ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Mehmet TÜRKMENOĞLU

UÇUCU KÜLLERİN LİÇ KARAKTERİSTİKLERİNİN VE ÇEVREYE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2010

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UÇUCU KÜLLERİN LİÇ KARAKTERİSTİKLERİNİN VE ÇEVREYE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet TÜRKMENOĞLU

DOKTORA TEZİ

MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez …. / …. / 2010 tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği / ~~Oyçokluğu~~ ile Kabul Edilmiştir.

……..……..	……..	……..……..
Prof. Dr. Mesut ANIL	Prof. Dr. Hunay EVLİYA	Prof. Dr. Oktay BAYAT
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE

…….....	……..……
Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ	Yrd. Doç. Dr. Metin UÇURUM
ÜYE	ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Maden Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Bu çalışma, Ç.Ü. Araştırma Projeleri Birimi Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: MMF2006D4

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 Sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu'ndaki hükümlere tabidir.

ÖZ

DOKTORA TEZİ

UÇUCU KÜLLERİN LİÇ KARAKTERİSTİKLERİNİN VE ÇEVREYE ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mehmet TÜRKMENOĞLU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Mesut ANIL
2010, Sayfa: 145
Jüri : Prof. Dr. Mesut ANIL
Prof. Dr. Hunay EVLİYA
Prof. Dr. Oktay BAYAT
Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Yrd. Doç. Dr. Metin UÇURUM

Bu tez çalışmasında, ülkemizdeki termik santrallerden açığa çıkan uçucu küllerin liç karakteristikleri incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak uçucu küller nedeniyle Termik Santrallerin yakın çevresinde oluşabilecek çevresel etkilerin neler olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

Pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan-A Termik Santrali merkez nokta alınarak, yakın ve uzak çevresinden çeşitli örnekler toplanmıştır. Termik santralin çevresinden 4 yönde 12 farklı noktadan toprak örnekleri ve çeşitli derinliklerde 6 farklı noktadan yeraltı suyu örnekleri alınmıştır. Bu örneklerde 8 faklı ağır metal (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn) analiz edilmiştir. Alınan toprak örneklerinin analiz sonuçları, krom ve nikel miktarları açısından Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerinin aşıldığını göstermiştir. Su örneklerinde ise hiçbir sınır değer aşılmamıştır.

Afşin Elbistan-A Termik Santrali dışında; Su gözü, Yatağan, Soma, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalağzı ve Çan Termik Santrallerinden alınan uçucu kül örneklerinin liç karakteristikleri belirlenmiştir. Uçucu kül örneklerinde, sıvı katı oranı 10 l/kg olacak şekilde 5 gün üst üste seri liç işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen liç çözeltileri Atomik Absorbsiyon Spektrometresi'nde ağır metaller yönünden analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre tüm kül örnekleri Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tehlikesiz atık sınıfındadır. Ancak, analiz sonuçlarının gözlenen 8 ağır metalin hepsinin çözeltiye geçtiğini göstermesi, depolama sahaları yakın çevresindeki topraklarda ve yeraltı sularında kirlilik birikimi riskinin yüksek olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, Termik Santral, Toprak kirliliği, Su kirliliği, Liç

ABSTRACT

PhD THESIS

DETERMINATION OF LEACH CHARACTERIZATION AND ENVIRONMENTAL EFFECTS OF FLY ASHES

Mehmet TÜRKMENOĞLU

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF MINING ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. Mesut ANIL
2010, Pages : 145
Jury : Prof. Dr. Mesut ANIL
Prof. Dr. Hunay EVLIYA
Prof. Dr. Oktay BAYAT
Assoc. Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ
Asst. Prof. Metin UÇURUM

In this thesis study, internal characteristics of thermal power plant's flying ashes in our country were studied and possible environmental effects of these ashes around the vicinity of thermal power plants have been investigated.

Various samples from near and far points have been collected in the region of Afşin Elbistan-A thermal power plant, which was chosen as the pilot region and center point of sampling. Soil samples in 4 directions from 12 different points and underground water samples from 6 different points in different depths were taken around the thermal power plant's. 8 different heavy metals (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn) were analyzed in these samples. The results of the collected soil samples showed that the values of chromium and nickel were beyond the Pollution of Soil Control Regulations limits. On the other hand, no excess values were identified in the water samples.

