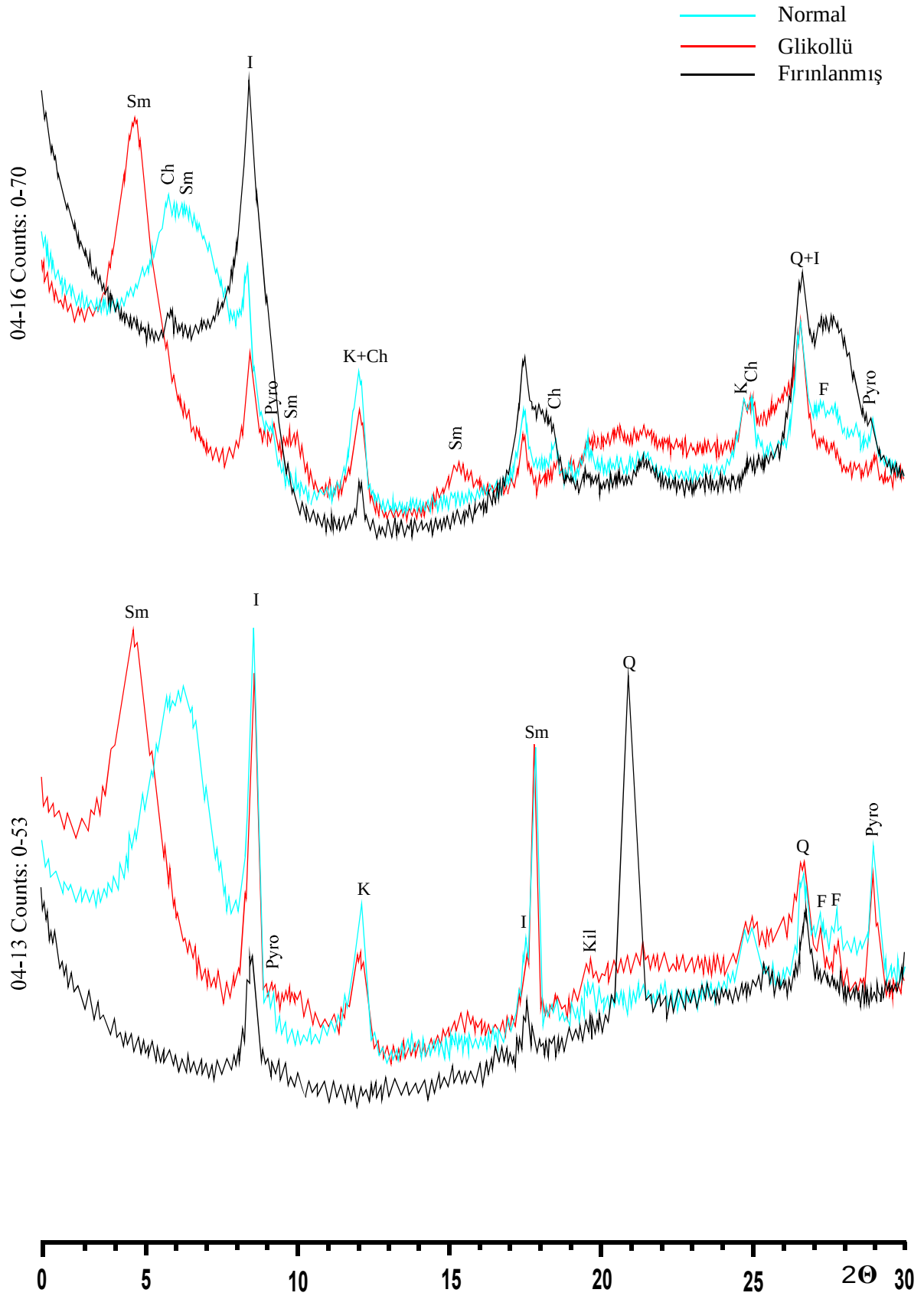
Ek Şekil 5. Seyitömer termik santralında yanan 04-01, 04-07, 04-13 ve 04-19 nolu kömür örneklerinin X-ışınları toz difraktogramları. Q:Kuars, F:Feldspat, C:Kalsit, K:Kaolinit, I:İllit, Sm:Smektit, Ch:Klorit, CM:Kil mineralleri, P:Pirit, G:Jips, Ar:Aragonit, S:Siderit, A:Ankerit, Opal-CT:Kristobalit-Tridimit, Pyro: Pirofillit.



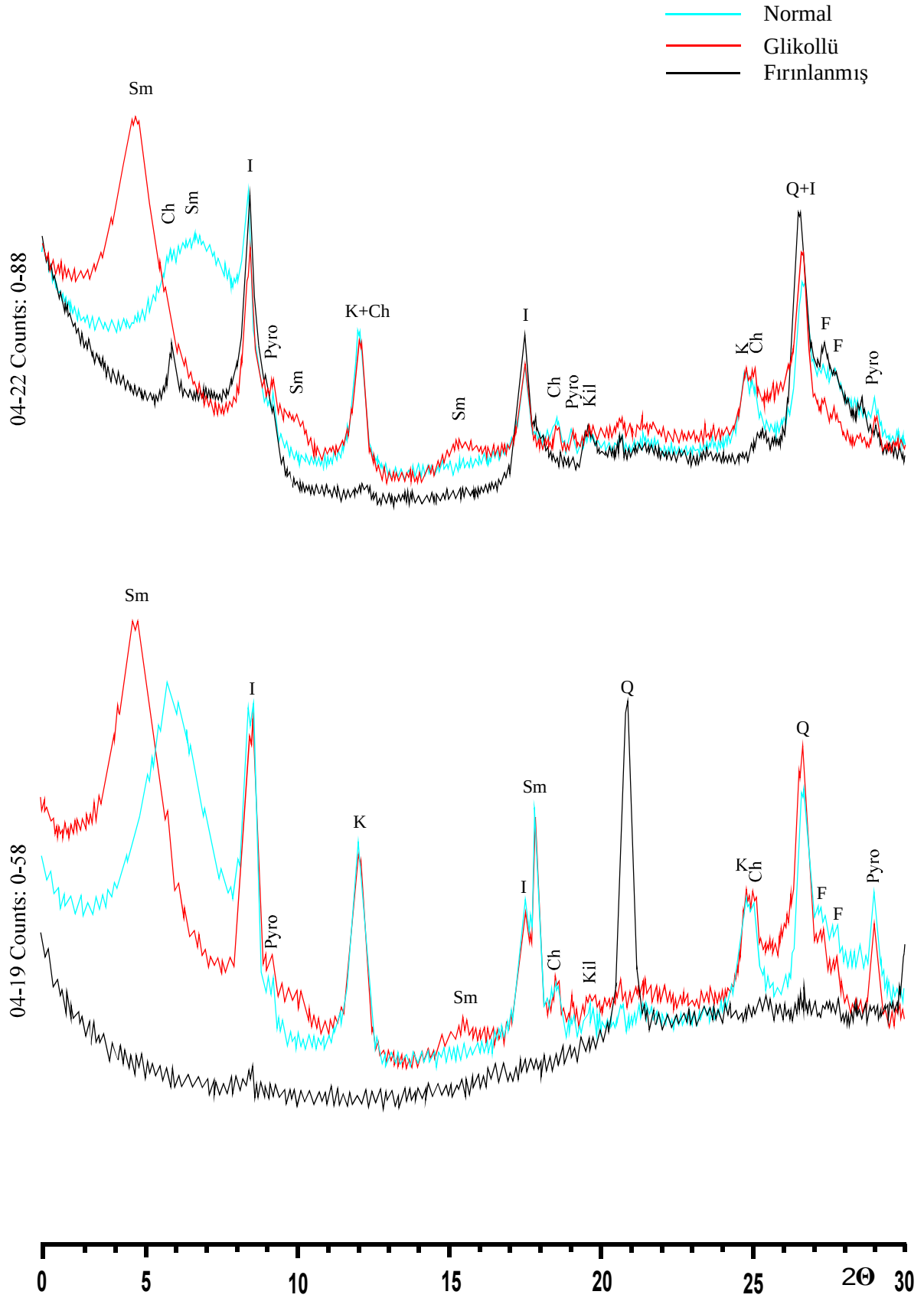
Ek Şekil 6. Seyitömer termik santralında yanan 04-01 ve 04-04 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları. Sm:Smeektit, I:İllit, K:Kaolinit, Ch:Klorit, Pyro:Pirofillit, Q:Kuvars, F:Feldispat.



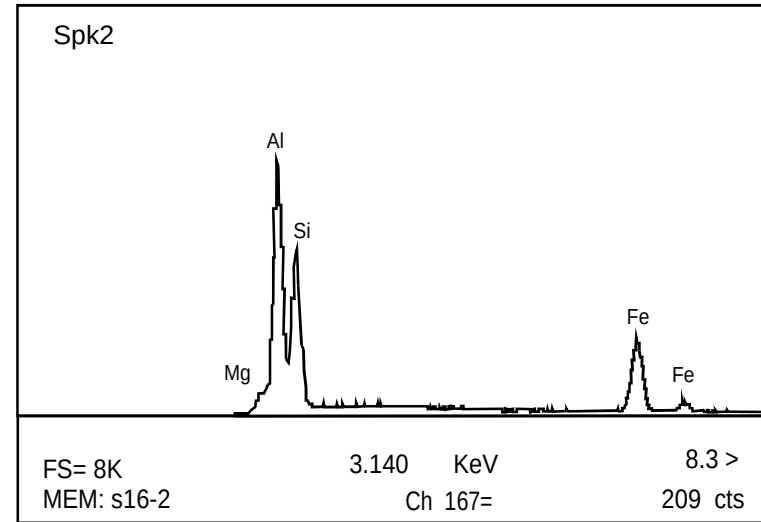
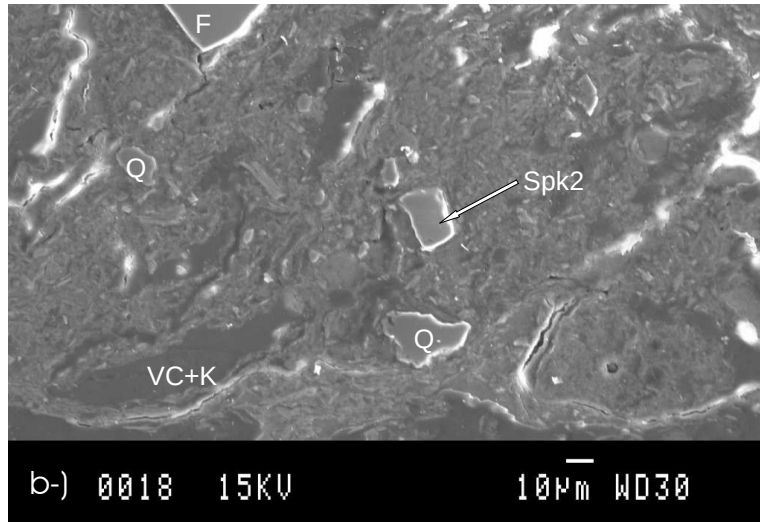
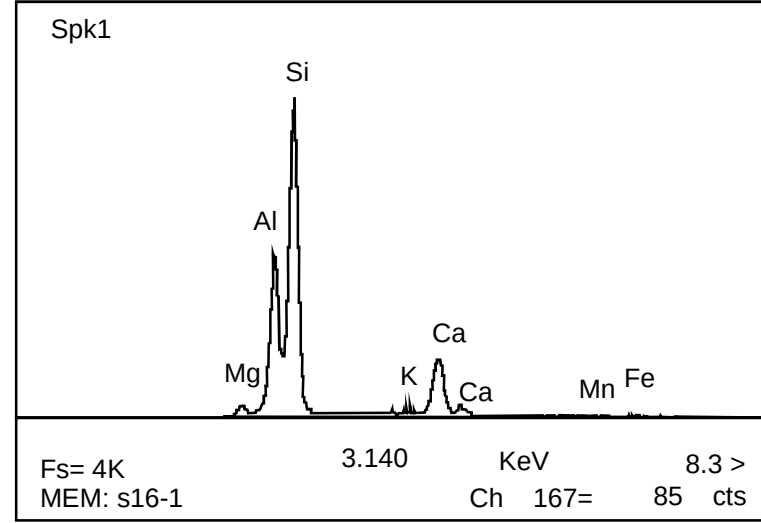
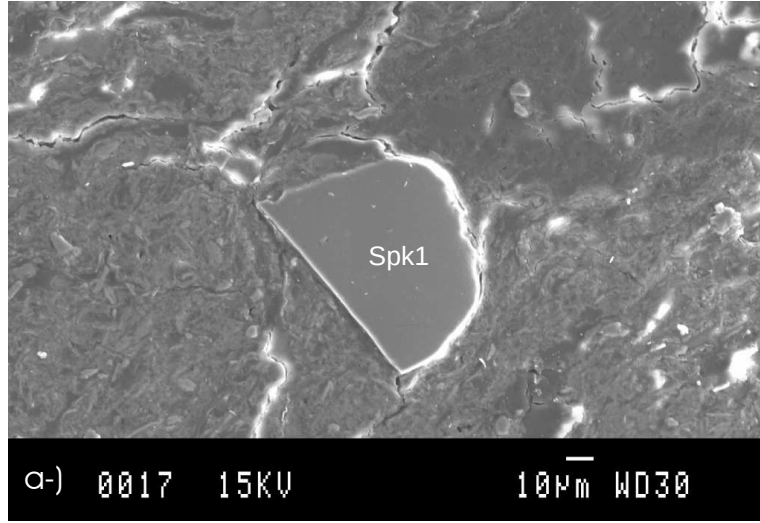
Ek Şekil 7. Seyitömer termik santralında yanan 04-07 ve 04-10 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları. Sm:Smeektit, I:İllit, K:Kaolinit, Ch:Klorit, Pyro:Pirofillit, Q:Kuvars, F:Feldispat.



Ek Şekil 8. Seyitömer termik santralında yanan 04-13 ve 04-16 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları. Sm:Smektit, I:İllit, K:Kaolinit, Ch:Klorit, Pyro:Pirofillit, Q:Kuars, F:Feldispat.



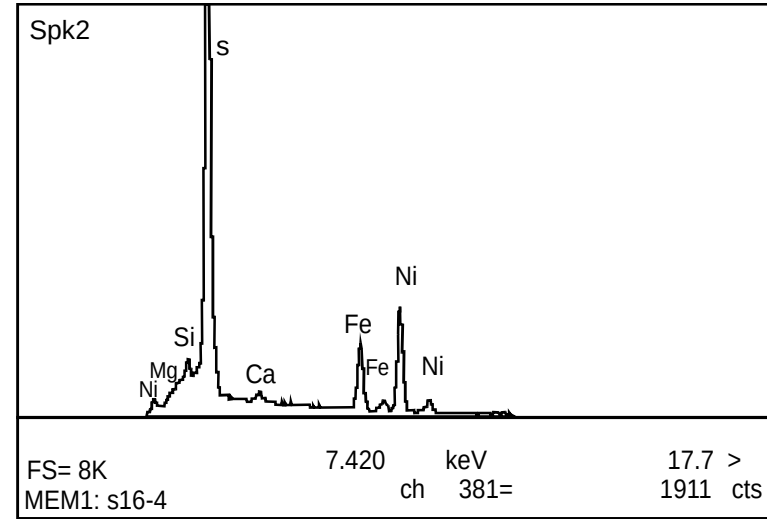
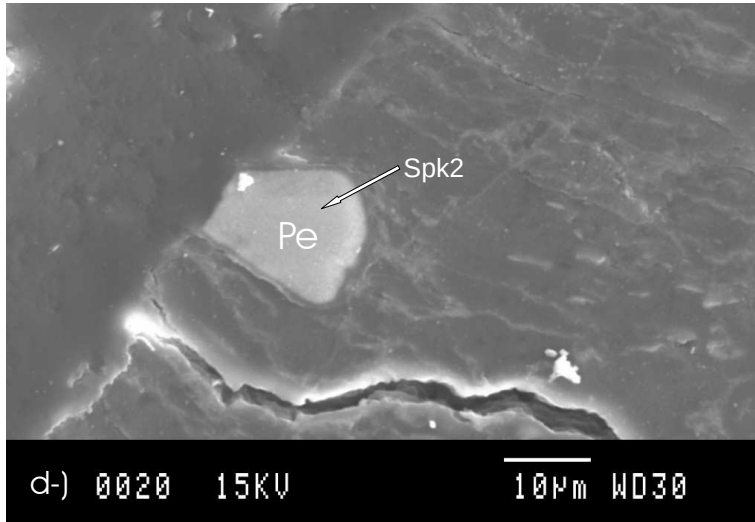
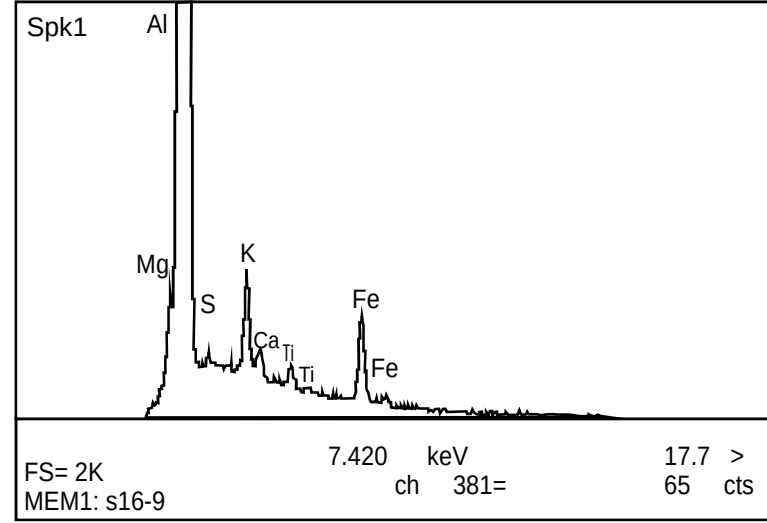
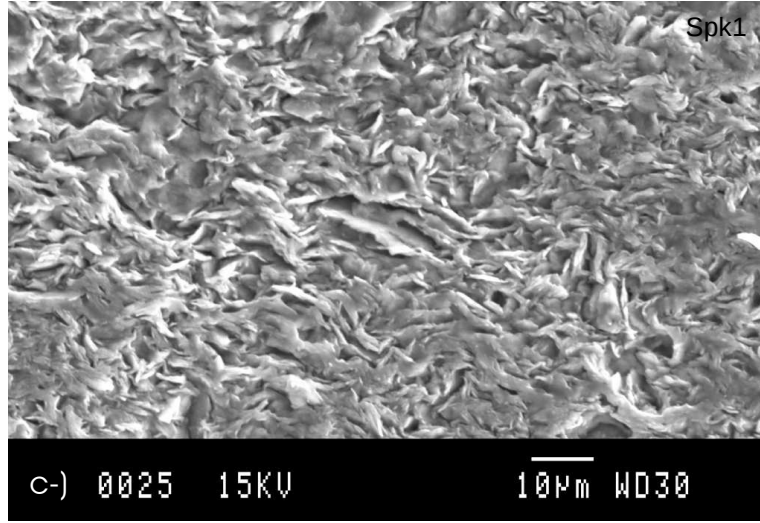
Ek Şekil 9. Seyitömer termik santralında yanan 04-19 ve 04-22 nolu kömür örneklerinin X-ışınları kil fraksiyonu difraktogramları. Sm:Smeektit, I:İllit, K:Kaolinit, Ch:Klorit, Pyro:Pirofillit, Q:Kuars, F:Feldispat.