Except the Afşin Elbistan-A thermal power plant, internal characteristics of flying ashes which were taken from Su gözü, Yatağan, Soma, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalağzı and Çan thermal power plants were identified. In the flying ash samples, the liquid solid ratio was 10 l/kg and leach process was conducted during the 5 successive days, then leach solutions were analyzed in Atomic Absorbtion Spectrometry in terms of heavy metals. According to the result of the analyses, all the ash samples were identified to be within the non-hazardous waste class by Hazardous Waste Control Regulations. However, the results of analysis also indicate that with the diffusion of all of the observed 8 heavy metals into solution, there would be a high possibility of accumulated pollution in the soil and underground water that are near the ash storage areas.

Key Words : Fly Ash, Thermal Power Plant, Soil Pollution, Water Pollution, Leach

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda, Doktora Tezi olarak hazırladığım bu çalışmada, benden bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, beni sürekli yönlendiren, her türlü olanağı ve kolaylığı sağlayan danışman hocam Sayın Prof. Dr. Mesut ANIL'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında desteklerini ve bilgilerini esirgemeyen değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Hunay EVLİYA'ya ve Sayın Prof. Dr. Oktay BAYAT'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında yardımlarını benden esirgemeyen değerli hocalarım; Doç. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ ve Yrd. Doç. Dr. Metin UÇURUM'a teşekkürlerimi sunarım.

Arazi çalışmalarım esnasında her türlü lojistik desteği ve bilgiyi sağlayan Sayın Mustafa GÜNEŞ'e ve diğer Afşin Elbistan Termik Santrali çalışanlarına teşekkür ederim. Ağır metal analizlerini yaparken yardımlarını esirgemeyen sevgili meslektaşım Ertuğrul ÇANAKÇI'ya, İstatistiksel çalışmalarda bilgi ve deneyimlerinden faydalandığım değerli arkadaşım Bayram Ali MERT'e ve XRD Analiz sonuçlarını yorumlarken yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Doç. Dr. Suphi URAL'a teşekkürlerimi sunarım.

Maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen değerli anneme, babama ve kardeşlerime; Ayrıca, sevgili eşime ve kızıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
TEŞEKKÜR III
İÇİNDEKİLER IV
ÇİZELGELER DİZİNİ VII
ŞEKİLLER DİZİNİ XI
SİMGELER ve KISALTMALAR XIV
1. GİRİŞ 1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 5
3. UÇUCU KÜLLER 15
3.1. Kömür 16
3.1.1. Kömürün Genel Özellikleri 21
3.1.1.1. Kömürün Fiziksel Özellikleri 21
3.1.1.2. Kömürün Kimyasal Özellikleri 21
3.1.1.3. Kömürün Petrografik Özellikleri 21
3.1.2. Kömür Çeşitleri 22
3.1.2.1. Linyit 22
3.1.2.2. Taşkömürü 23
3.1.2.3. Antrasit. 23
3.1.2.4. Turba 23
3.1.3. Türkiye'deki Linyit Yatakları, Rezervleri ve Üretimi 23
3.1.3.1. Garp Linyit İşletmesi (GLİ) 24
3.1.3.2. Güney Ege Linyit İşletmesi (GELİ). 25
3.1.3.3. Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ) 25
3.1.3.4. Seyitömer Linyitleri İşletmesi (SLİ) 25
3.1.3.5. Marmara Linyitleri İşletmesi (MLİ) 26
3.1.3.6. Çan Linyitleri İşletmesi (ÇLİ) 26
3.1.3.7. Alpagut Dodurga Linyit İşletmesi (ADL) 26
3.1.3.8. Doğu Linyitleri İşletmesi (DLİ) 27

3.1.3.9. Afşin Elbistan Linyitleri İşletmesi (AEL) 27
3.1.3.10. Güneydoğu Anadolu Asfaltit ve Linyit İşletmesi (GAL) 27
3.1.3.11. Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi (OAL) 27
3.1.3.12. Ilgın Linyitleri İşletmesi (ILİ) 28
3.1.3.13. Özel Sektör Tarafından İşletilen Linyit Yatakları 28
3.2. Termik Santraller 28
3.2.1. Linyitle Çalışan Termik Santraller 29
3.2.2. Diğer Yakıtlarla Çalışan Termik Santraller 30
3.2.3. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri 32
3.2.3.1. Hava Kirliliği 32
3.2.3.2. Su Kirliliği 36
3.2.3.3. Toprak Kirliliği 37
3.2.4. Kömür Yakma Sistemleri 38
3.2.5. Termik Santrallerden Kaynaklanan Kirleticilerin Arıtımı 39
3.2.5.1. Hava Kirleticilerinin Arıtımı 39
3.2.5.2. Toz Emisyonlarının Arıtımı 43
4. MATERYAL VE METOD 45
4.1. Materyal 45
4.1.1. Araziden Alınan Toprak ve Su Örnekleri 45
4.1.2. Termik Santrallerden Alınan Kül Örnekleri 54
4.1.2.1. Uçucu Kül Alınan Termik Santraller 54
4.1.2.1.(1). Afşin Elbistan-A Termik Santrali 54
4.1.2.1.(2). İsken Sugözü Termik Santrali 56
4.1.2.1.(3). Yatağan Termik Santrali 57
4.1.2.1.(4). Soma-B Termik Santrali 58
4.1.2.1.(5). Seyitömer Termik Santrali 59
4.1.2.1.(6). Tunçbilek Termik Santrali 60
4.1.2.1.(7). Çatalağzı Termik Santrali 61
4.1.2.1.(8). Çan Termik Santrali 62
4.2. Metod 63
4.2.1. Toprak Analizleri 65