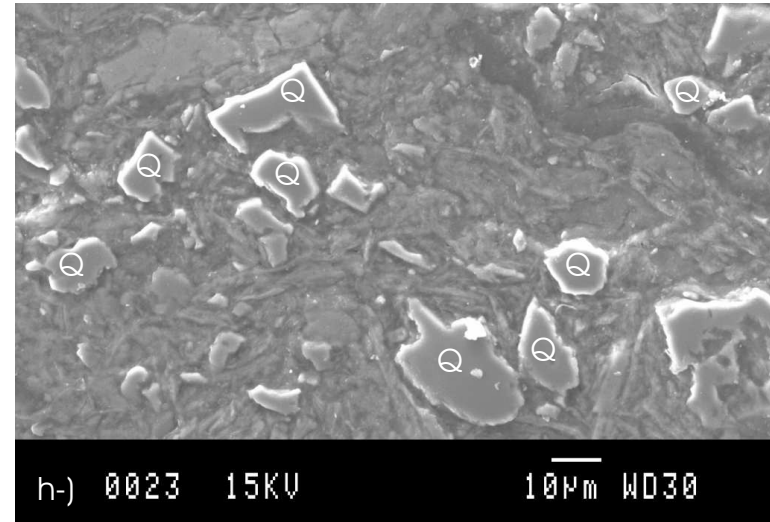
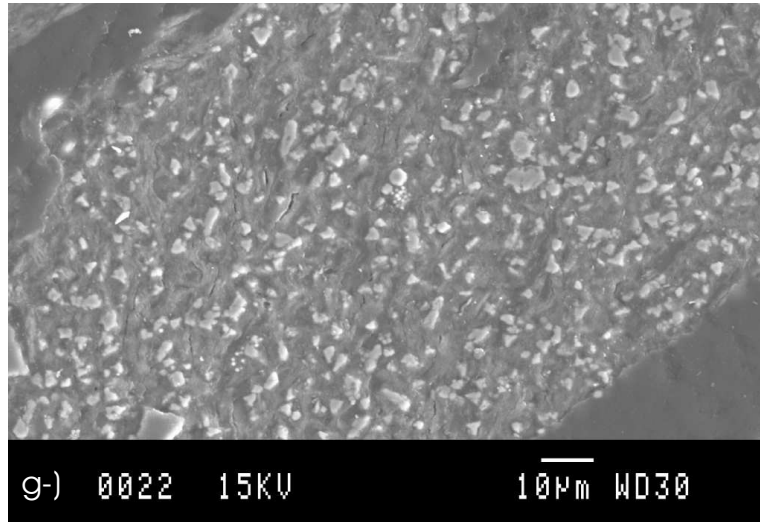
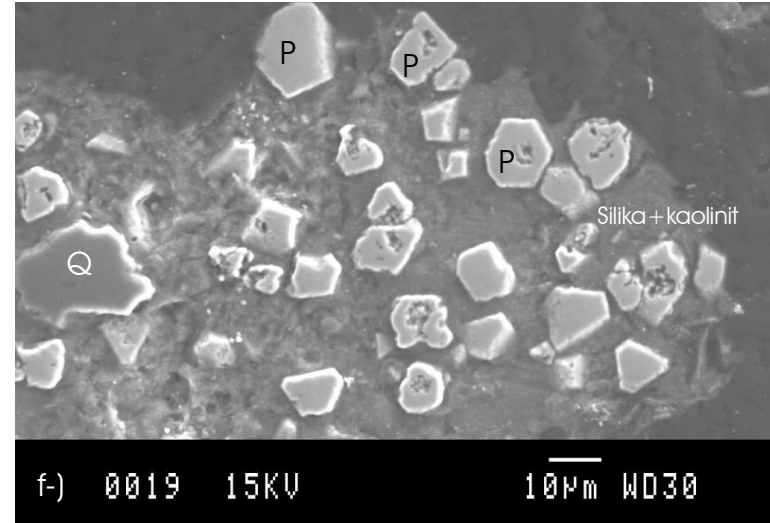
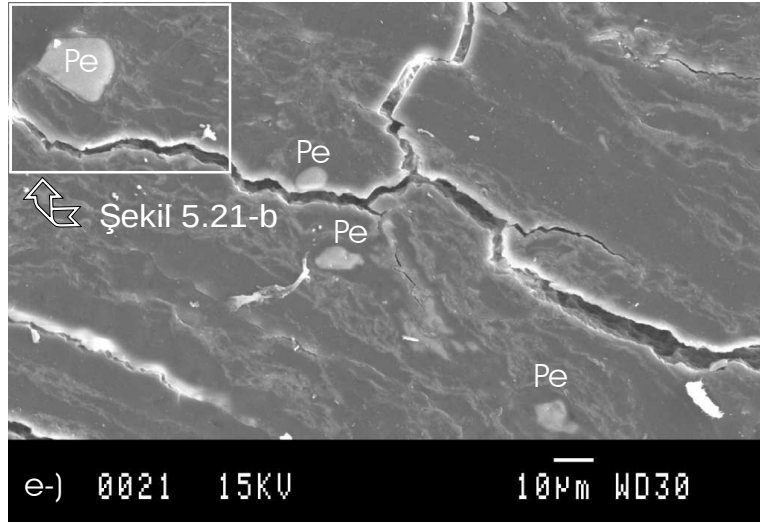
Ek Şekil 10. Seyitömer termik santralında yanan 04-16 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması.

**a-)** Kömür içerisinde feldispat minerali (Ca,Al-silikat). **b-)** Kömür içerisinde piroksen (Fe, Al - silikat), feldispat (F), kuvars (Q), volkanik cam (VC?) + kaolinit (K).

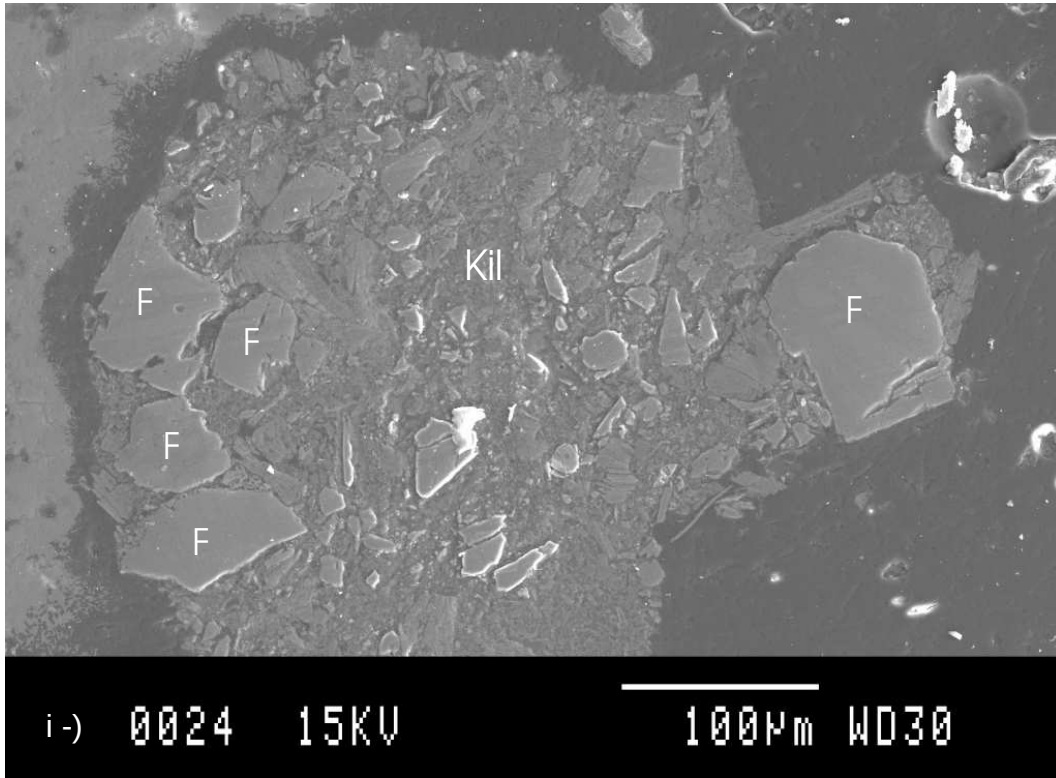
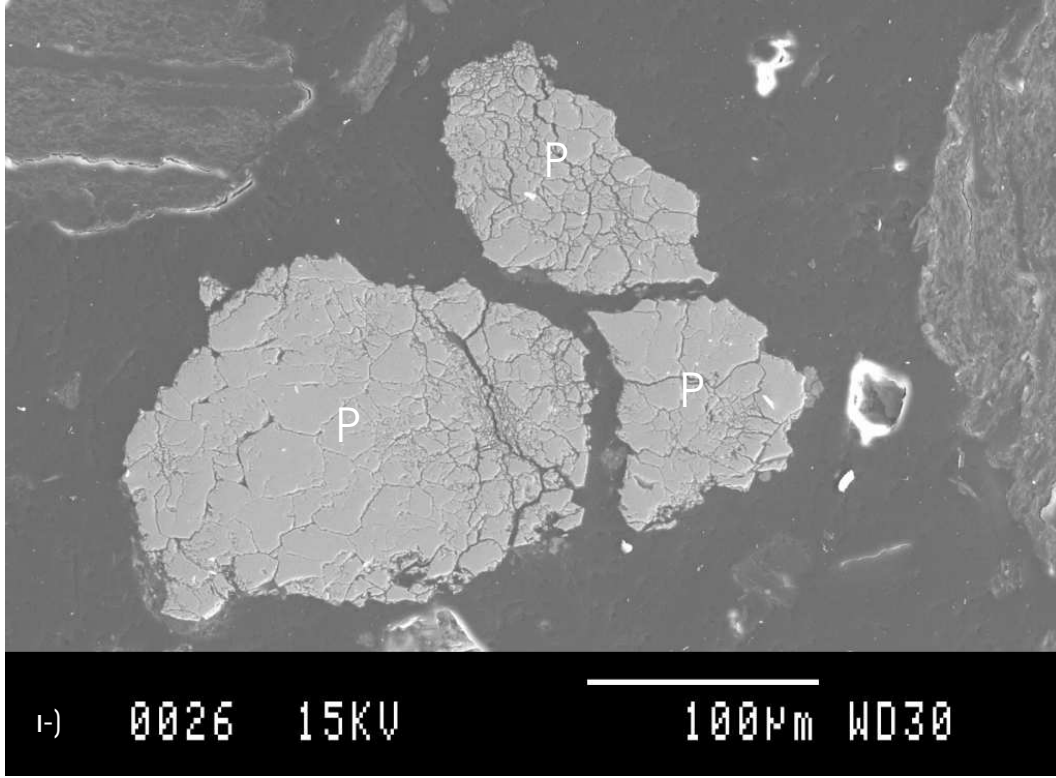




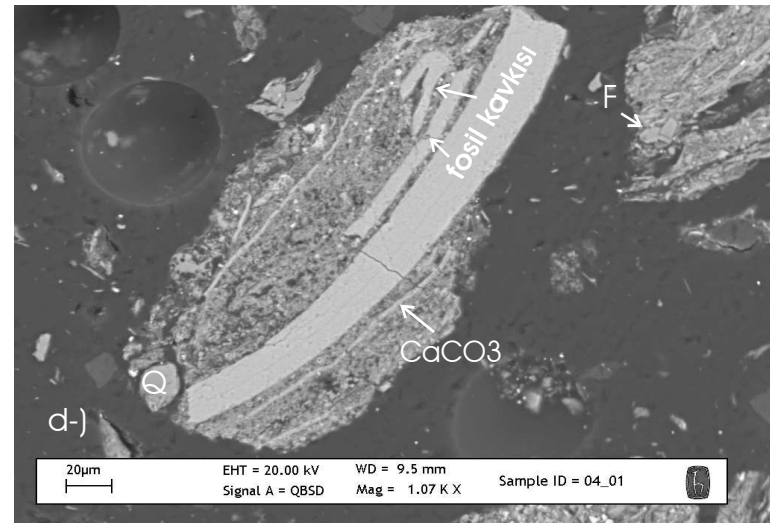
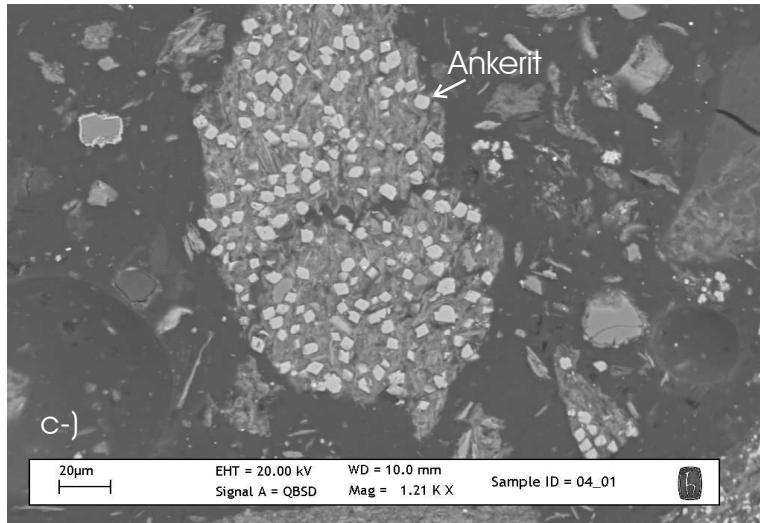
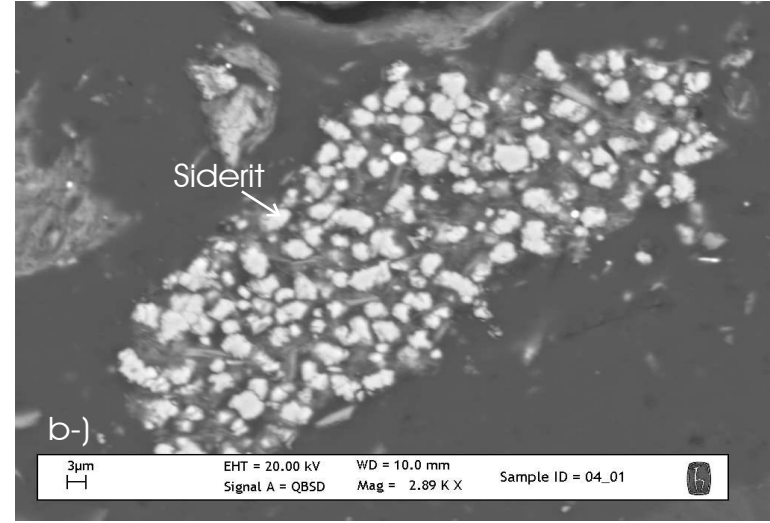
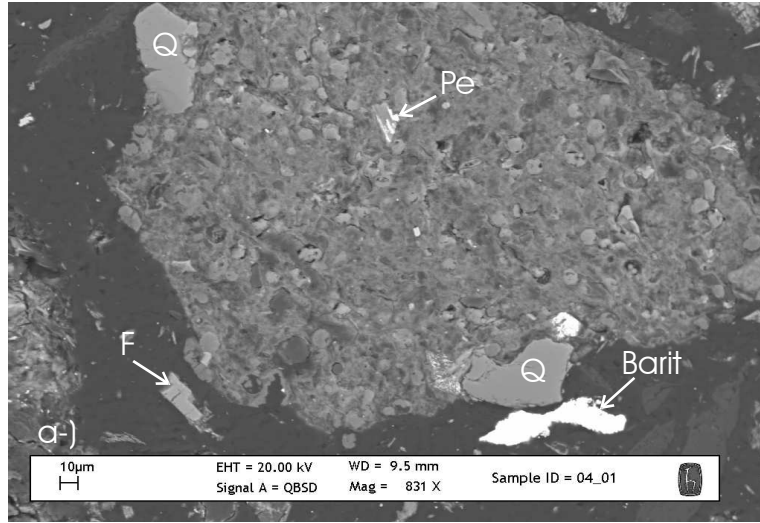
Ek Şekil 10. (devam ediyor). **c-)** Kömür içerisinde simektit (?). **d-)** Pe (Pentlandit -  $(\text{Fe,Ni})_8\text{S}_9$ ) .



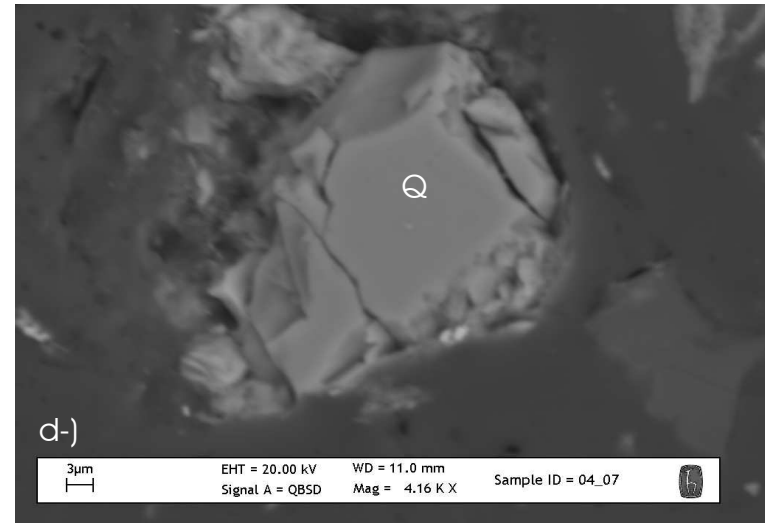
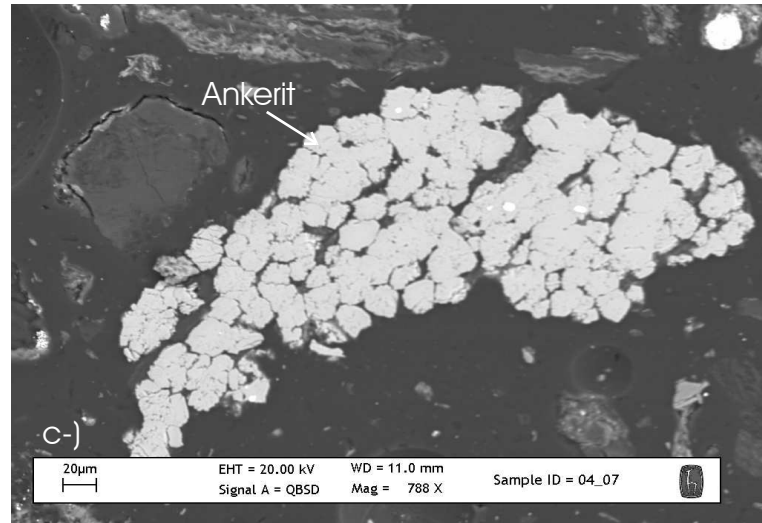
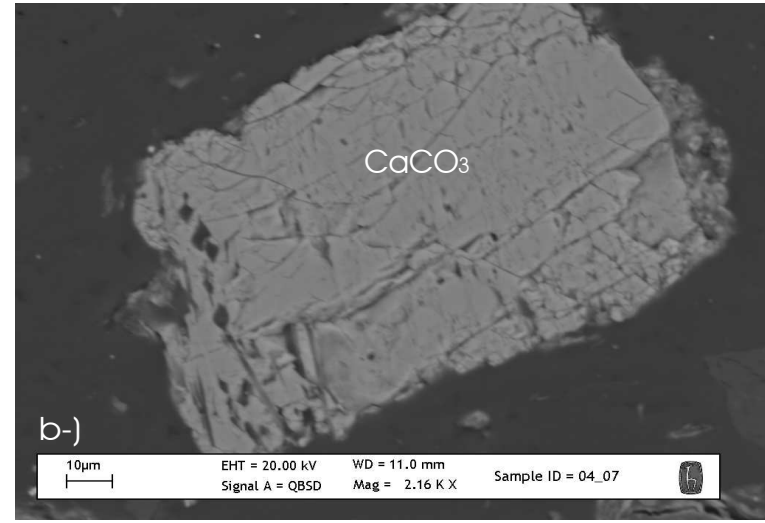
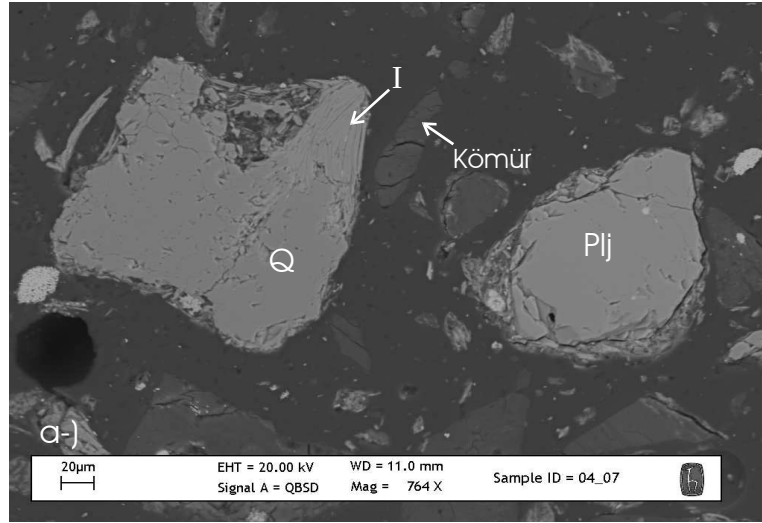
Ek Şekil 10. (devam ediyor). **e-)** Kömür içerisinde pentlandit (Pe). **f-)** Kömür içerisinde pirit (P), kuvars (Q), silika + kaolinit . **g-)** Kil + kuvars matrisinde siderit. **h-)** Kil (illit) matrisinde kuvars (Q).



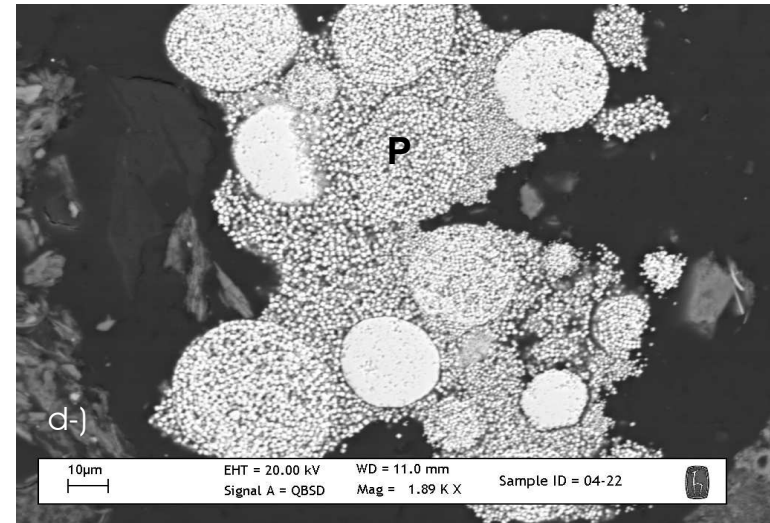
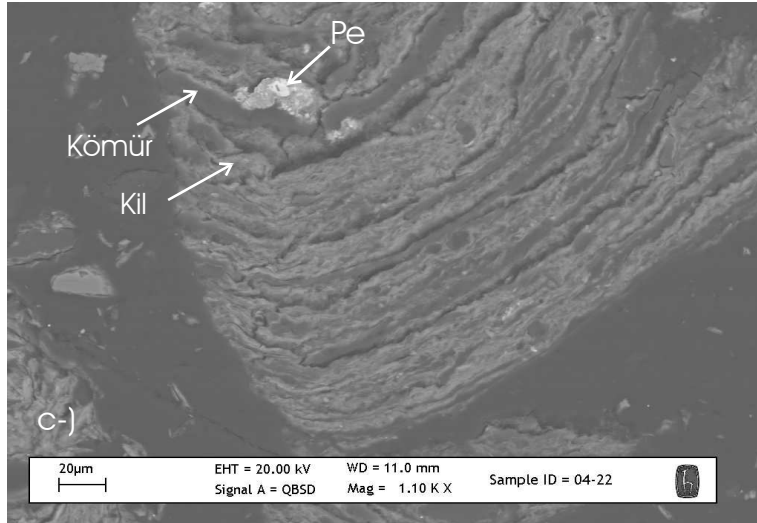
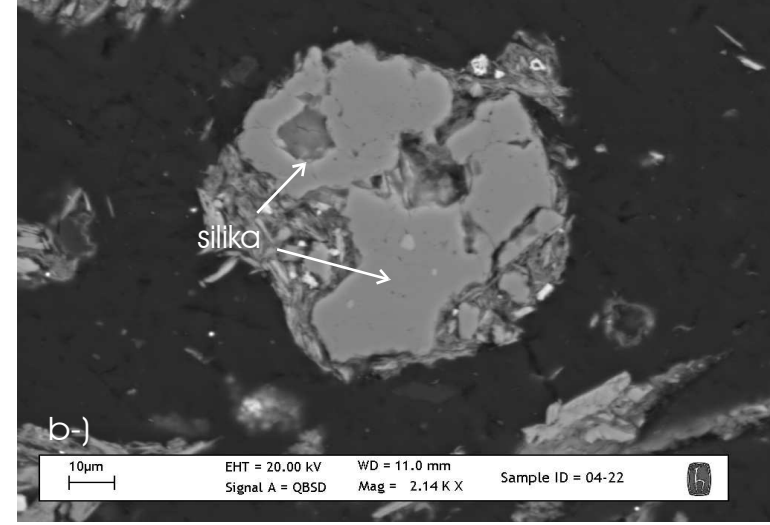
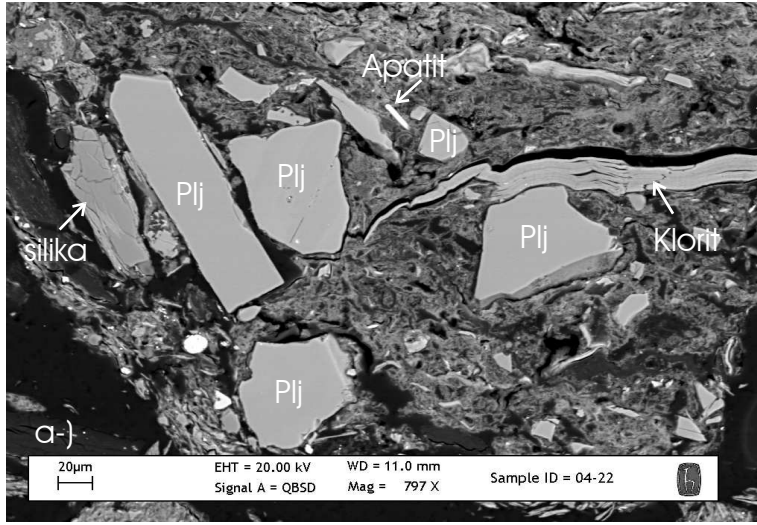
Ek Şekil 10. (devam ediyor). i-) P (pirit). ii-) Kil içerisinde K-Feldispatlar (F).



Ek Şekil 11. Seyitömer termik santralında yanan 04-01 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** Pe (Pentlandit -  $(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$ ), F (Feldispat -  $\text{NaAl-silikat}$ ), Q (Kuars). **b-)** Kömür içerisinde az oranda Ca ve Mn içeren siderit. **c-)** Ankerit. **d-)** Fosil kavkısı ( $\text{CaCO}_3$  bileşimli), F (Feldispat -  $\text{NaAl-silikat}$ ) ve kuvars (Q).

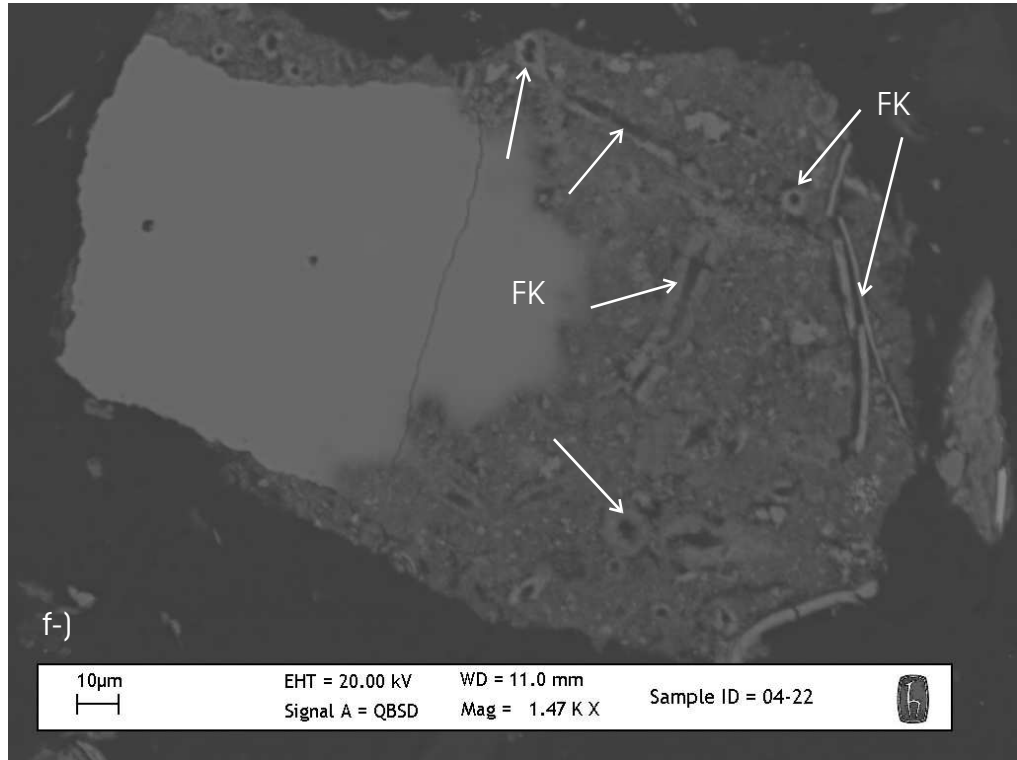
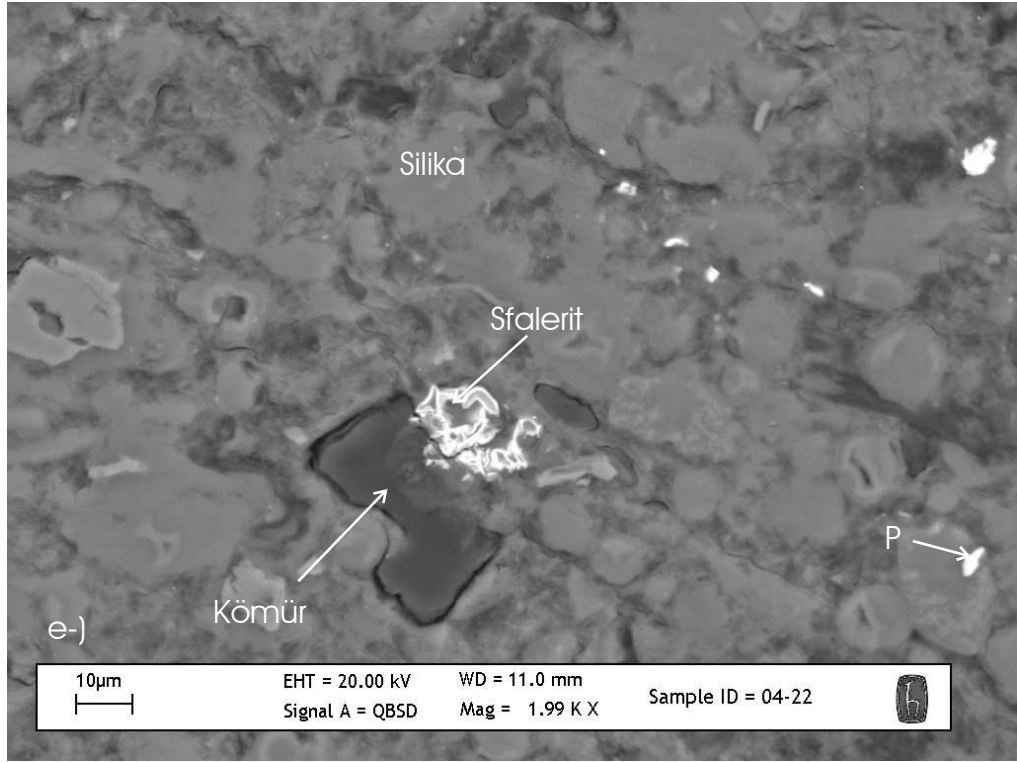


Ek Şekil 12. Seyitömer termik santralında yanan 04-07 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** İllit (I), Plajiyoklaz (Plj), kömür (Ca ve S içeriyor), Q (Kuars). **b-)** CaCO<sub>3</sub> (kalsit veya aragonit). **c-)** Ankerit. **d-)** Kuvars (Q).



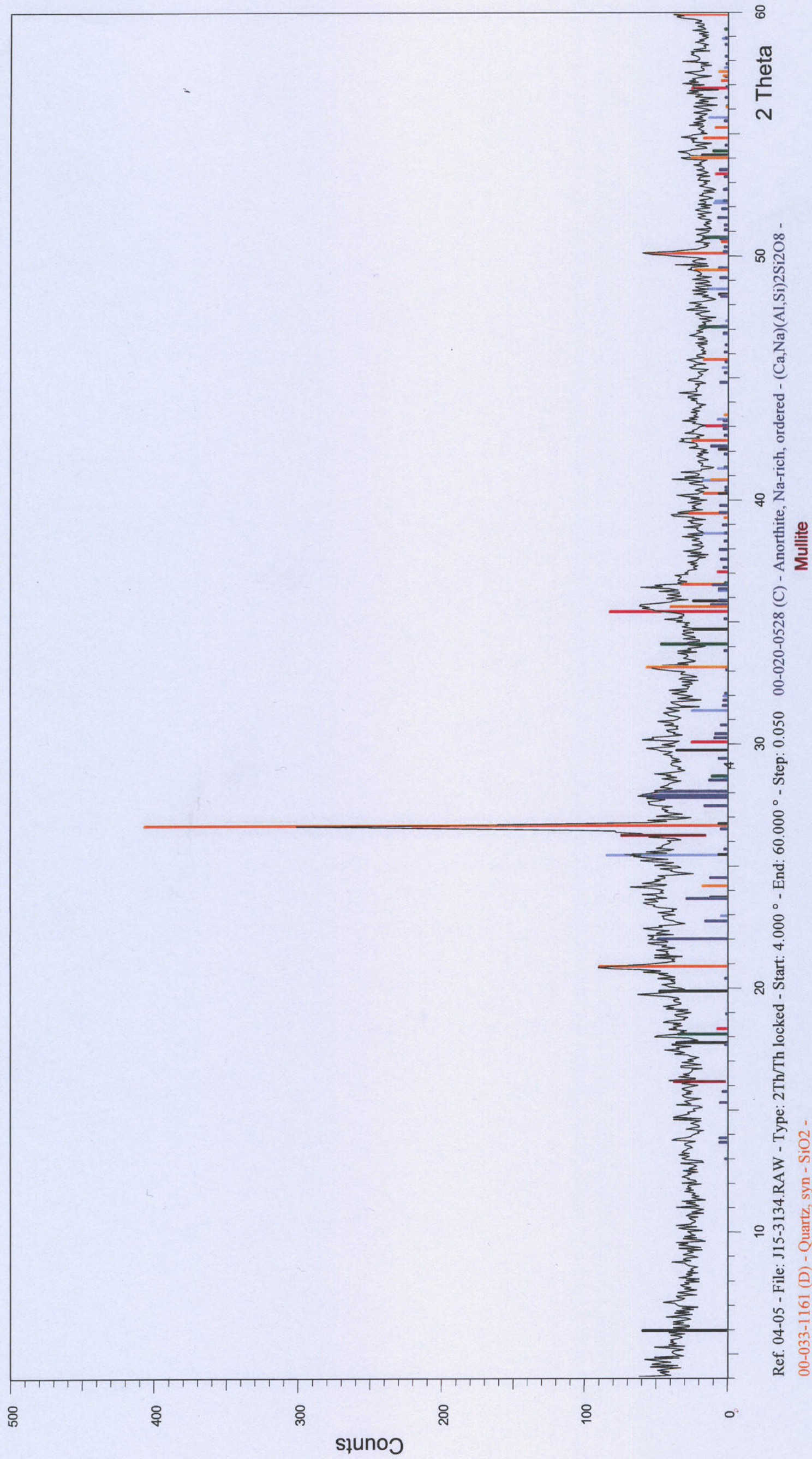
Ek Şekil 13. Seyitömer termik santralında yanan 04-22 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** Plajiyoklaz (Plj), klorit (az oranda Ti içeriyor), apatit (Cl'lü), silika. **b-)** Silika. **c-)** Kömür ve kil (Al-silikat az oranda Mg,K,Ca,Fe içeriyor) ardalanması ve pentlandit (Pe). **d-)** Framboidal piritler (P).





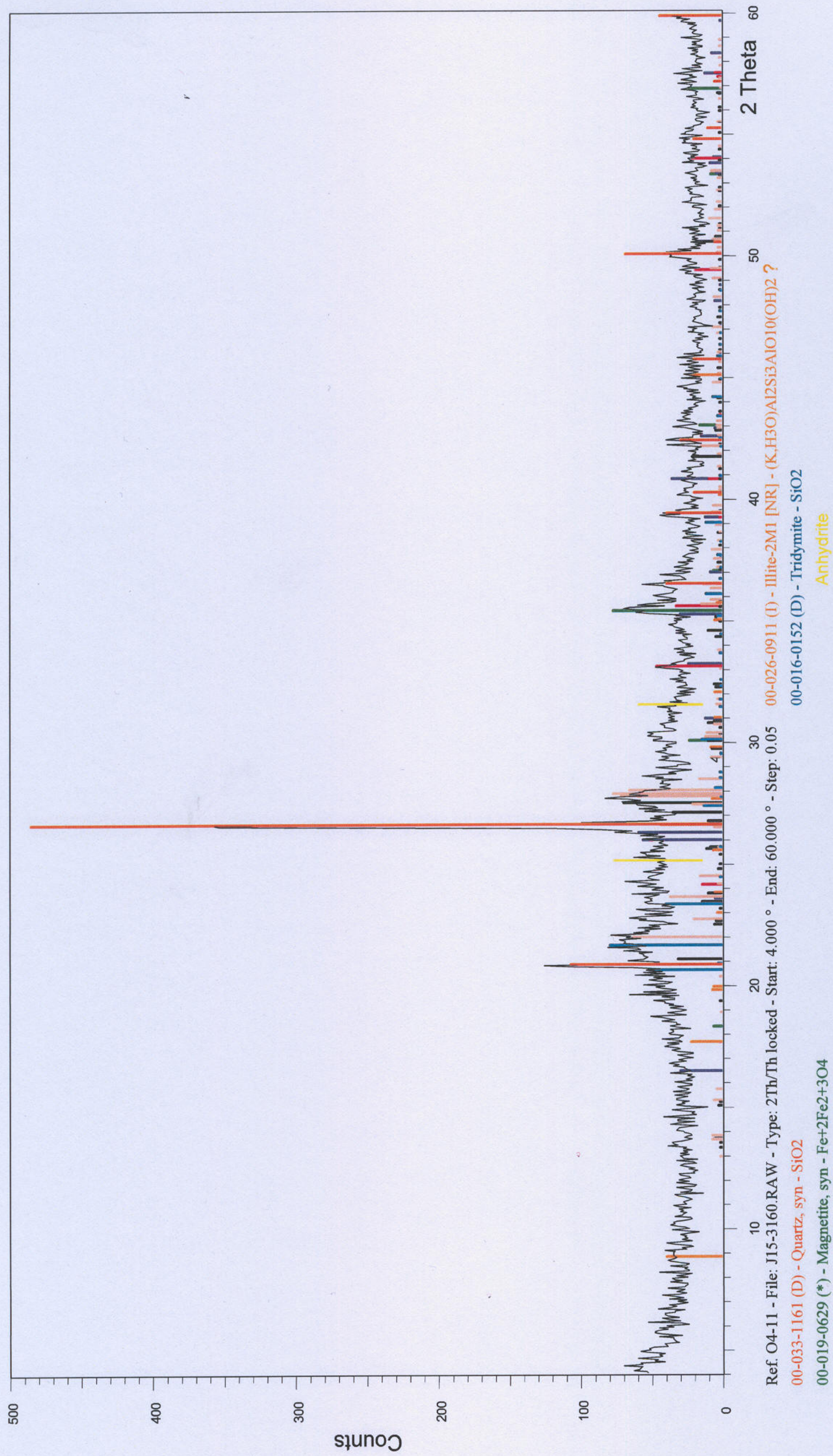
Ek Şekil 13. (devam ediyor). **e-)** Silika içerisinde sfalerit (ZnS), kömür ve pirit (P). **f-)** CaCO<sub>3</sub> bileşimli fosil kavkıları (FK).





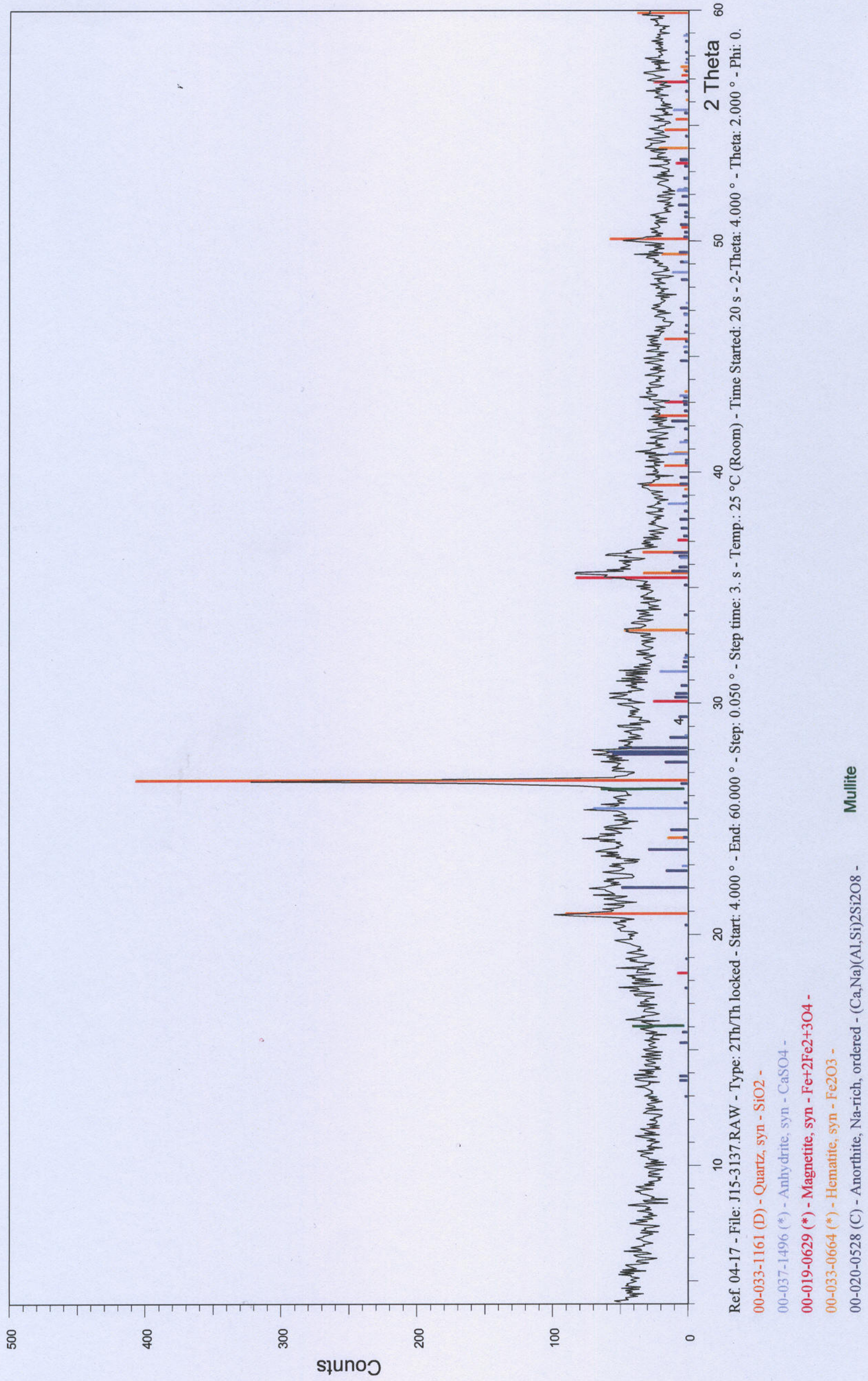
Ek Şekil 14. Seyitömer termik santralından alınan 04-05 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