4.2.2. Su Analizleri 65
4.2.3. Uçucu Kül Analizleri 66
4.2.4. Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin Belirlenmesi 67
4.2.5. Liç Çözeltilerinin Analizleri 67
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 69
5.1. Araziden Alınan Toprak ve Su Örneklerine Ait Analiz Sonuçları 69
5.2. Termik Santrallerden alınan Uçucu Küllere Ait Analiz Sonuçları 82
5.2.1. Uçucu Küllerin Ağır Metal Analizleri (AAS, FAAS, ICP-OES) 83
5.2.2. Uçucu Küllerin XRF Analizleri 84
5.2.3. Uçucu Küllerin XRD Analizleri 88
5.2.4. Uçucu Küllerin SEM Analizleri 102
5.3. Uçucu Küllerin Liç Karakteristikleri 111
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 119
KAYNAKLAR 125
ÖZGEÇMİŞ 131
EKLER 133

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 3.1. Amerikan standartlarına göre kömür sınıflaması 19

Çizelge 3.2. Türkiye'de kurulu gücü 50 MW'den fazla olan ve linyitle çalışan termik santraller 30

Çizelge 3.3. Türkiye'de kurulu gücü 50 MW'den fazla olan ve linyit dışında yakıt kullanan termik santraller 31

Çizelge 4.1. Analizi yapılan toprak örnekleri, parametreler ve kullanılan cihazlar 48

Çizelge 4.2. Analizi yapılan su örnekleri, parametreler ve kullanılan cihazlar 48

Çizelge 4.3. Toprak örneklerine ait detaylı bilgiler 53

Çizelge 4.4. Su örneklerine ait detaylı bilgiler 53

Çizelge 4.5. Arazide örnekleme yapılırken kullanılan standartların numaraları ve adları 65

Çizelge 4.6. Analiz yapılırken kullanılan standartların numaraları ve adları 65

Çizelge 4.7. Analizi yapılan uçucu kül örnekleri, parametreler ve kullanılan cihazlar 66

Çizelge 4.8. Termik santrallerden alınan kül örneklerine uygulanan liç deneyleri 66

Çizelge 4.9. Liç çözeltilerinde incelenen parametreler ve kullanılan cihazlar 70

Çizelge 5.1. Santralin kuzey doğusundan (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 72

Çizelge 5.2. Santralin kuzey doğusundan (3 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 72

Çizelge 5.3. Santralin kuzey doğusundan (7 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 73

Çizelge 5.4. Santralin kuzey doğusundan (1, 3, 7 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 73

Çizelge 5.5. Santralin güney batısından (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 74

Çizelge 5.6. Santralin güney batısından (5 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 74
Çizelge 5.7. Santralin güney batısından (10 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 75
Çizelge 5.8. Santralin güney batısından (1, 5, 10 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 75
Çizelge 5.9. Santralin kuzeyinden (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 77
Çizelge 5.10. Santralin kuzeyinden (5 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 77
Çizelge 5.11. Santralin kuzeyinden (10 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 78
Çizelge 5.12. Santralin kuzeyinden (1, 5, 10 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 78
Çizelge 5.13. Santralin güney doğusundan (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 79
Çizelge 5.14. Santralin güney doğusundan (5 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 79
Çizelge 5.15. Santralin güney doğusundan (10 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 80
Çizelge 5.16. Santralin güney doğusundan (1, 5, 10 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler 80
Çizelge 5.17. Kayaçlarda ve kirlenmemiş toprak örneklerinde mikro elementlerin ve potansiyel toksik elementlerin ortalama içerikleri 82
Çizelge 5.18. Santral çevresinden alınan yer altı sularının ağır metal analizleri ile YAS 1,YAS 2 ve YAS 3 için sınır değerler 83
Çizelge 5.19. Santral çevresinden alınan yer altı sularının ağır metal analizleri ile YAS 1,YAS 2 ve YAS 3 için sınır değerler 83
Çizelge 5.20. Termik Santrallerden alınan uçucu küllerinin ve Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünün ağır metal (Pb, Cd, Cr ve Cu) içerikleri 85