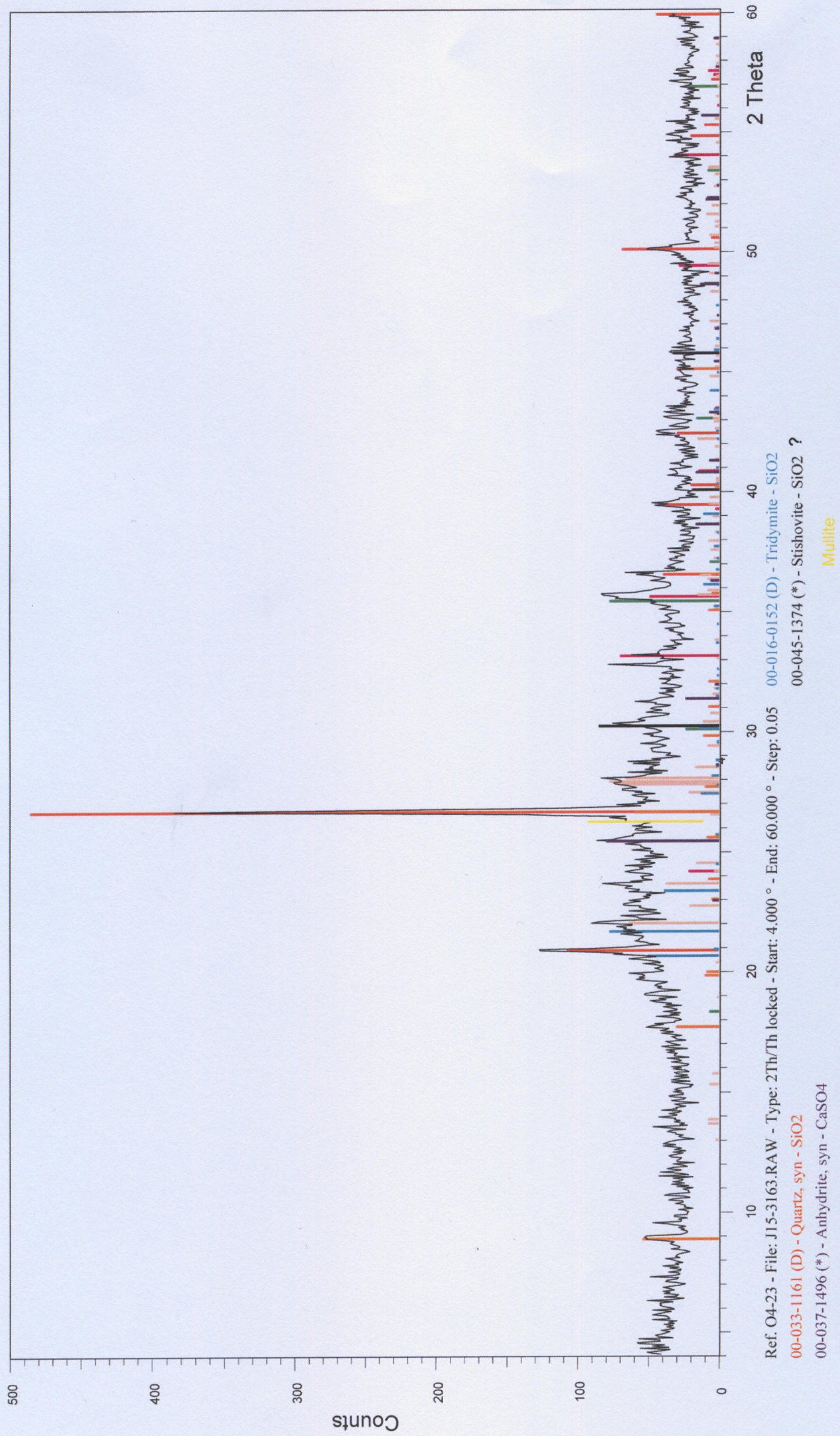
Ek Şekil 15. Seyitömer termik santralından alınan 04-11 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





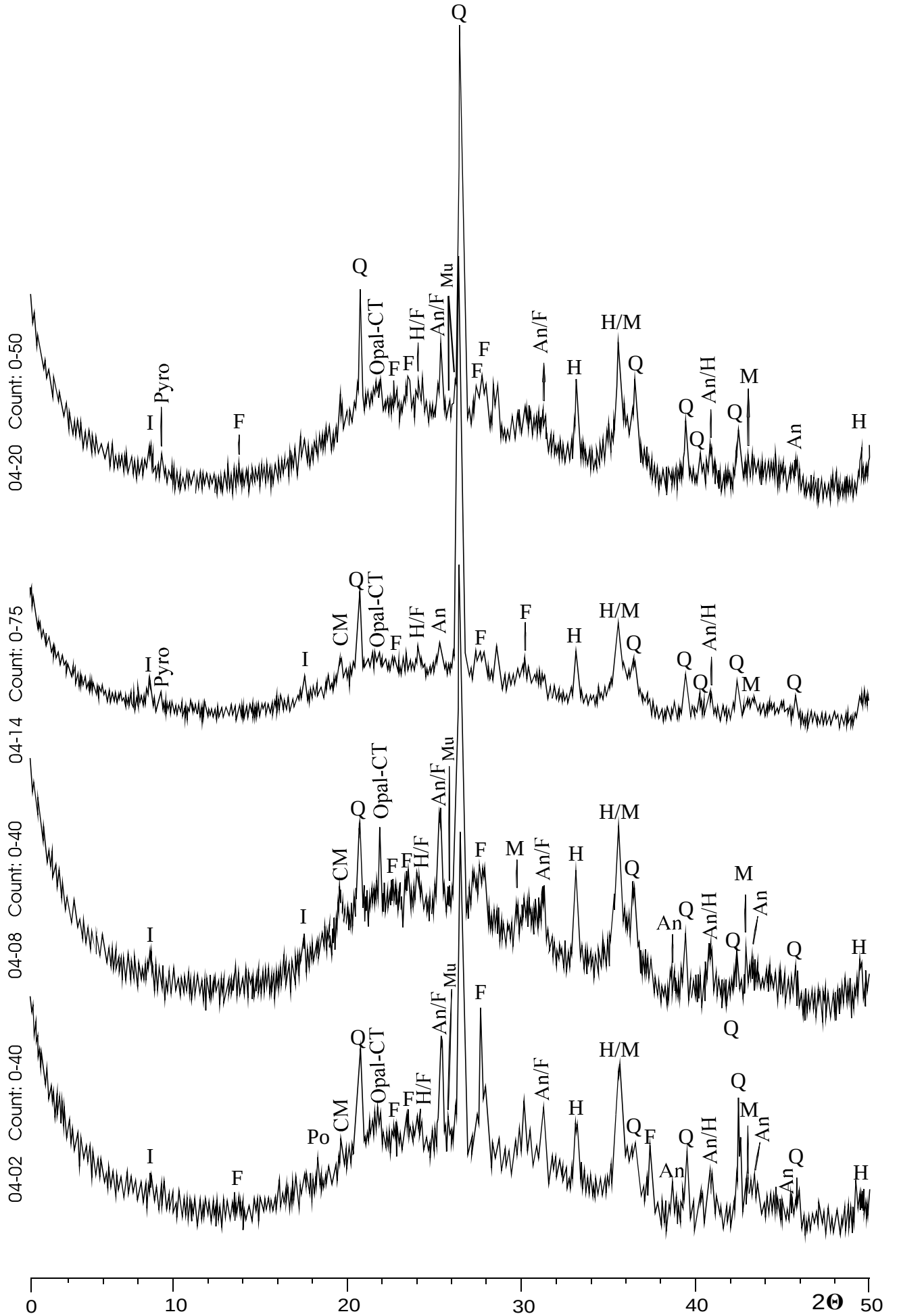
Ek Şekil 16. Seyitömer termik santralından alınan 04-17 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





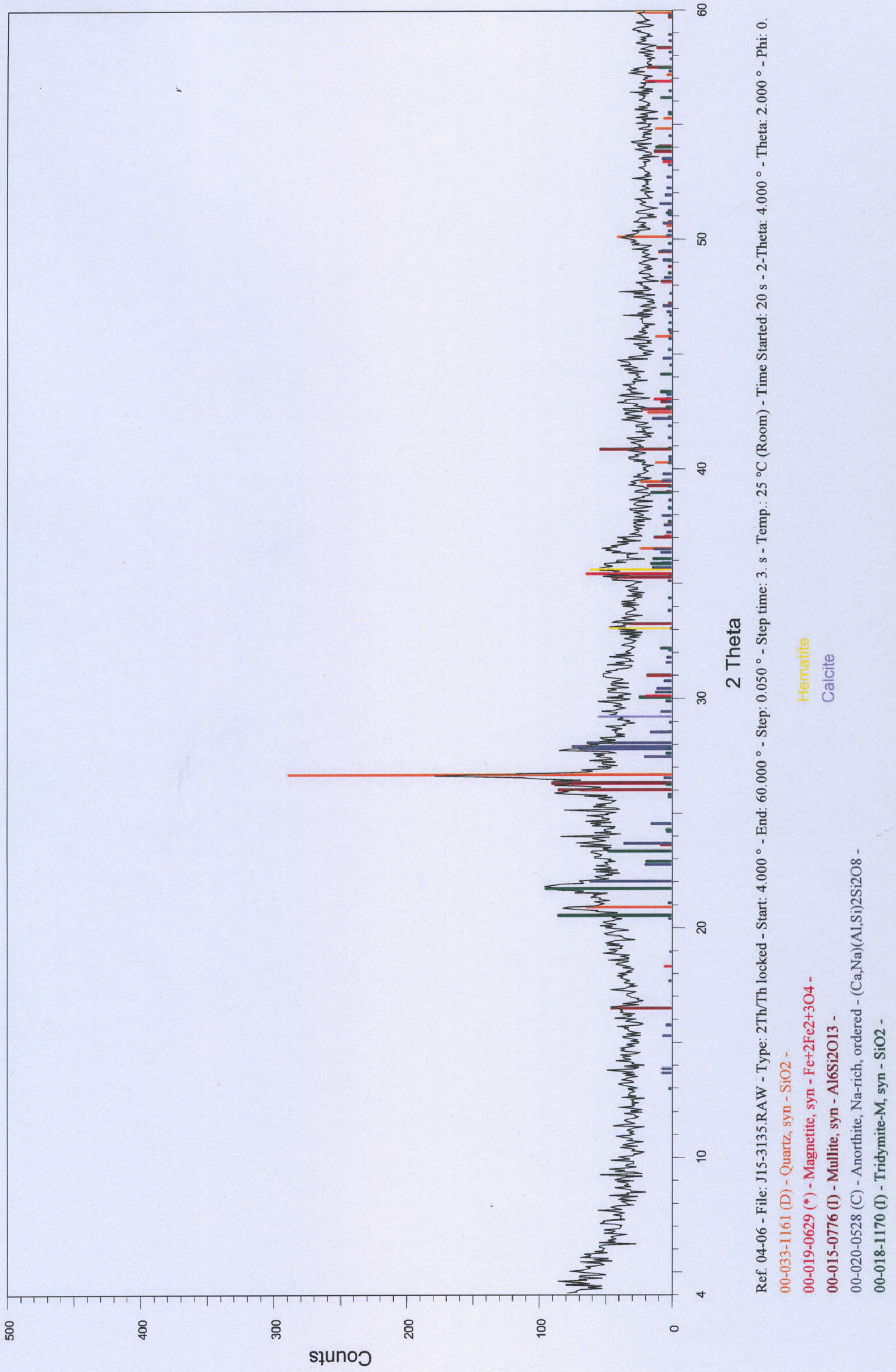
Ek Şekil 17. Seyitömer termik santralından alınan 04-23 nolu uçucu kül örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





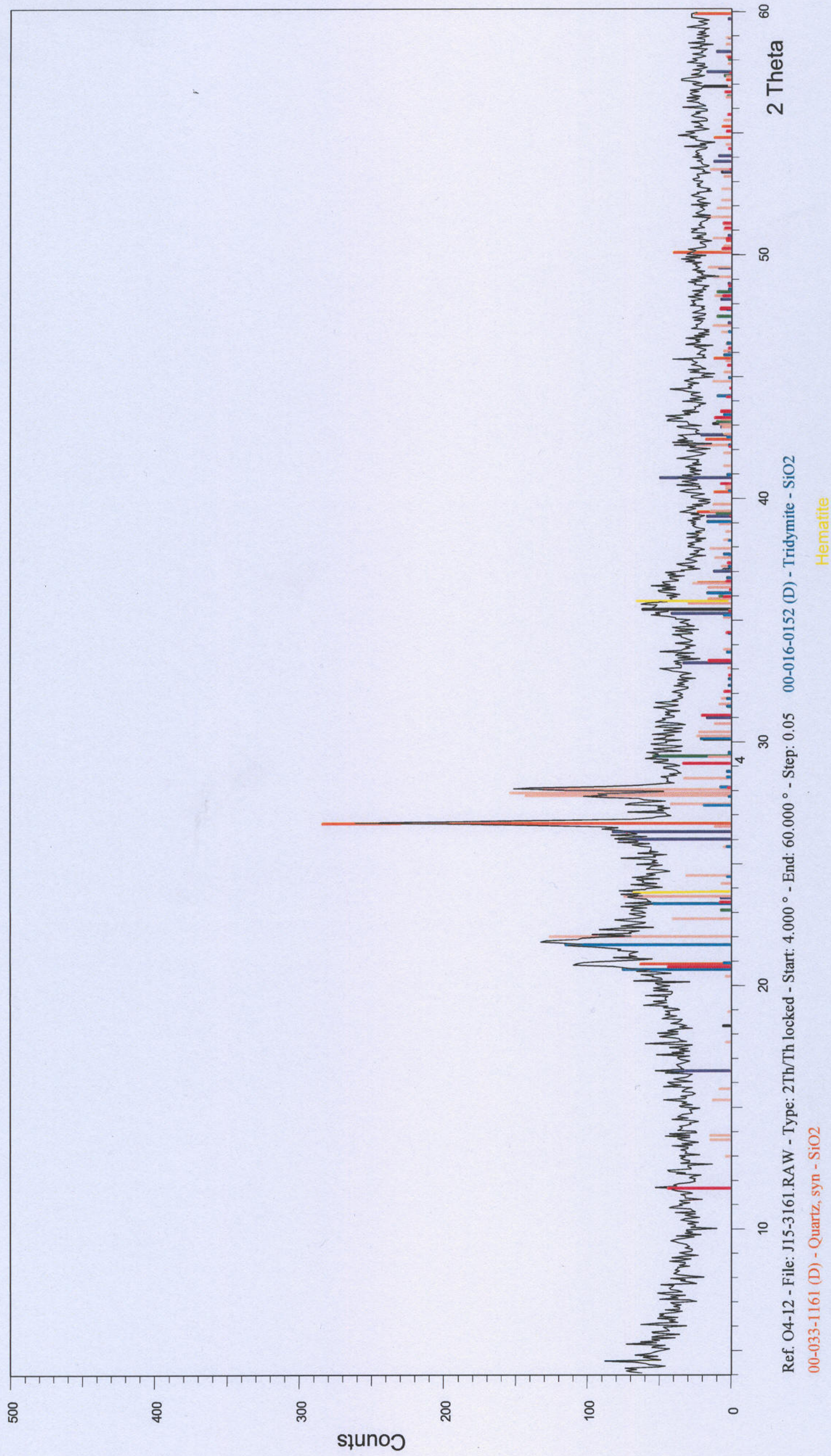
Ek Şekil 18. Seyitömer termik santralından alınan 04-02, 04-08, 04-14 ve 04-20 nolu uçucu kül örneklerinin X-ışınları toz difraktogramları. Q:Kuars, An:Anhidrit, F:Feldspat, H:Hematit, M:Manyetit, Mu:Mullit, Po: Portlandit, Opal-CT:Kristobalit-Tridimit, Pyro:Pirofillit, I: İlit, CM:Kil Mineralleri.





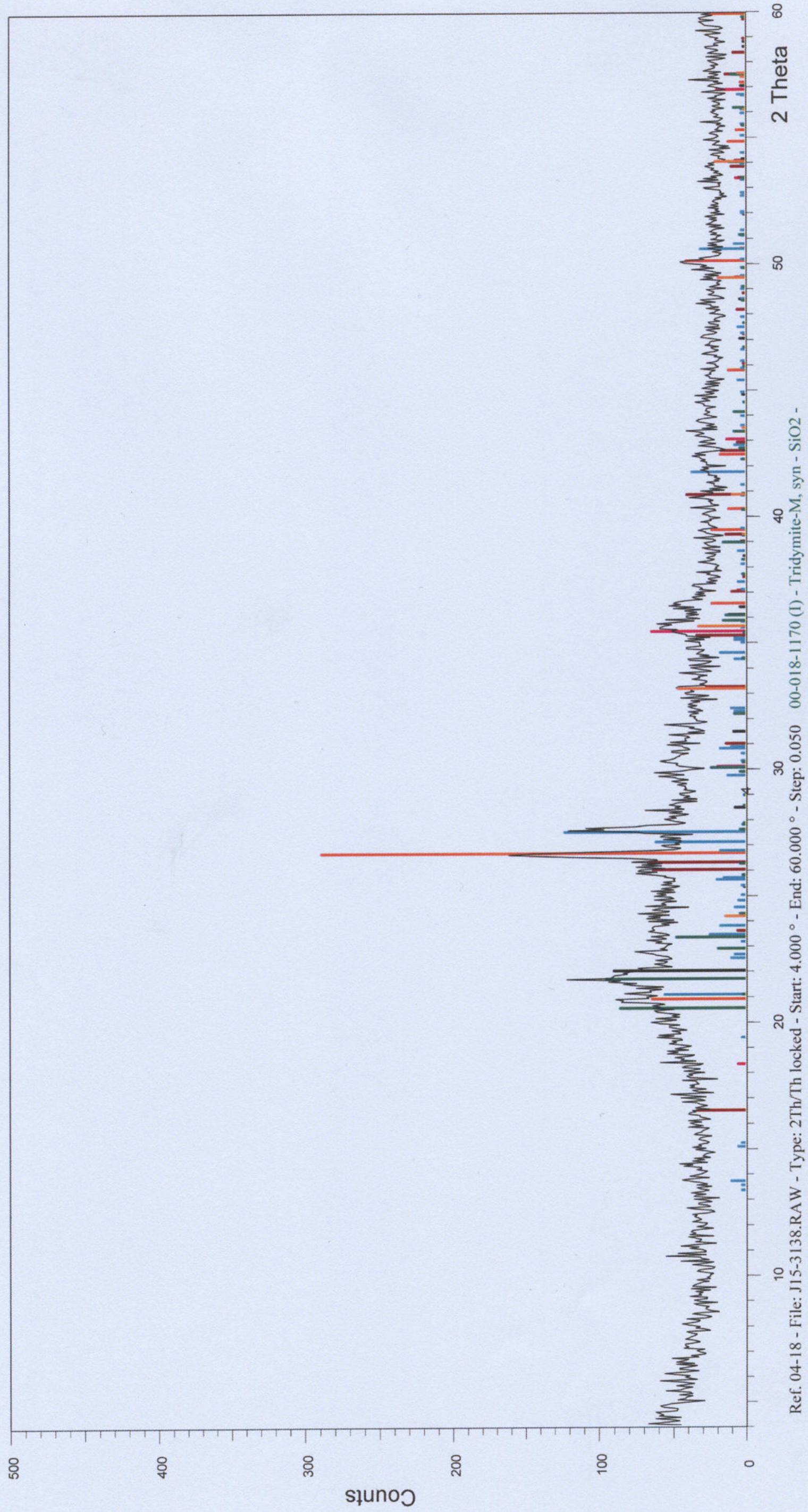
Ek Şekil 19. Seyitömer termik santralından alınan 04-06 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





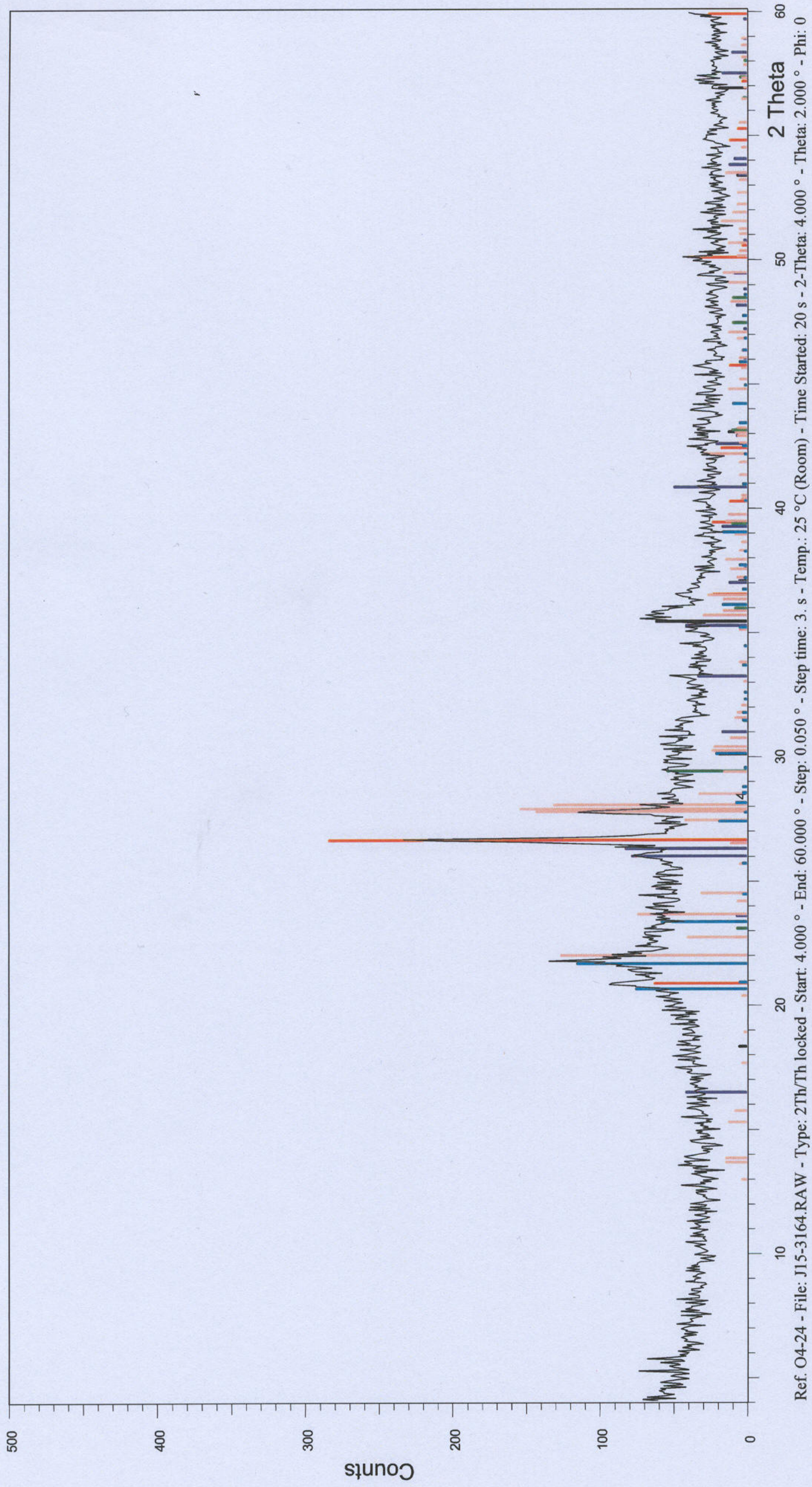
Ek Şekil 20. Seyitömer termik santralından alınan 04-12 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.