Çizelge 5.21. Termik Santrallerden alınan uçucu küllerinin ve Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünün ağır metal (Ni, Zn, Co ve Mn) içerikleri 86
Çizelge 5.22. Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 87
Çizelge 5.23. Su gözü Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 87
Çizelge 5.24. Yatağan Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 87
Çizelge 5.25. Soma Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 88
Çizelge 5.26. Seyitömer Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 88
Çizelge 5.27. Tunçbilek Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 88
Çizelge 5.28. Çatalağzı Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 89
Çizelge 5.29. Çan Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları 89
Çizelge 5.30. Afşin Elbistan Termik Santrali taban küllerine ait XRF analiz sonuçları 89
Çizelge 5.31. Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 100
Çizelge 5.32. Su gözü Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 100
Çizelge 5.33. Yatağan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 101
Çizelge 5.34. Soma Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 101
Çizelge 5.35. Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 102
Çizelge 5.36. Tunçbilek Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 102
Çizelge 5.37. Çatalağzı Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 102

Çizelge 5.38. Çan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı 103
Çizelge 5.39. Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan taban külü içerisinde XRD ölçümleri sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı ... 103
Çizelge 5.40. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Pb içerikleri 114
Çizelge 5.41. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Cd içerikleri 114
Çizelge 5.42. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Cr içerikleri 115
Çizelge 5.43. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Cu içerikleri 115
Çizelge 5.44. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Ni içerikleri 116
Çizelge 5.45. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Zn içerikleri 116
Çizelge 5.46. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Co içerikleri 117
Çizelge 5.47. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Mn içerikleri 117
Çizelge 5.48. Kül örneklerinden suya ağır metal liç verimi (%) 118
Çizelge 5.49. Liç işlemleri sonucunda (1. gün) elde edilen çözeltilerin ağır metal içerikleri 119
Çizelge 5.50. Analizi yapılan kül örneklerinin 1 günlük eluat konsantrasyonlarından TAKY'ye göre belirlenen atık sınıfları 120

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 3.1. Kömürlerin organik olgunluklarına göre sınıflandırılması 17
Şekil 3.2. Katı yakıtla çalışan bir termik santralin prensip şeması 29
Şekil 4.1. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (GB 1 km) 49
Şekil 4.2. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (GD 5 km) 49
Şekil 4.3. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (K 10 km) 50
Şekil 4.4. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (KD 1 km) 50
Şekil 4.5. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Gidya suyu) 51
Şekil 4.6. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Kışlaköy suyu) 51
Şekil 4.7. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Dış döküm suyu) 52
Şekil 4.8. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Orman suyu) 52
Şekil 4.9. Afşin Elbistan-A Termik Santrali'nin yakın çevresinden alınan toprak örneklerinin yerlerini gösteren vaziyet planı 54
Şekil 4.10. Afşin Elbistan-A Termik Santrali'nin yakın çevresinden alınan kül ve su örneklerinin yerlerini gösteren vaziyet planı 55
Şekil 4.11. Kül örneği alınan Termik Santrallerin yer bulduru haritası 56
Şekil 4.12. Afşin Elbistan kömür havzasının son durumu 57
Şekil 4.13. Afşin Elbistan A Termik Santrali 57
Şekil 4.14. İsken Sugözü Termik Santrali 58
Şekil 4.15. Yatağan Termik Santrali 59
Şekil 4.16. Soma B Termik Santrali 60
Şekil 4.17. Seyitömer Termik Santrali 61
Şekil 4.18. Tunçbilek Termik Santrali 62
Şekil 4.19. Çatalağzı Termik Santrali 63
Şekil 4.20. Çan Termik Santrali 64
Şekil 5.1. Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 91
Şekil 5.2. Su gözü Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 92

Şekil 5.3. Yatağan Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 93
Şekil 5.4. Soma Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 94
Şekil 5.5. Seyitömer Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 95
Şekil 5.6. Tunçbilek Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 96
Şekil 5.7. Çatalağzı Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 97
Şekil 5.8. Çan Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 98
Şekil 5.9. Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller 99
Şekil 5.10. Afşin Elbistan Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 104
Şekil 5.11. Afşin Elbistan Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 104
Şekil 5.12. Afşin Elbistan Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 104
Şekil 5.13. Afşin Elbistan Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 104
Şekil 5.14. Su gözü Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 105
Şekil 5.15. Su gözü Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 105
Şekil 5.16. Su gözü Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 105
Şekil 5.17. Su gözü Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 105
Şekil 5.18. Su gözü Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 105
Şekil 5.19. Yatağan Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 106
Şekil 5.20. Yatağan Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 106
Şekil 5.21. Yatağan Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 106
Şekil 5.22. Yatağan Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş) 106
Şekil 5.23. Yatağan Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş) 106
Şekil 5.24. Yatağan Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 106
Şekil 5.25. Soma Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 107
Şekil 5.26. Soma Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 107

Şekil 5.27. Soma Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 107
Şekil 5.28. Soma Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 107
Şekil 5.29. Soma Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 107
Şekil 5.30. Seyitömer Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 108
Şekil 5.31. Seyitömer Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 108
Şekil 5.32. Seyitömer Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 108
Şekil 5.33. Seyitömer Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş) 108
Şekil 5.34. Seyitömer Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 108
Şekil 5.35. Seyitömer Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 108
Şekil 5.36. Tunçbilek Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 109
Şekil 5.37. Tunçbilek Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 109
Şekil 5.38. Tunçbilek Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 109
Şekil 5.39. Tunçbilek Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş) 109
Şekil 5.40. Tunçbilek Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 109
Şekil 5.41. Çatalağzı Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 110
Şekil 5.42. Çatalağzı Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 110
Şekil 5.43. Çatalağzı Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 110
Şekil 5.44. Çatalağzı Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş) 110
Şekil 5.45. Çatalağzı Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 110
Şekil 5.46. Çan Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş) 111
Şekil 5.47. Çan Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş) 111
Şekil 5.48. Çan Uçucu Külü (2.000 kat büyütülmüş) 111
Şekil 5.49. Çan Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş) 111
Şekil 5.50. Çan Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş) 111
Şekil 5.51. Afşin Taban Külü (100 kat büyütülmüş) 112
Şekil 5.52. Afşin Taban Külü (1.000 kat büyütülmüş) 112
Şekil 5.53. Afşin Taban Külü (3.000 kat büyütülmüş) 112
Şekil 5.54. Afşin Taban Külü (5.000 kat büyütülmüş) 112
Şekil 5.55. Afşin Taban Külü (30.000 kat büyütülmüş) 112

SİMGELER ve KISALTMALAR

AAS	:	Atomik Absorbsiyon Spektrometresi
ADL	:	Alpagut Dodurga Linyit İşletmesi
AEL	:	Afşin Elbistan Linyit İşletmeleri
ASTM	:	American Society for Testing and Materials
BGD	:	Baca Gazı Desülfirizasyonu
CEN	:	European Committee for Standardisation
ÇATES	:	Çatalağzı Termik Santrali
ÇLİ	:	Çan Linyit İşletmesi
ÇÜ	:	Çukurova Üniversitesi
DAY	:	Dolaşımlı Akışkan Yatakta Yakma Sistemi
DLİ	:	Doğu Linyit İşletmesi
DSİ	:	Devlet Su İşleri
EDS	:	Electron Diffusion Spectrum
EDTA	:	Etilendiamin Tetraasetik Asit
EİEİ	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
ELİ	:	Ege Linyit İşletmesi
EUAŞ	:	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
F SEM	:	Field Emission Scanning Electron Microscope
FAAS	:	Flame Atomic Absorbtion Spectrometry
GB	:	Güney Batı
GAL	:	Güneydoğu Anadolu Asfaltit ve Linyit İşletmesi
GD	:	Güney Doğu
GLİ	:	Garp Linyit İşletmesi
GELİ	:	Güney Ege Linyit İşletmesi
ICDD	:	International Centre for Diffraction Data
ICP-AES	:	Inductively Coupled Plasma- Atomic Emission Spectroscopy
ICP-OES	:	Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometry
ICP-MS	:	Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometer
ILİ	:	Ilgın Linyit İşletmesi