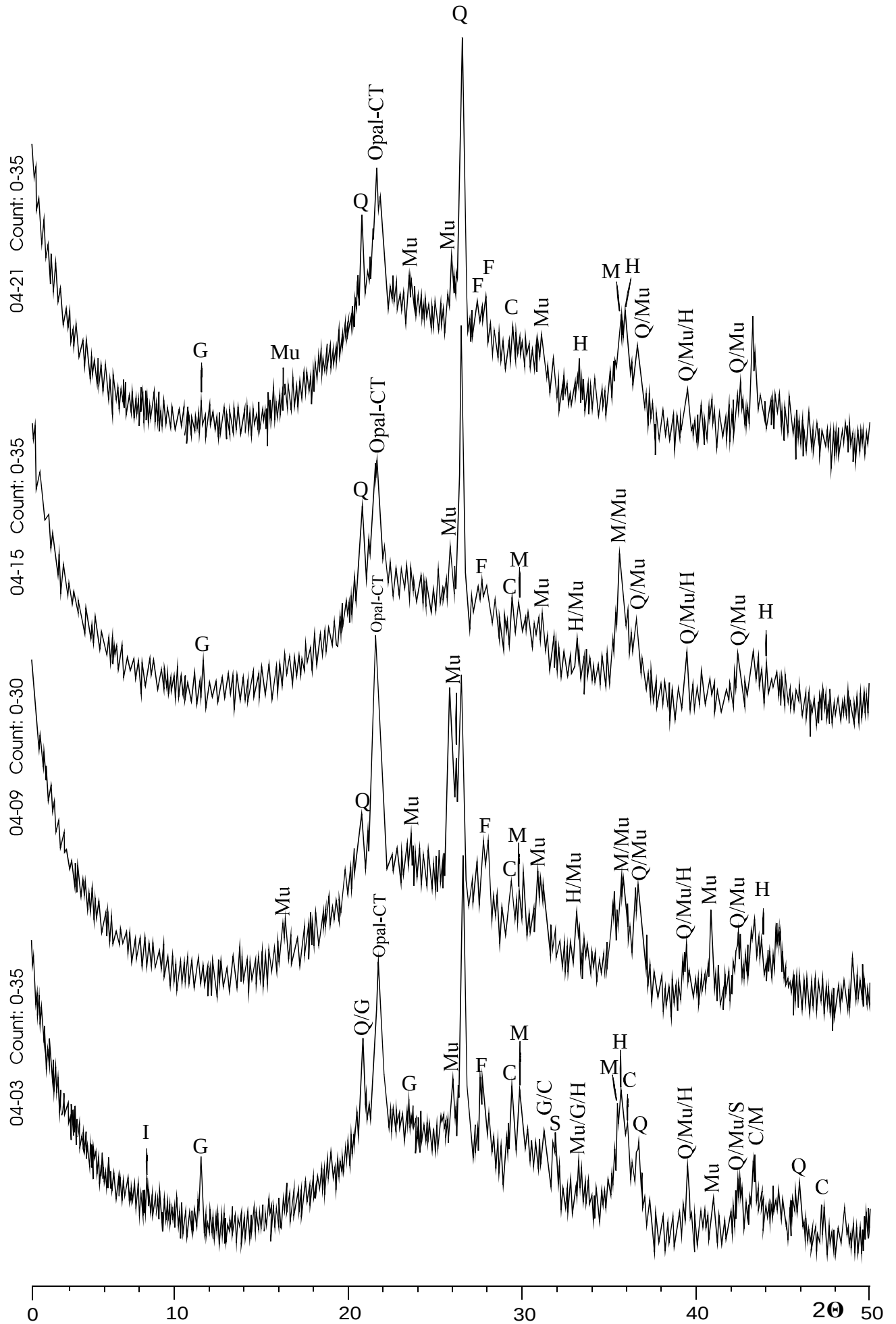
Ek Şekil 21. Seyitömer termik santralından alınan 04-18 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.



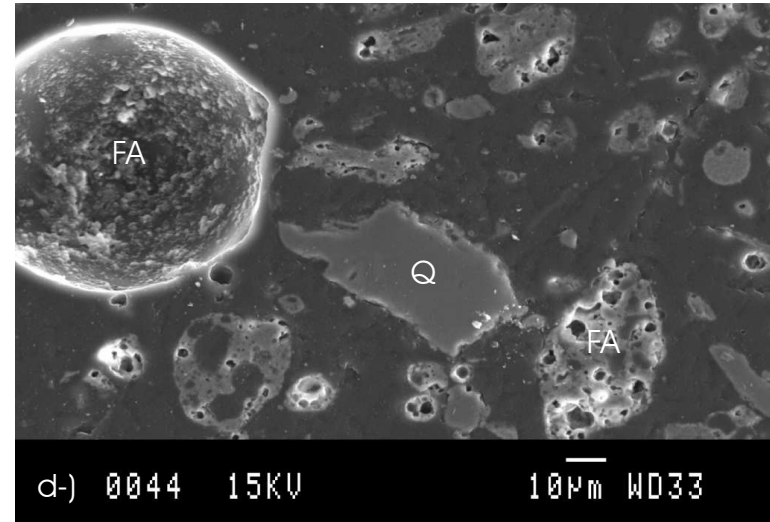
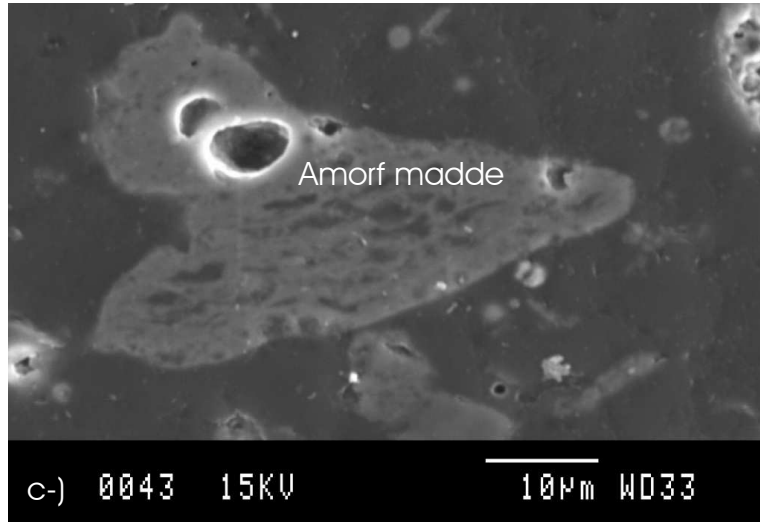
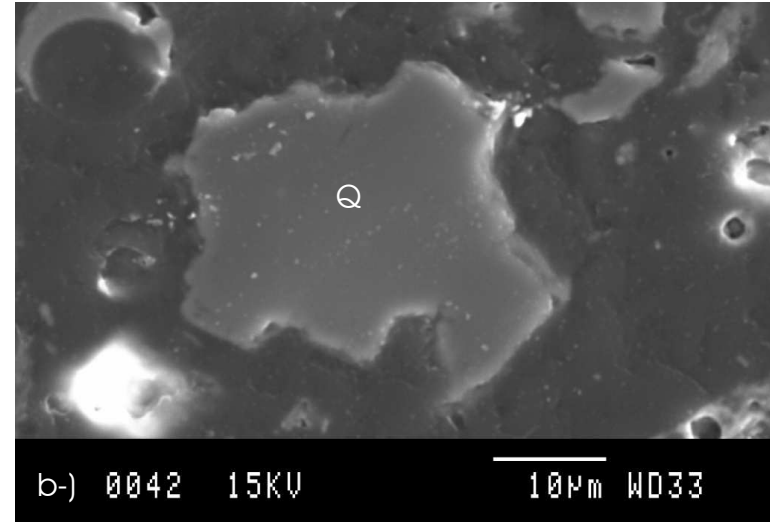
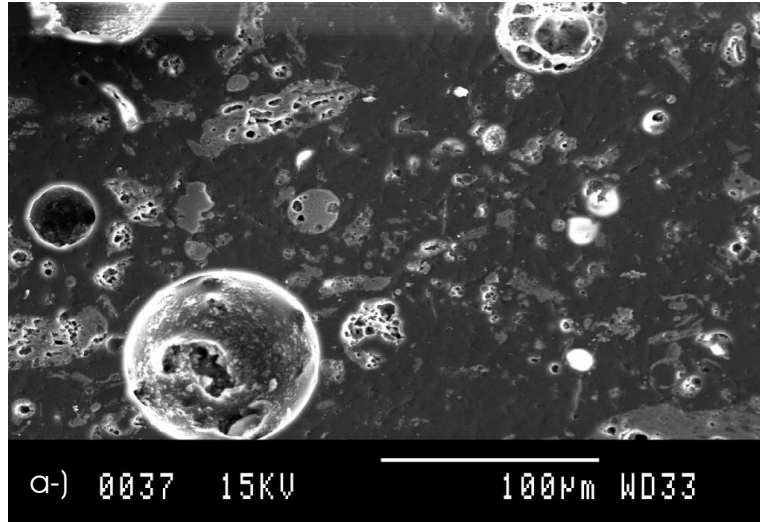


Ek Şekil 22. Seyitömer termik santralından alınan 04-24 nolu taban külü örneğinin X-ışınları toz difraktogramı.

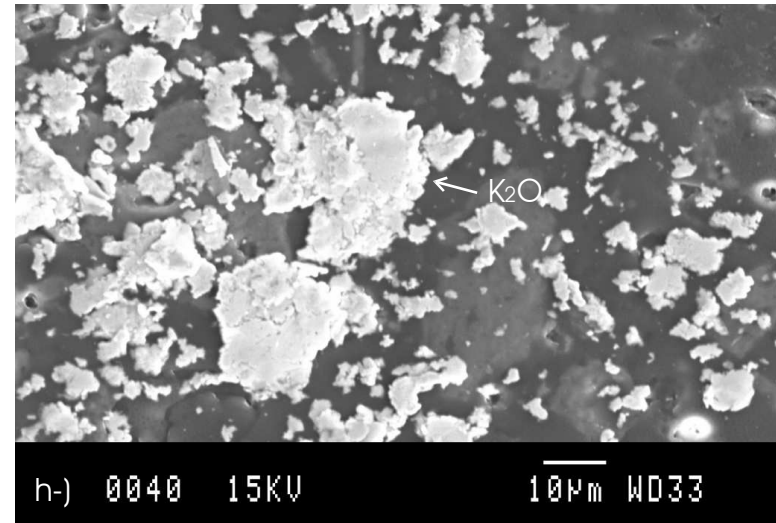
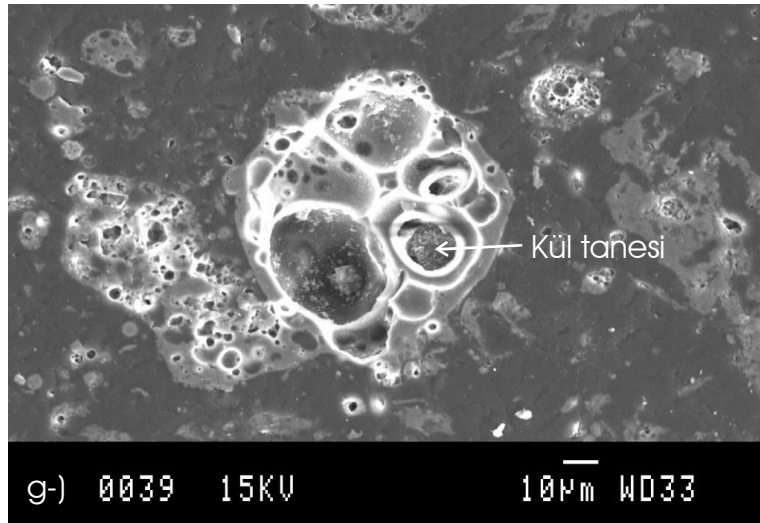
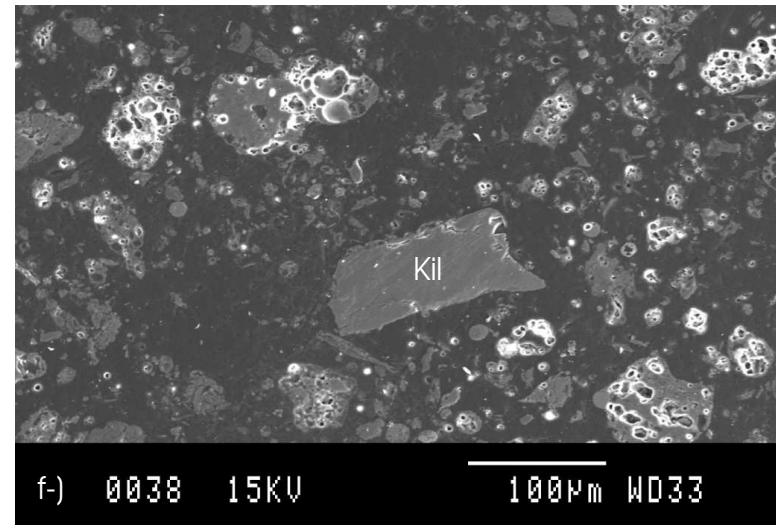
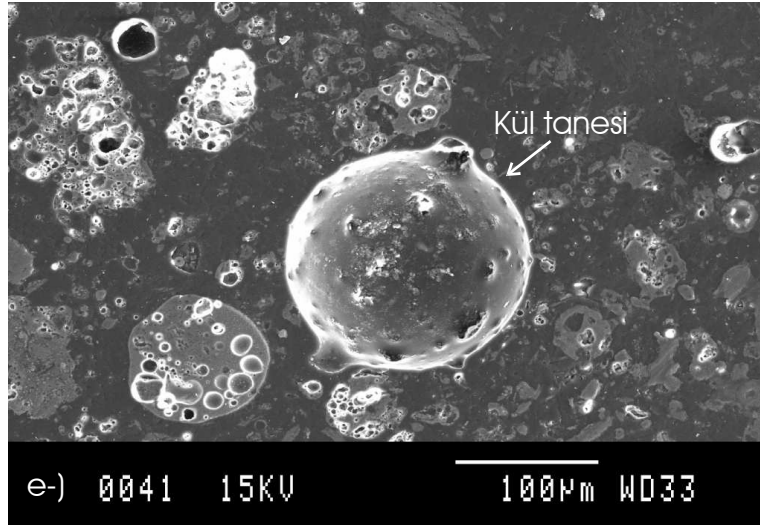




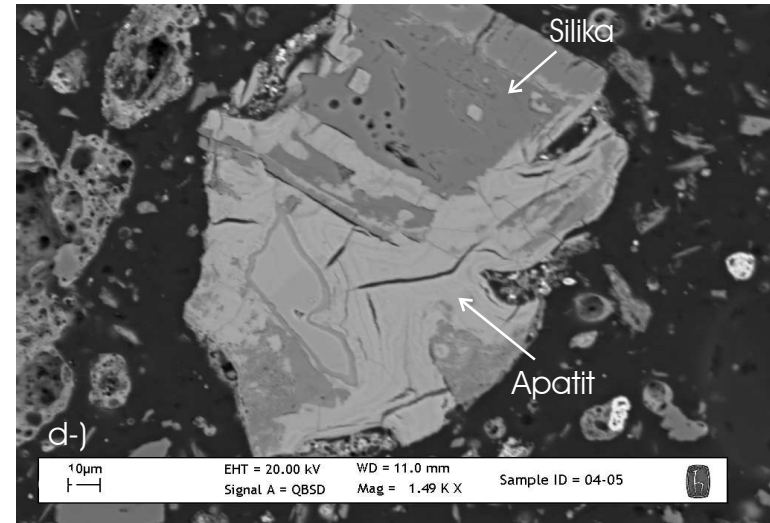
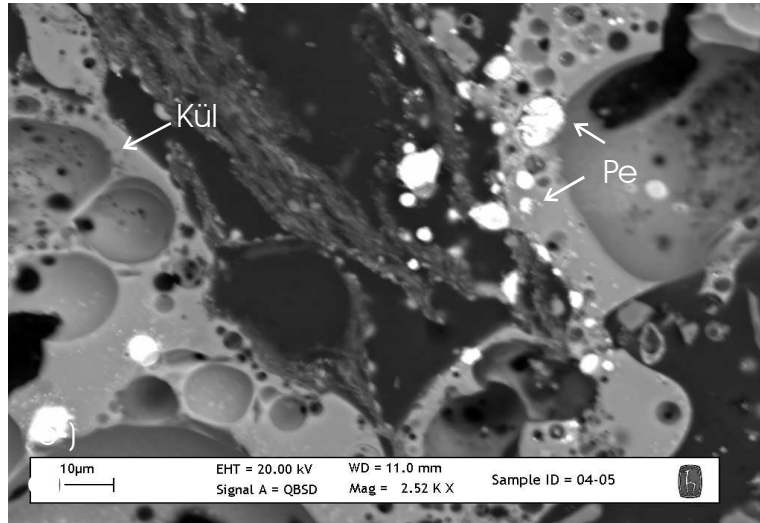
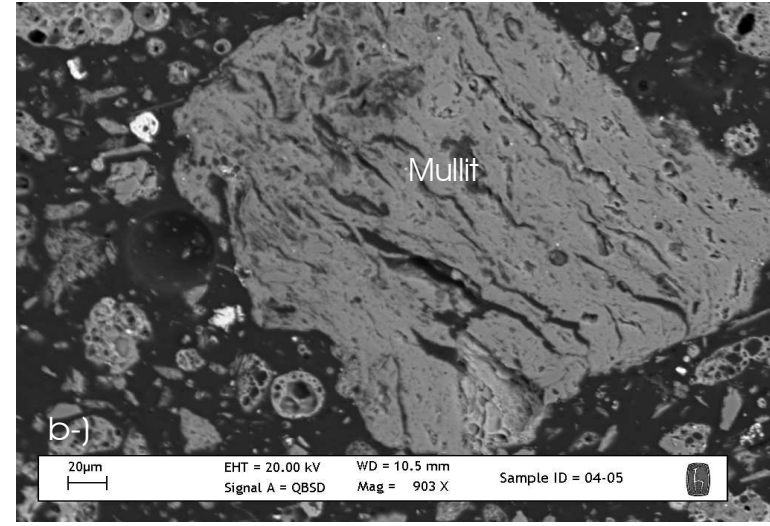
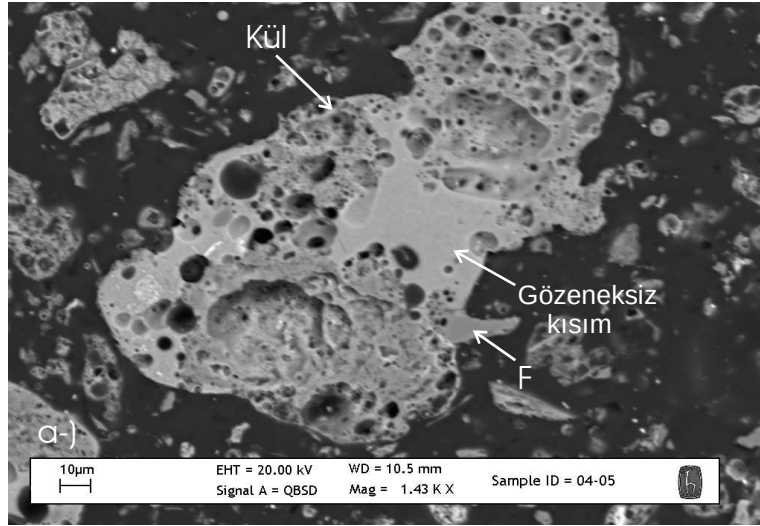
Ek Şekil 23. Seyitömer termik santralından alınan 04-03,04-09,04-15 ve 04-21 nolu taban külü örneklerinin X-ışınları toz difraktogramları. Q:Kuars, F:Feldspat, H:Hematit, M:Manyetit, Mu:Mullit, Opal- CT:Kristobalit-Tridimit, C: Kalsit, S:Siderit, G:Jips, I:İllit,



Ek Şekil 24. Seyitömer termik santralından alınan 04-17 nolu uçucu kül örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** Uçucu külün genel görünümü. Uçucu kül tanesi yüksek oranda Fe, Mg, Al-silikattan oluşmaktadır. **b-)** Kuvars (Q). **c-)** Amorf madde (Fe,K,Mg,Al,Si içeriyor). **d-)** Uçucu kül (FA) ve kuvars (Q).