İSKEN	:	İskenderun Enerji Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi
JCPDS	:	Joint Committee on Powder Diffraction Standards
KD	:	Kuzey Doğu
KLİ	:	Konya Linyit İşletmesi
LPG	:	Liquefied Petroleum Gas
MAM	:	Marmara Araştırma Merkezi
MLİ	:	Marmara Linyit İşletmesi
MTA	:	Maden Tetkik Arama
MW	:	Mega Watt
OAL	:	Orta Anadolu Linyit İşletmesi
PKÇ	:	Portland Kompoze Çimento
PKY	:	Pulvarize Kömür Yakma Sistemi
SEM	:	Scanning Electron Microscope
SKKY	:	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SLİ	:	Seyitömer Linyit İşletmesi
TAKY	:	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TCLP	:	Toxicity Characteristic Leaching Procedure
TEAŞ	:	Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi
TEDAŞ	:	Türkiye Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
TEİAŞ	:	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TEK	:	Türkiye Elektrik Kurumu
TKİ	:	Türkiye Kömür İşletmeleri
TKKY	:	Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TS	:	Türk Standartları
TETAŞ	:	Türkiye Elektrik Ticaret Anonim Şirketi
TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
UV	:	Ultra Violet
XRD	:	X-Ray Diffraction
XRF	:	X-Ray Flouresance
YAS	:	Yer Altı Suları

1. GİRİŞ

19. Yüzyılın sonlarında bulunan elektrik, öncelikle aydınlatmaya yönelik olarak insanlığın kullanımına sunulmuştur. Daha sonra, kullanım alanı genişledikçe elektrik enerjisine olan ihtiyaç ve talep hızla artmıştır. Buna dayanarak elektrik enerjisinin üretimini artırmak ve elde etmek için birincil kaynakların yanı sıra yeni ve yenilenebilir kaynaklar araştırılmaya ve elde edilmeye başlanmıştır. Bu artan talep karşısında elektrik enerjisini elde etmek için rüzgâr, güneş, hidrojen, nükleer ve biyogaz vb. gibi değişik kaynaklardan faydalanılmaya başlanmıştır. Elektrik enerjisinin günlük hayatta kullanılması 1878 yılında olmuştur. İlk elektrik santrali ise 1882 yılında Londra'da hizmete girmiştir. Ülkemizde kurulan ilk elektrik üreteci, 1902 yılında Tarsus'ta tesis edilen, bir su değirmenine bağlanmış 2 kW gücünde bir dinamodur. İlk büyük santral ise 1913 yılında İstanbul Silahtarağa'da kurulmuştur. İstiklal savaşı sonucu 1923 yılında kurulan Türkiye Cumhuriyeti'ne kadar kurulu güç 33 MW ve yıllık 45 milyon kWh olan üretimimiz; 1935 yılına gelindiğinde, Etibank, Maden Tetkik Arama (MTA), Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİEİ), İller Bankası ve Devlet Su İşleri (DSİ)'nin çalışmalarıyla, kurulu güç 126,2 MW'a, üretim ise 213 milyon kWh'e çıkmıştır. Bu tarihte elektriğe kavuşmuş olan il sayısı 43'tür (www.termiksantral.sitemynet.com).

1948 yılında Zonguldak Çatalağzı Termik Santralı devreye girmiş ve 1952 yılında 154 kV'luk bir iletim hattı ile İstanbul'a elektrik takviyesi yapılmıştır. 1950'li yıllarda, Devlet ve özel sektör eliyle santraller yapılmaya başlanmış ve o dönemlerde kurulu gücümüz 407,8 MW'a, üretimimiz ise 500 bin KWh'a ulaşmıştır. 1970'li yıllara gelindiğinde üretimimizle birlikte artan dağıtım ve tüketim miktarı ile bu hizmetin yaygınlaşması, kurumsal bir yapıyı zorunlu kılmış ve bu nedenle TEK (Türkiye Elektrik Kurumu) kurulmuş, Belediyeler ve İller Bankası dışında bütünlük sağlanmıştır. Bu tarihteki kurulu gücümüz 2234,9 MW'a, üretimimiz ise 8 milyar 623 milyon kWh seviyelerine yükselmiştir. 1970-1980 yılları arasında dünyadaki enerji krizinden Türkiye'de etkilenmiş ve Termik Santrallerin yakıtlarının dışa bağımlı olması ile arz talep dengesi bozulmuş, dolayısıyla zorunlu enerji kısıtlamalarına başlanmıştır (www.termiksantral.sitemynet.com).

1970 yılında elektrik ulaşmış köy sayısı ülke genelinde %7 iken, 1982 yılında bu oran %61'e ulaşmıştır. 1984 yılına gelindiğinde, enerji sektöründeki TEK tekeli kaldırılmış, gerekli izinler alınarak kurulacak özel sektör şirketlerine de tekrar enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı konularında imkânlar sağlanmıştır. Ayrıca yine bu yılda TEK'in hukuki bünyesi, organları ve yapısı düzenlenerek bir Kamu İktisadi Kuruluşu hüviyetine kavuşması sağlanmıştır. 1988-1992 yıllarında, elektrik sektöründe kendi yasal görev bölgesi içinde elektrik üretimini, iletimini, dağıtımını ve ticaretini yapmak üzere 10 kadar sermaye şirketi görevlendirilmiştir. Türkiye'nin 1923 yılında 33 MW olan kurulu gücü, üretim aşamasındaki gelişmeler, yine bağlı ortaklılar dahil 2003 Eylül ayı sonu itibarı ile Termik Santraller toplam; 10.793,9 MW; Hidrolik Santraller; yine 2003 Eylül ayı sonu itibari ile 10.107,7 MW olmuştur. Toplamda ise 20. 901,6 MW'a ulaşılmıştır (www.termiksantral.sitemynet.com).

EUAŞ, 2009 sonu itibariyle, 11.674 MW kurulu güce sahip 106 hidroelektrik ve 12.525 MW kurulu güce sahip 19 termik santrale sahip olup, toplam 24.199 MW kurulu gücü ile Türkiye kurulu gücünün %54,3'ünü ve Türkiye elektrik enerjisi üretiminin %46,1'ini karşılamaktadır. 2009 yılı sonu itibariyle 194.063 milyar kWh olarak gerçekleşen Türkiye elektrik üretim miktarının 89.453 milyar kWh'ı EUAŞ tarafından gerçekleştirilmiştir (www.euas.gov.tr).

Türkiye Elektrik Kurumu, kuruluşundan 23 yıl sonra, çıkarılan 18.08.1993 gün ve 513 sayılı Kanun Hükmünde Kararname ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile ilgisi devam etmek üzere özelleştirme kapsamına alınmıştır. Bu düzenlemenin bir devamı olarak da Bakanlar Kurulunun 93/4789 Sayılı Kararı ile Kurum, "Türkiye Elektrik Üretim İletim Anonim Şirketi" (TEAŞ) ve "Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş." (TEDAŞ) adı altında iki ayrı İktisadi Devlet Teşekkülüne ayrılmıştır. Daha sonra yine 2003 yılında TEAŞ (Türkiye Elektrik Üretim İletim A.Ş.) daha sonra ise EÜAŞ (Elektrik Üretim A.Ş.) olarak Üretim, TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim A.Ş.) olarak İletim ve TETAŞ (Türkiye Elektrik Ticaret A.Ş.) olarak ta Ticaret'e ayrılmıştır (www.termiksantral.sitemynet.com).

Termik Santraller, yanmayla ortaya çıkan ısı enerjisinden elektrik enerjisi üreten merkezlerdir. Yanma, bir kazan ya da buhar üreticinde gerçekleştirilir ve suyun buhara dönüştürülmesini, daha sonra da bunun yüksek basınç altında (160 bar)

ve yüksek sıcaklıkta (550 °C) ısıtılmasını sağlar. Buhar önce türbinin yüksek basınçlı bölümünde ve daha sonra yeniden çok ısıtıldıktan sonra orta ve alçak basınçlı bölümlerinde genişler. Birbirini izleyen bu genişlemeler sırasında ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Kondansatörde soğutulunca su yeniden eski haline geçer; türbinden çektiği buharla çalışan bir yeniden ısıtma bölümüyse suyun sıcaklığını yükseltip kazana gönderir. Buhar ve su bir kapalı devre halinde dolaştıkları için, bu çevrim sonsuza kadar yenilenir. Duman kazan çıkışında büyük oranda ısı yitirir ve havaya verilir; Böylece yanma olayı gerçekleşir. Kömürle çalışan santrallerde dumanın daha sonra elektrostatik düzenekler yardımıyla tozu alınır ve bacadan dışarı atılır. Bu arada türbinde yaratılan mekanik enerji bir alternatöre iletilir ve burada elektrik enerjisine dönüştürülür. Turbo-alternatör gurubunun uzunluğu 600 mega voltluk bir güç için bazen 50 m'yi aşar; verilen elektrik akımıysa 20.000 voltluk bir gerilim altında 19.200 ampere ulaşır. Modern bir termik santralin verimi %40 dolayındadır (www.baktabul.com).