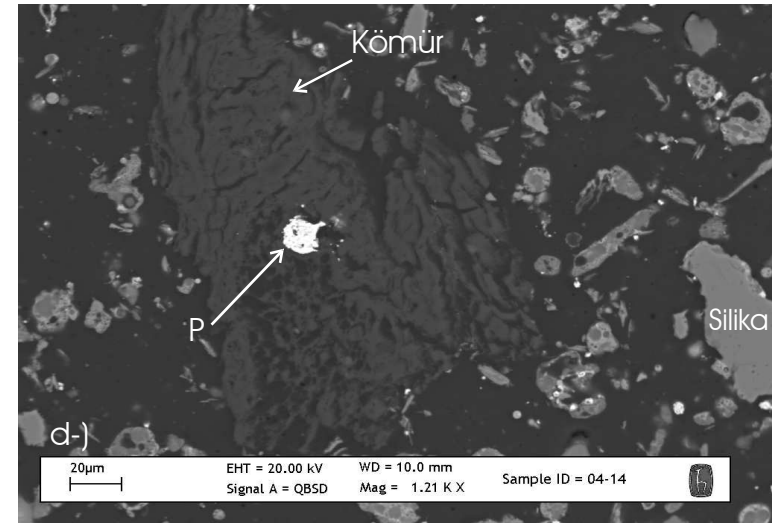
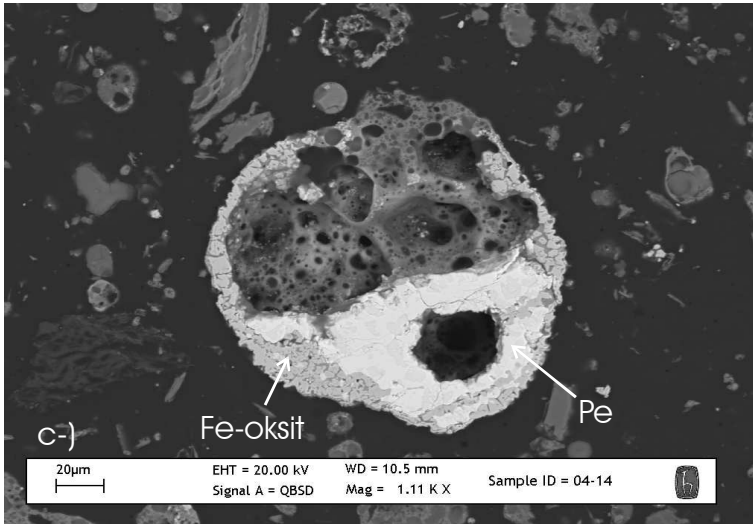
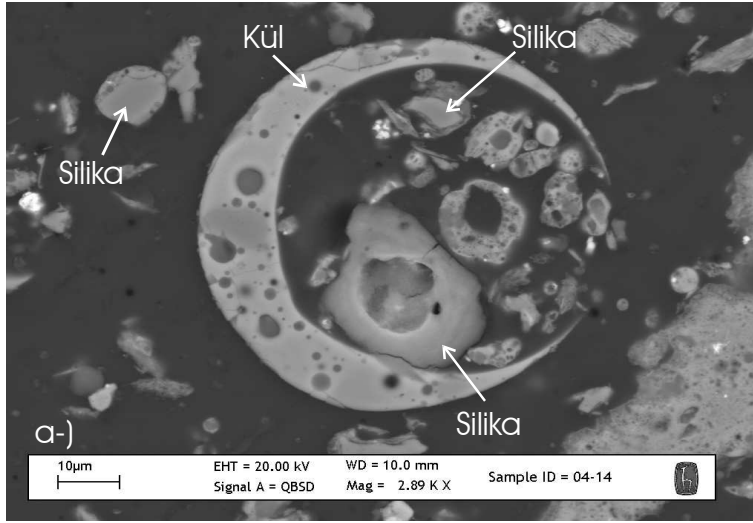


Ek Şekil 24. (devam ediyor). **e-)** Uçucu kül tanesi (K,Fe,Mg,Al,Si içeriyor). **f-)** Kil (K-Alsilikat) **g-)** Uçucu kül tanesi (Ti,Fe,K,Mg,Al,Si içeriyor). **h-)** K<sub>2</sub>O (?).

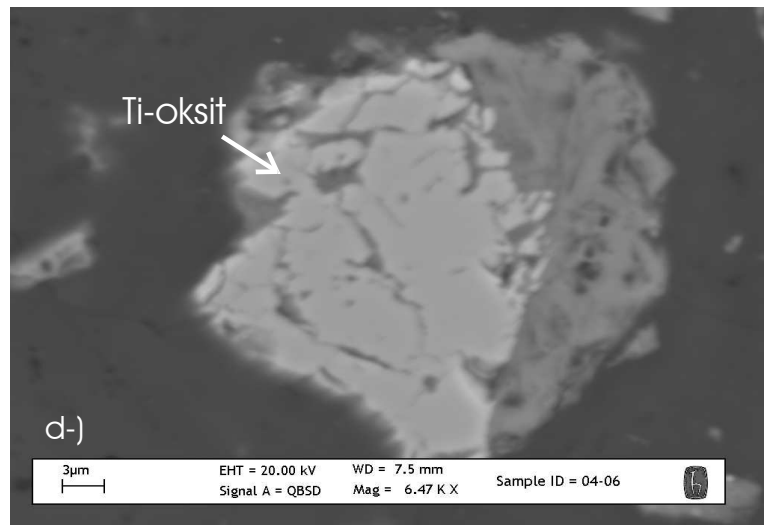
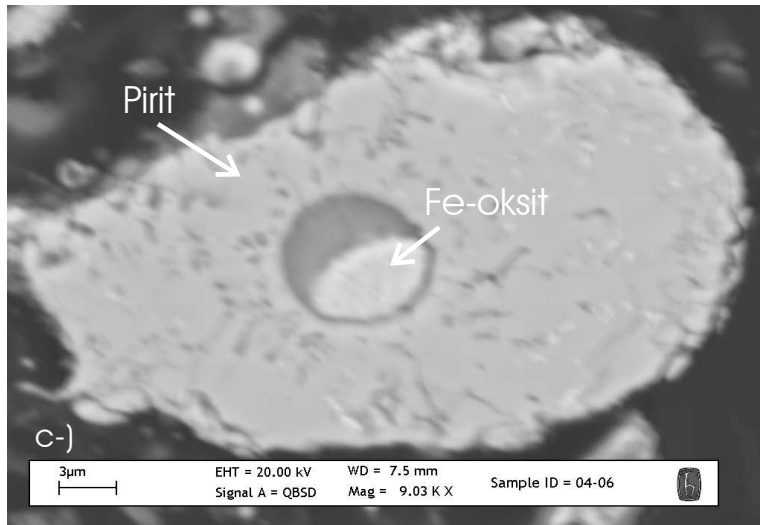
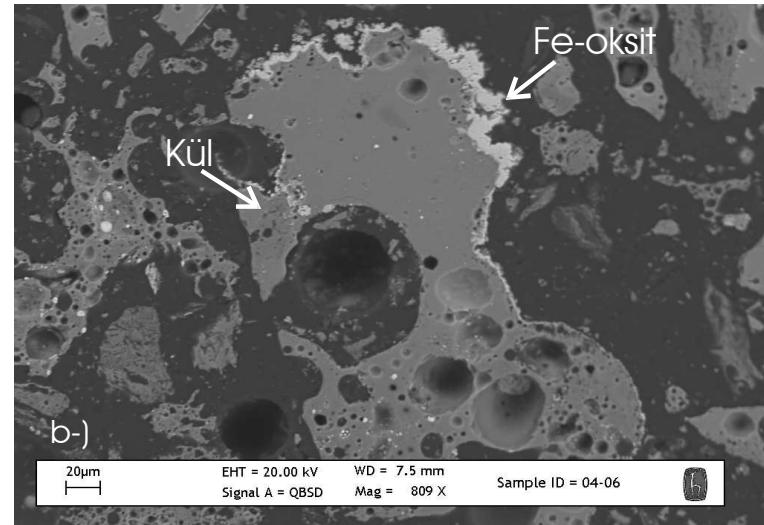
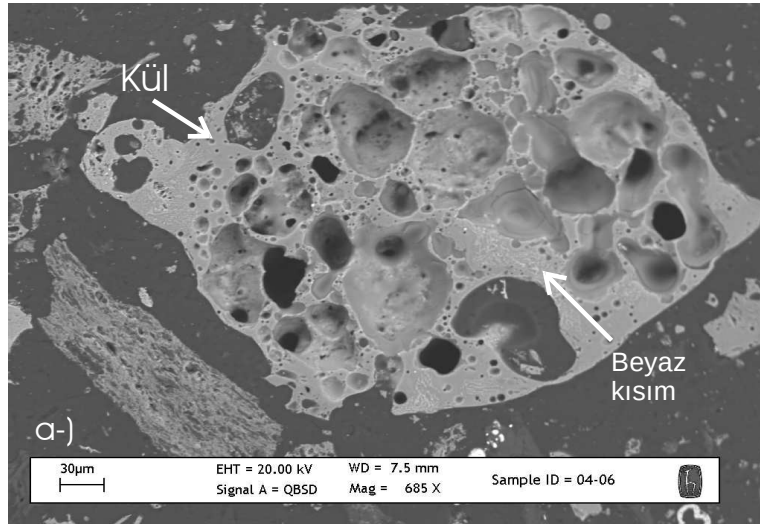


Ek Şekil 25. Seyitömer termik santralından alınan 04-05 nolu u ucu k l örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX  alışması. **a-)** NaKCaFeMgAl-silikat bileşimli k l içinde feldispat (F). K l  zerindeki açık gri renk gösteren gözeneksiz kısımda külün Ca bileşiminde artış gözlenmiştir. Ayrıca bu açık gri bölüm az oranda Ti içermektedir. **b-)** Mullit (az oranda Mg,K,Fe içeriyor). **c-)** Kül içinde pentlandit (Pe). **d-)** Silika ve apatit.

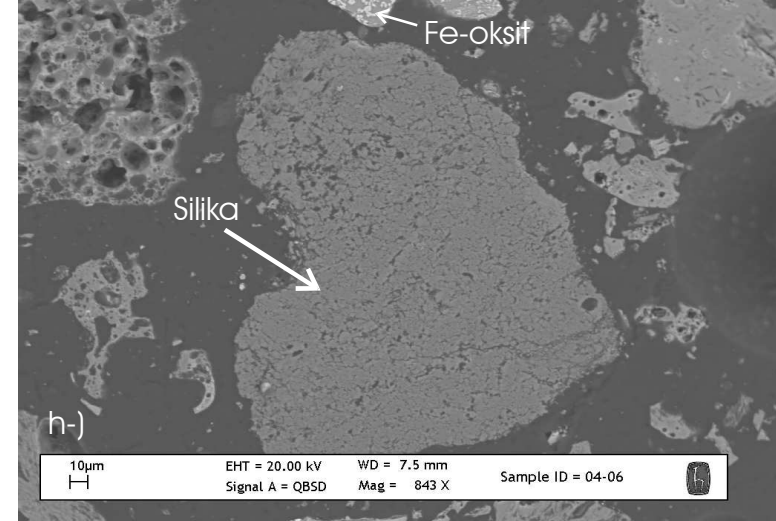
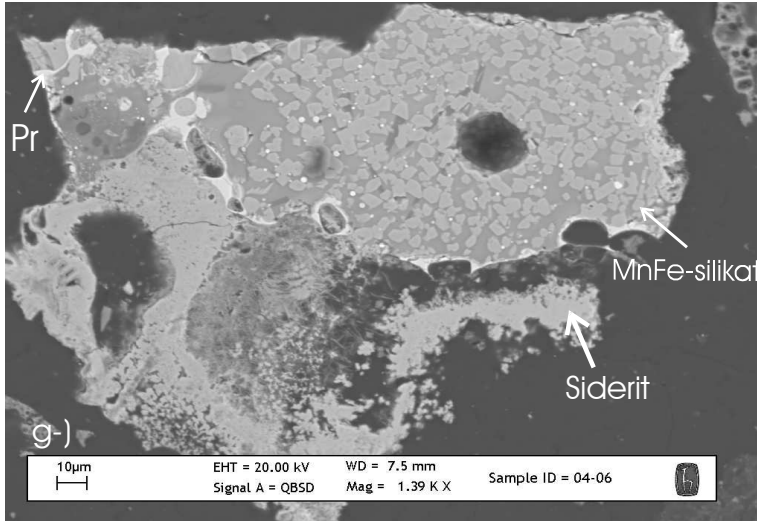
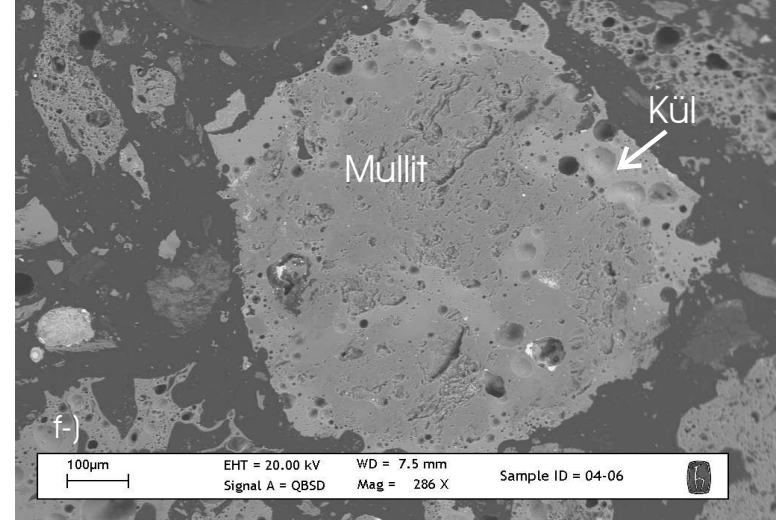
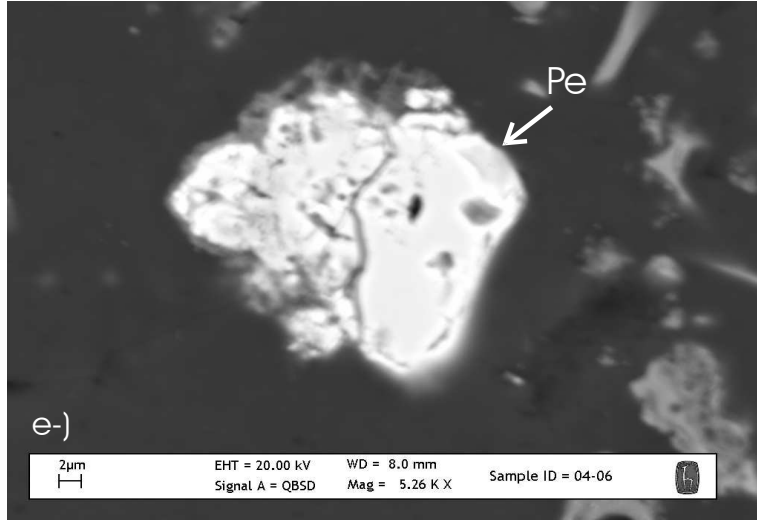




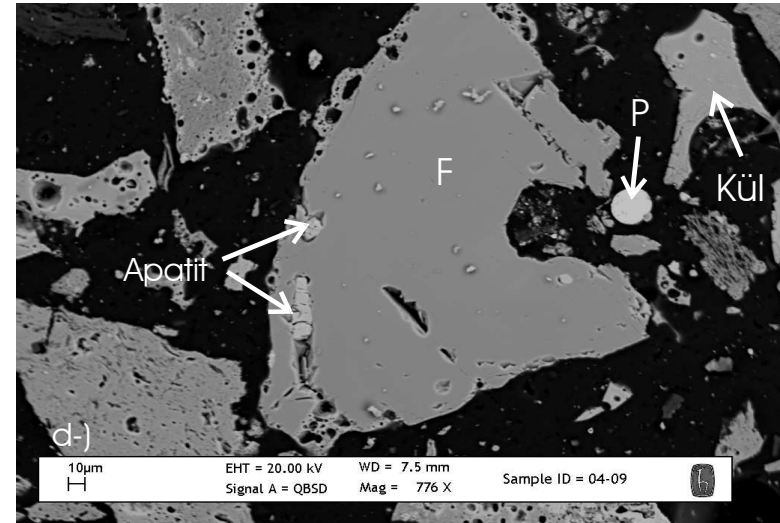
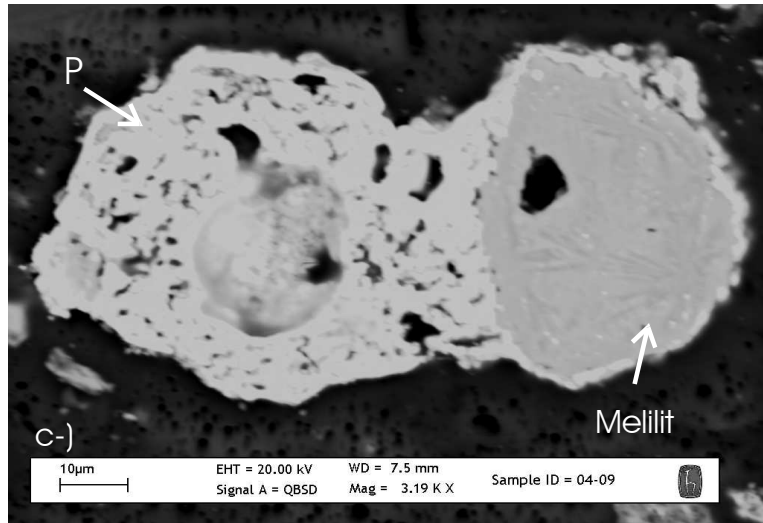
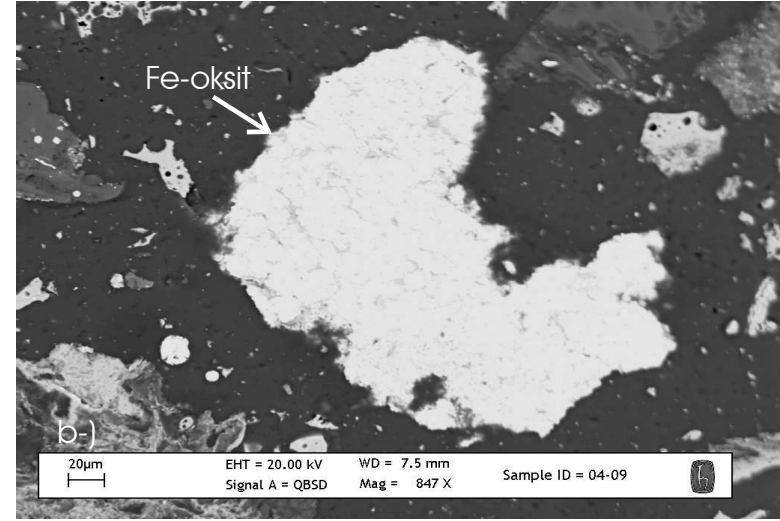
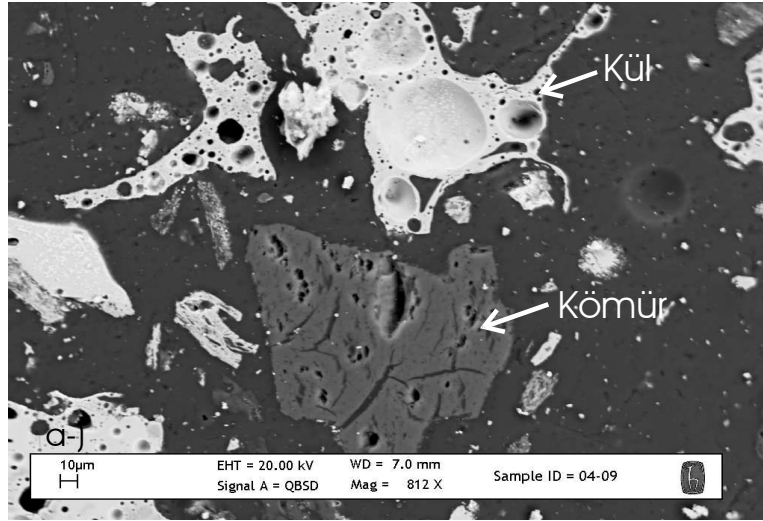
Ek Şekil 26. Seyitömer termik santralından alınan 04-14 nolu uçucu kül örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** Az oranda Na,Fe,Ca ve K içeren MgAl-silikat bileşimindeki kül ve silika. **b-)** Fe-oksit ve silika. **c-)** Kül parçacığındaki pentlandit (Pe) ve Fe-oksit. **d-)** Uçucu kül örneği içerisinde Ca,Mg ve S içeren kömür, pirit (P) ve silika.



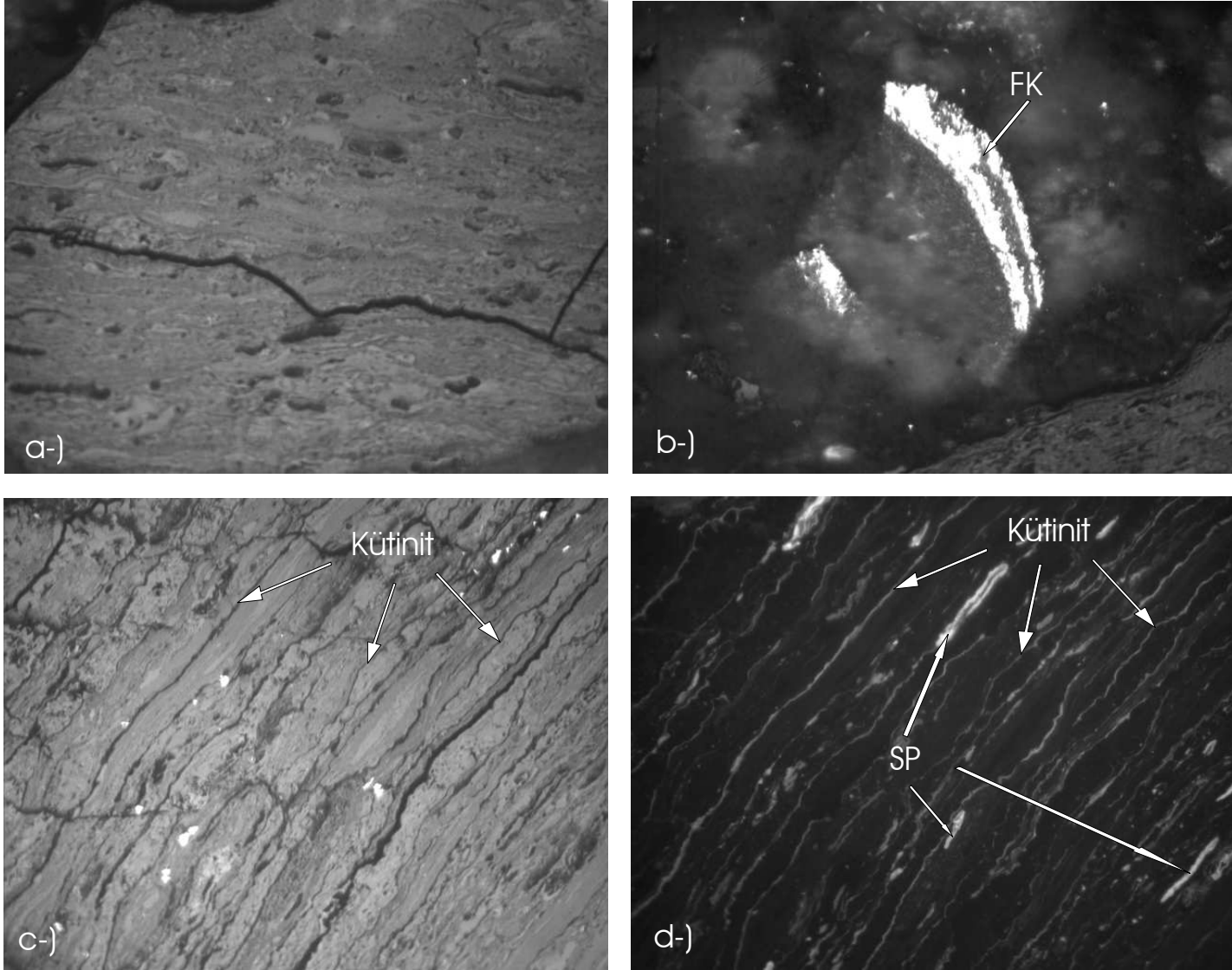
Ek Şekil 27. Seyitömer termik santralından alınan 04-06 nolu taban külü örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** NaKCaFeMgAl-silikat bileşimli kül. Beyaz renk gösteren kısımlarda Mg, özellikle Ca ve Fe oranı artmaktadır. **b-)** KFeCaMgAl-silikat bileşimli kül ve Fe-oksit. **c-)** Pirit ve Fe-oksit. **d-)** Ti-oksit.



Ek Şekil 27. (devam ediyor). **e-)** Pentlandit (Pe). **f-)** KCaFeMgAl-silikat bileşimli kül ve mullit (az oranda Fe içeriyor). **g-)** Pirotin (Pr), siderit, CaMgMnFe-silikat (Ca ve Mg içeriği düşük, Mn içeriği yüksek). **h-)** Silika ve Fe-oksit.

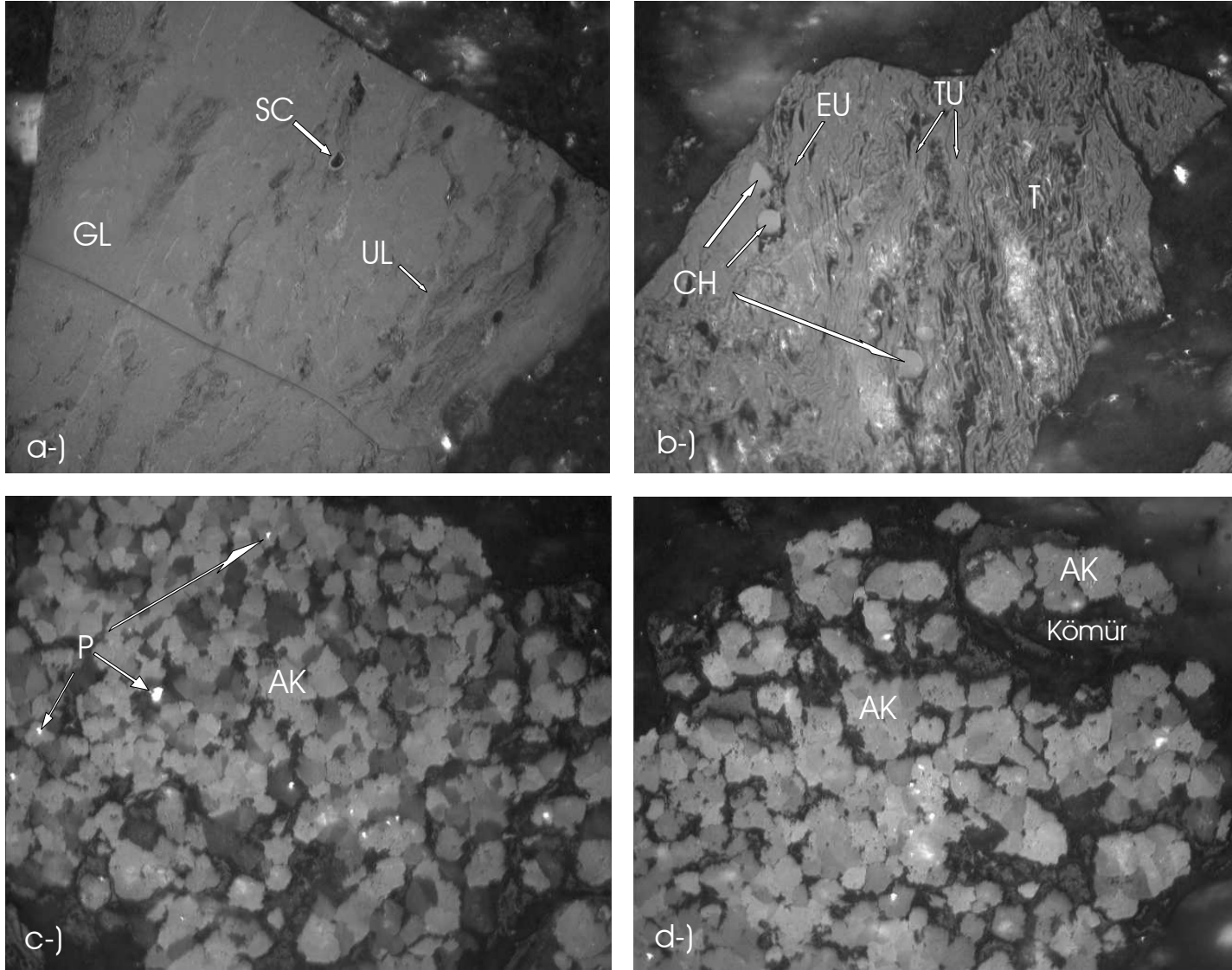


Ek Şekil 28. Seyitömer termik santralından alınan 04-09 nolu taban külü örneğinde gerçekleştirilen SEM-EDX çalışması. **a-)** KCaFeMgAl-silikat bileşimli kül ve Ca ve S'ce zengin kömür parçası. **b-)** Fe-oksit **c-)** Melilit (CaMgAl-silikat) ve pirit (P). **d-)** NaCaAl-silikat bileşimli feldspat (F) ve apatit (Ca-fosfat), KFeMgCaAl-silikat bileşimli kül, pirit (P).

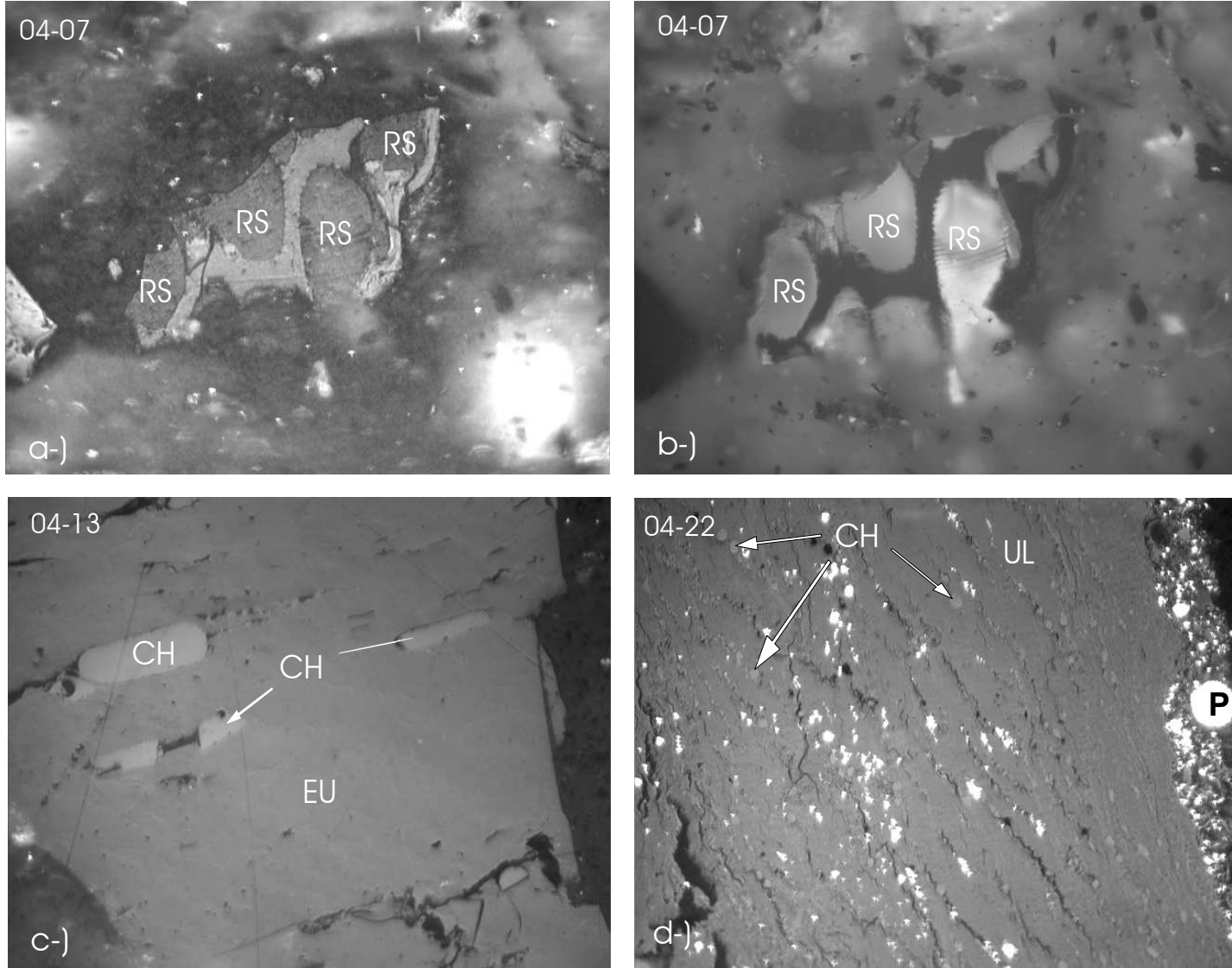


Ek Şekil 29. Seyitömer termik santralında yanan 04-01 nolu kömür örneğininde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **a-)** Seyitömer kömürünün tipik görünümü. **b-)** Piritli fosil kavkısı (FK). **c-)** Kütinit ve sporinitler (SP). **d-)** Foto c'nin floresans ışık altında görünümü.

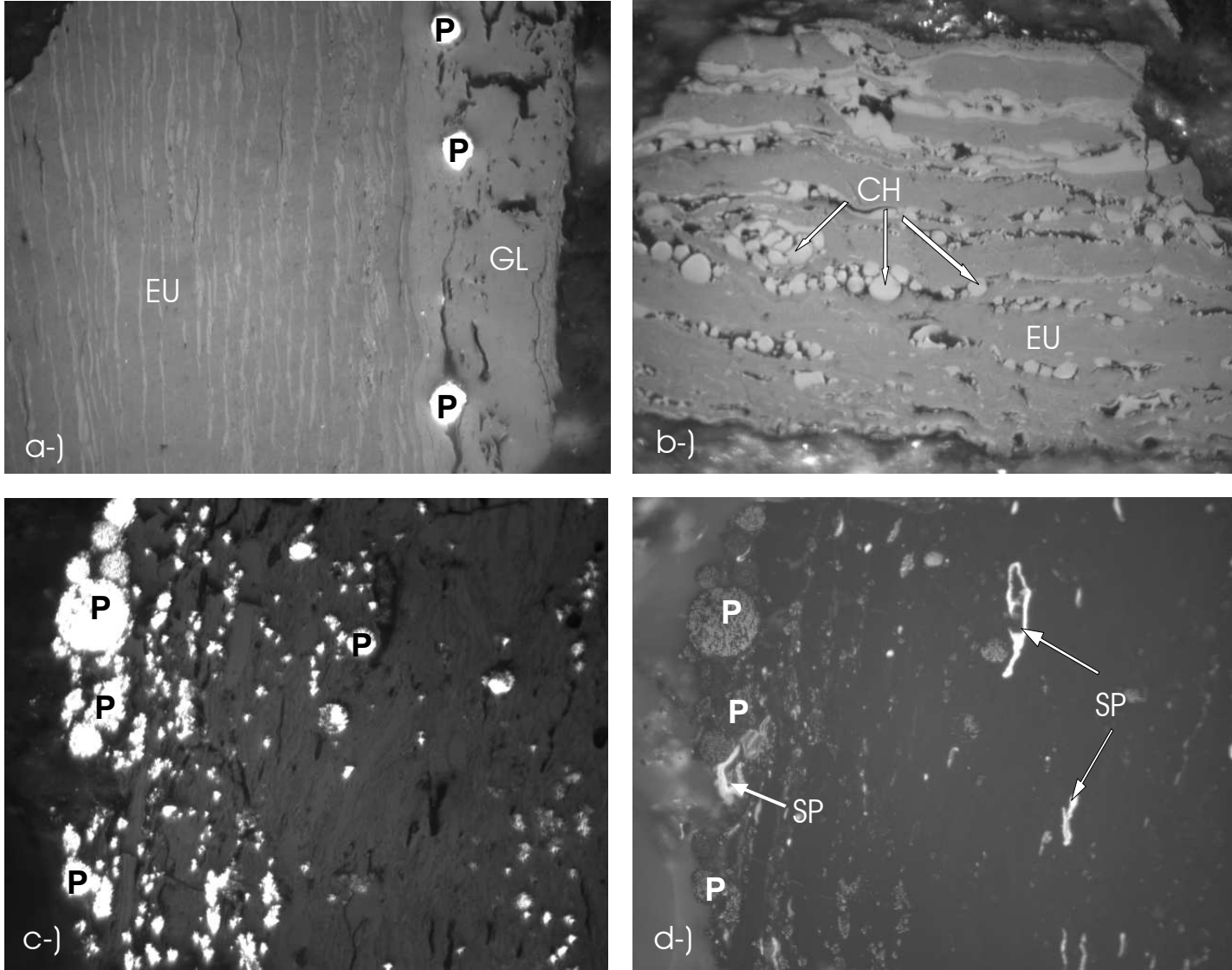




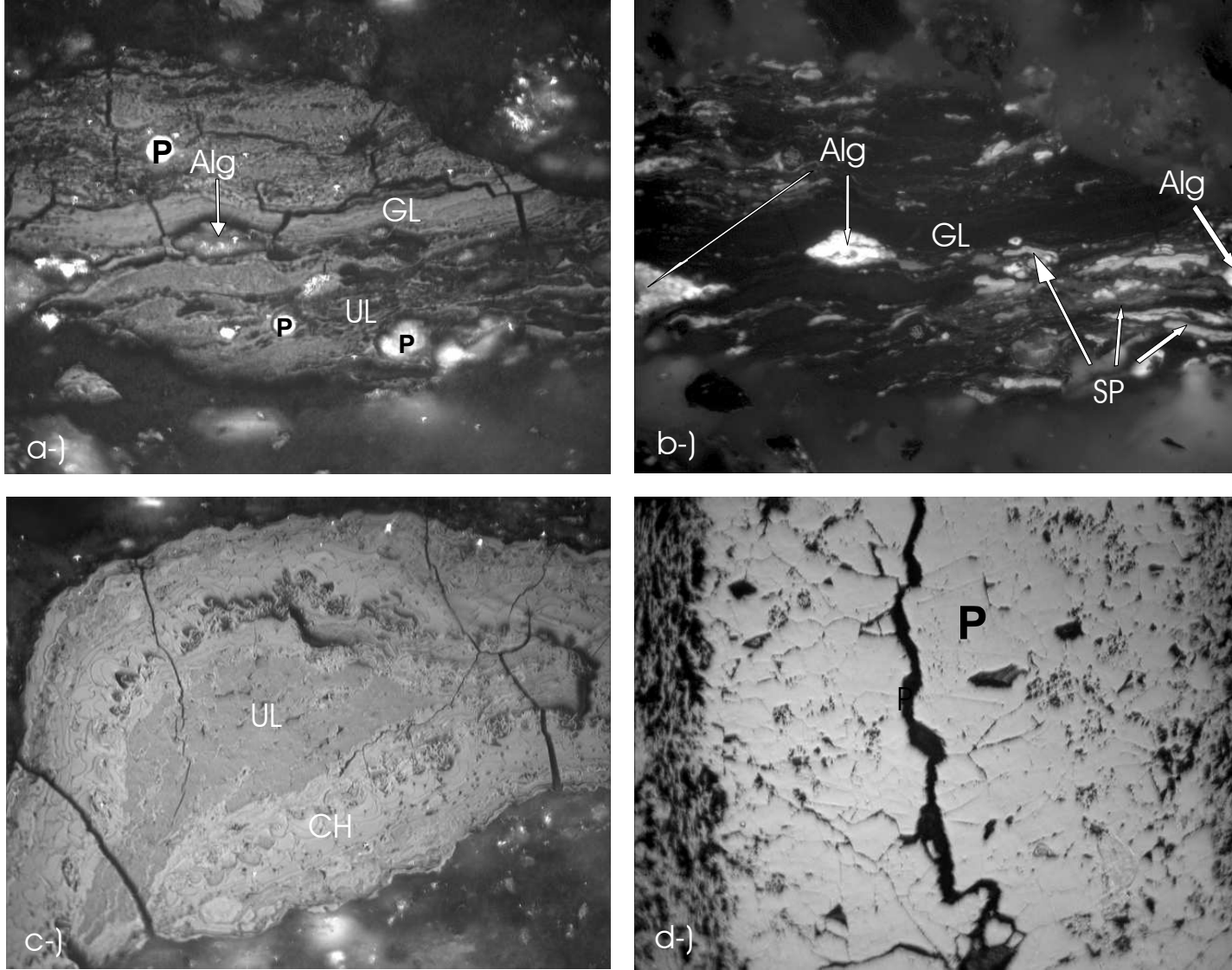
Ek Şekil 30. Seyitömer termik santralında yanan 04-07 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **a-)** Gelinit (GL), ülminit (UL) ve sklerotinit (SC). **b-)** Tekstinit (T), tekstoülminit (TU), eu-ülminit (EU) ve korpohümünitler (CH). **c-)** Karbonat mineralleri (Ankerit: AK) ve pirit (P); (polarizatörlü görünüm). **d-)** Kömürün içerisindeki ankerit (AK). Foto c'nin polarizatörsüz görünümü.



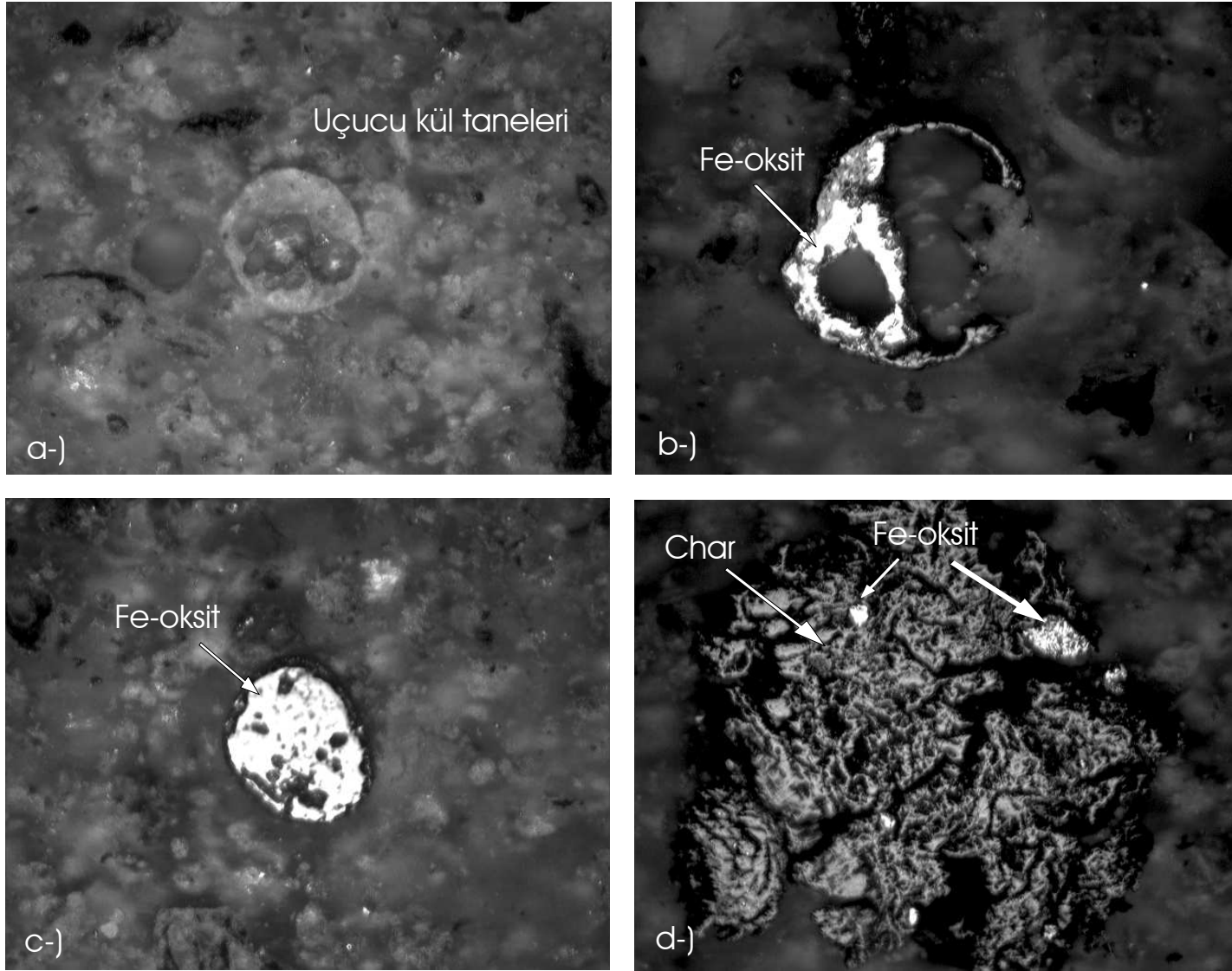
Ek Şekil 31. Seyitömer termik santralında yanan 04-07, 04-13 ve 04-22 nolu kömür örneklerinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **a-)** Resinit (RS). **b-)** Foto a'nın floresans ışık altında görünümü. **c-)** Eu-ülminit (EU) ve korpohüminit (CH). **d-)** Korpohüminit (CH), ülminit (UL) ve pirit (P).



Ek Şekil 32. Seyitömer termik santralında yanan 04-13 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **a-)** Eu-ülminit (EU), gelinit (GL) ve pirit (P). **b-)** Eu-ülminit (EU) içinde korpohümünit (CH). **c-)** Framboidal pirit (P) ve sporinit (SP). **d-)** Foto c-'nin fluoresans ışık altında görünümü.

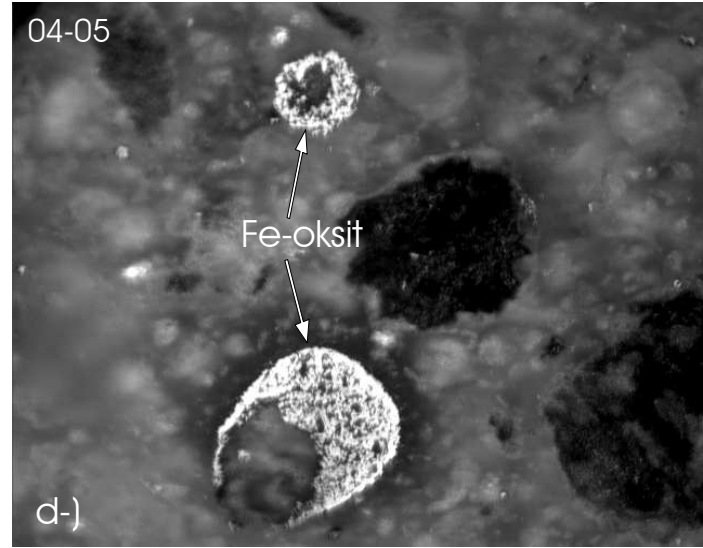
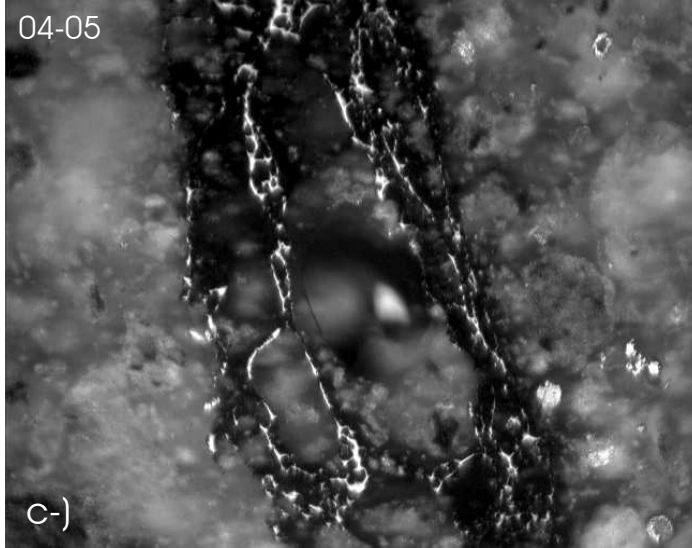
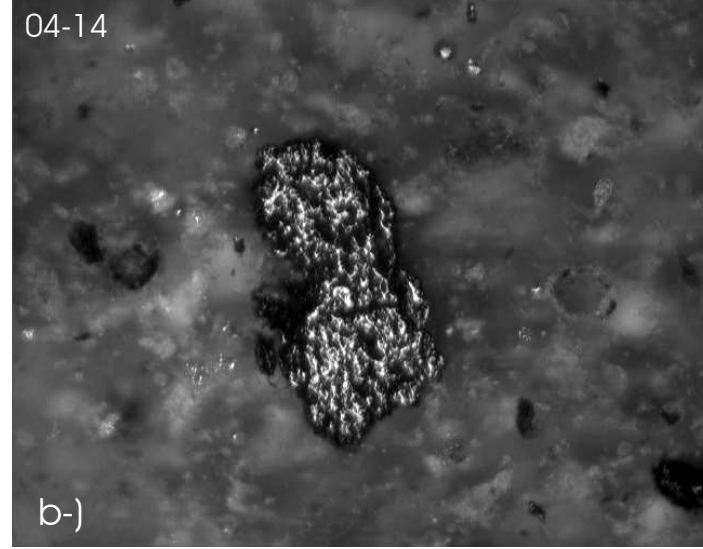
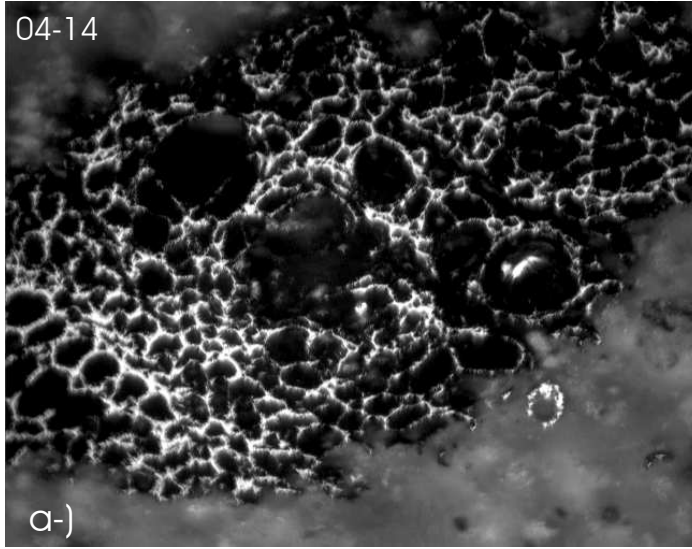


Ek Şekil 33. Seyitömer termik santralında yanan 04-22 nolu kömür örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **a-)** Gelinit (GL), ülminit (UL), alginit (Alg), sporinit (SP) ve pirit (P). **b-)** Foto a'nın fluoresans ışık altında görünümü. **c-)** Ülminit (UL) ve korpohüminitler (CH). **d-)** Masif pirit (P).

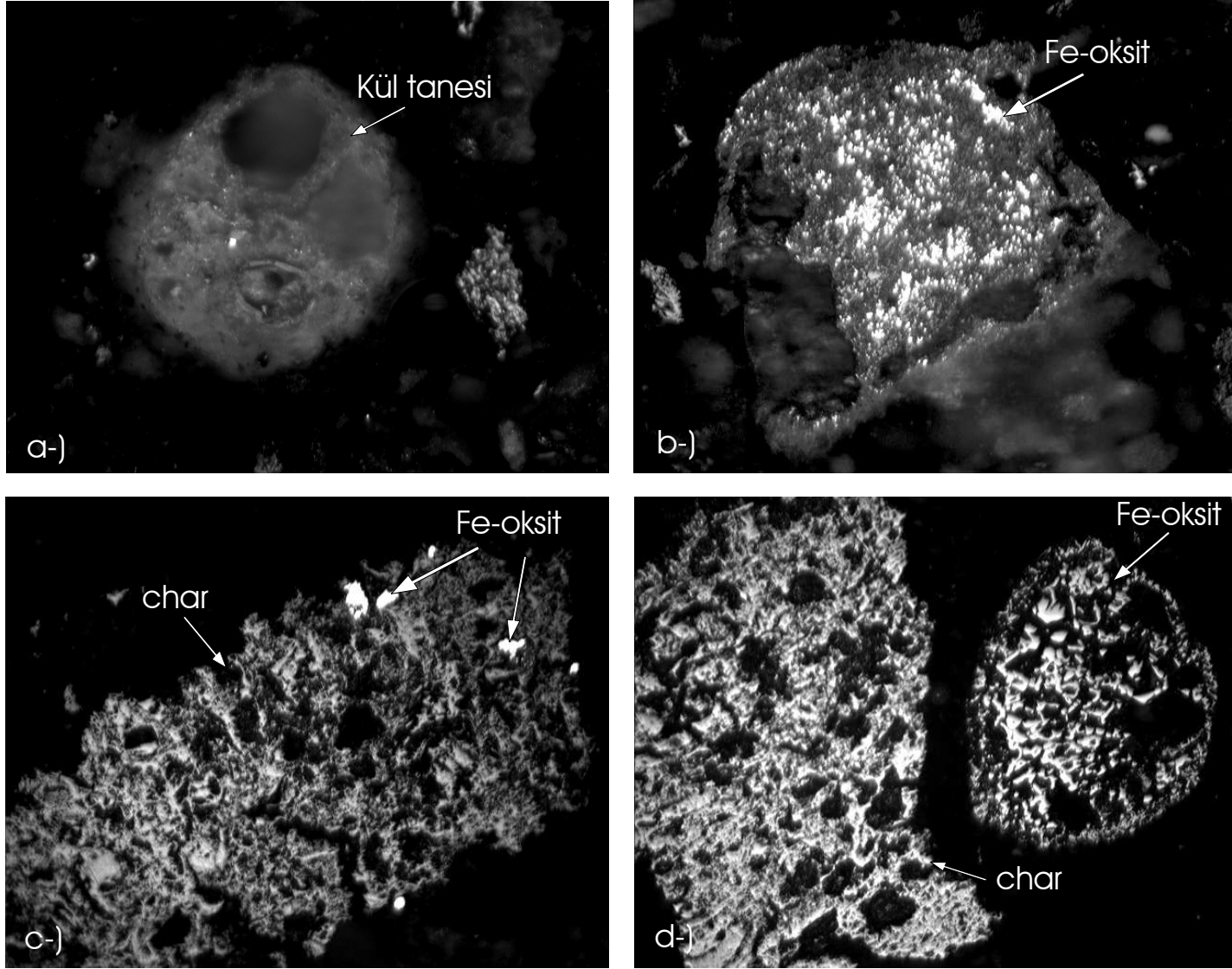


Ek Şekil 34. Seyitömer termik santralından alınan 04-14 nolu uçucu kül örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340 µm'dir. **a-)** Uçucu küllerin genel görünümü. **b-)** ve **c-)** Fe-oksit. **d-)** Blok yapıli yanmamış karbon (char) ve Fe-oksit.

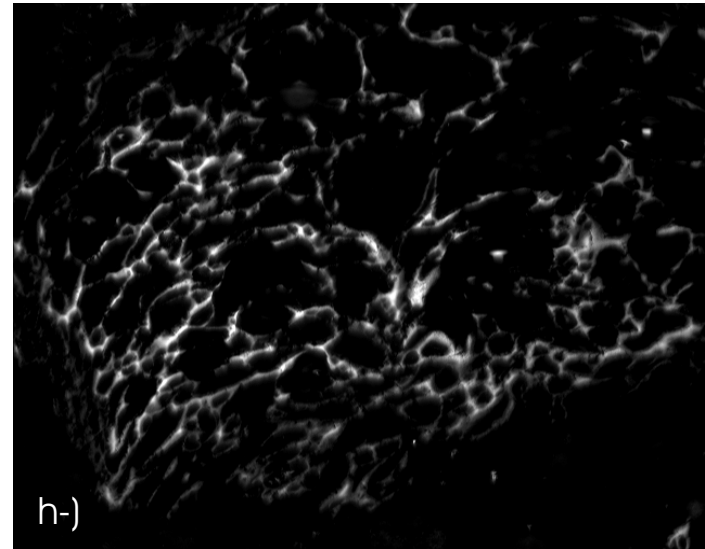
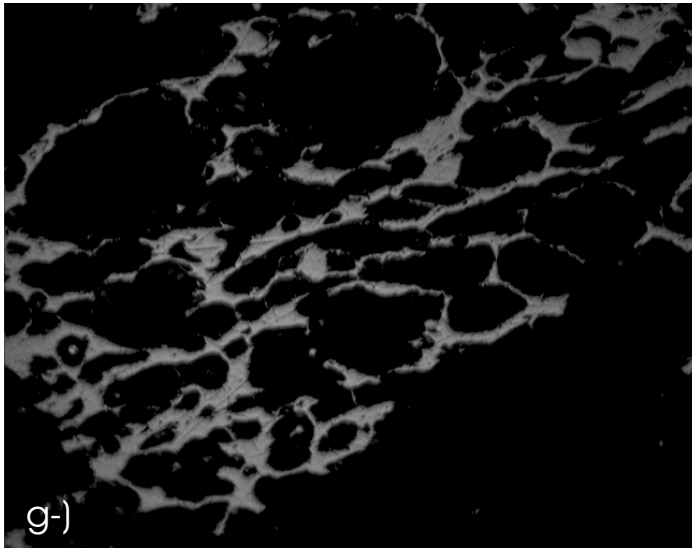
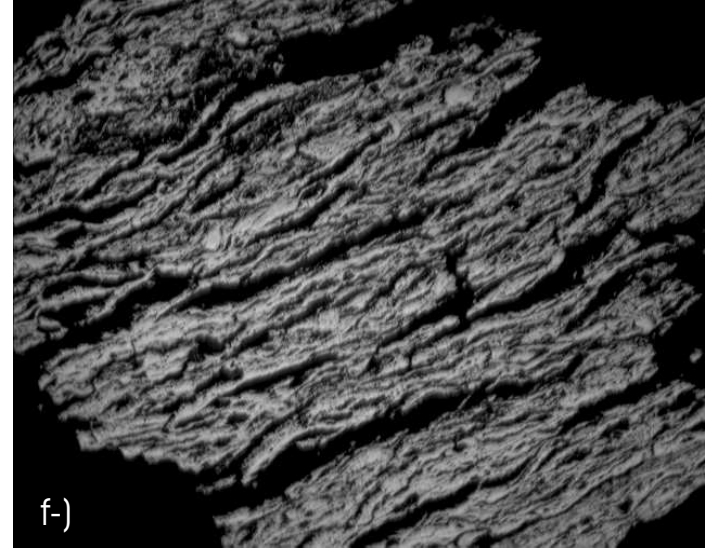
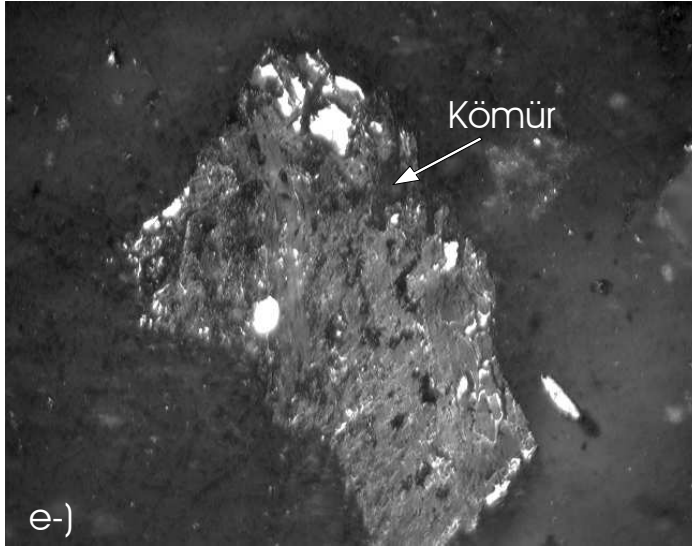




Ek Şekil 35. Seyitömer termik santralından alınan 04-05 ve 04-14 nolu uçucu kül örneklerinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **a-)** Ağ yapılı yanmamış karbon(char). **b-)** Blok yapılı yanmamış karbon (char). **c-)** Petek yapılı yanmamış karbon (char). **d-)** Fe-oksit.



Ek Şekil 36. Seyitömer termik santralından alınan 04-09 nolu taban külü örneğinde gerçekleştirilen optik mikroskop çalışmaları. Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **a-)** Gözenekli kül tanesi. **b-)** Fe-oksit. **c-)** ve **d-)** Yanmamış karbon (char) ve Fe-oksit.



Ek Şekil 36. (devam ediyor). Herbir fotoğraf boyutu 270 x 340  $\mu\text{m}$ 'dir. **e-)** Tam yanmamış kömür parçası. **f-)** Blok yapılı yanmamış karbon (char). **g-)** Petek yapılı yanmamış karbon (char). **h-)** Ağ yapılı yanmamış karbon (char).

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem KIRDIM

Doğum Yeri : ANKARA

Doğum Yılı : 1981

Medeni Hali : Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lisans : 1999-2003 Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji  
Mühendisliği Bölümü.

Yabancı Dil : İngilizce