Elektrik santralleri, başka enerji biçimlerini (termik, nükleer, hidrolik, jeotermal, güneş, rüzgar, gelgit v.b) elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla bir araya getirilmiş donanımlardan oluşan işletmelerdir. Çağımızda büyük güçlü sınaî donanımların çoğunluğu, hidroelektrik ve termik (klasik ve nükleer) santrallerden meydana gelmektedir. Türü ne olursa olsun, her elektrik santrali, temel olarak bir enerji kaynağı, hareketlendirici bir aygıt, bir alternatör ve bir dönüştürme istasyonundan meydan gelir. Dönüştürme istasyonu, alternatörün ürettiği gerilimi, genel ulusal veya uluslar arası enterkonnekte şebekenin beslenme hatları için uygun bir değere yükseltir. Ülkemizin enerji gereksiniminin önemli bir bölümünü karşılayan ve Türkiye Elektrik Üretim Anonim Şirketi (TEAŞ) tarafından işleten termik santraller, fuel-oil, taşkömürü linyit, motorin, jeotermal ve doğal gaz türde enerji kaynağı kullanmakta olup sayıları 30'u aşmaktadır. Ayrıca özel sektöre ait fuel-oil kullanan Mersin Termik santrali ile, kamu ve özel kuruluşlar tarafından salt kendi tesisleri için elektrik enerjisi üreten irili ufaklı pek çok otoprodüktör (kendi üretir) termik santraller de bulunmaktadır. Yerli enerji kaynaklarımız içinde günümüzde de önemini koruyan linyit yatakları, ülkemizin hemen her yerinde bulunmaktadır. Ülkemizdeki enerjiye bağlı hava kirliliği, daha çok, bu düşük kalorili

linyitlerin yakılması sonucu oluşan gazların atmosfere karışmasından kaynaklanmaktadır. Yanma gazları, karbondioksit (CO_2), karbonmonoksit (CO), azot oksitler (NO_x), uçucu organik bileşikler, kükürt dioksit (SO_2), metan (CH_4) v.b. gazlar ile tanesel (partikül) madde içermektedir. Yakılan kömür, bu kirliliklerin yanı sıra kül ve külün içerdiği kadmiyum, civa, kurşun, arsenik, v.b. ağır metallerin çevreye yayılarak kirletmesine sebep olmaktadır. Ülkemizde elektrik üretiminin yaklaşık % 60'ı termik santrallerden elde edildiğinden ve linyitlerimizin kükürt ve kül içeriklerinin de yüksek olması nedeniyle, büyük miktarda linyit kömürü kullanan termik santrallerin kirletici emisyonları da çok yüksek olmakta ve çevreye verdikleri zarar da buna orantılı olarak artmaktadır (www.baktabul.com).

Çevreye verilen zararlar, doğal kaynakların kendini yenileyebilme yeteneği sayesinde başlangıçta fark edilmemiş, hatta zamanla çevrenin bu kirliliği yok edeceği sanılmıştır. Ancak sanılanın aksine çevreye bırakılan kirliliğin artmasıyla çevre hızla bozulmaya başlamıştır. İnsan faaliyetleri sonucu, çevresel değerlerin bozulması, yok edilmesi, toplumların tüm gelişmişliklerine rağmen kıtlık, açlık, sera etkisi gibi küresel sorunlara çözüm bulamamaları, 20. yüzyılın sonlarına doğru giderek artan ölçüde dikkatleri çevreye çekmiştir. Ülkemizde özellikle 1970'li yıllarda, sanayileşmeye paralel olarak, çevre sorunlarının oluşmaya başladığı ve son yıllarda bazı yörelerde bu sorunların çevrenin taşıyamayacağı boyutlara ulaştığı gözlenmektedir. 1980'lere kadar gerek gelişmiş ülkeler gerekse gelişmekte olan ülkeler politika olarak ekonomik kalkınmayı çevreye tercih etmişlerdir (Gürel, 2005).

Bu çalışmada, Türkiye'deki çeşitli Termik Santrallerden çevreye yayılan uçucu küller nedeniyle santral çevresinde oluşması muhtemel çevresel etkilerin neler olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca, Afşin Elbistan Termik Santrali ile birlikte; Su gözü, Yatağan, Soma, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalağzı ve Çan Termik Santral'lerinden alınan uçucu kül örnekleri ile Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünün liç karakteristikleri belirlenmiştir. Bu sayede farklı karakterdeki uçucu küllerin depolandıkları alan çevresindeki toprağa ve yeraltı suyuna bir kirlilik etkisinin olup olmayacağı öngörülmeye çalışılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Hiçsönmez (1991), Uçucu külün çözücü ekstraksiyonunda rol oynayan parametrelerin incelenmesi konusunu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Uranyumlu kömür kullanan Yatağan termik santrali uçucu küllerinden uranyum kazanılması amacıyla uygulanan liç işleminden sonra, elde edilen liç çözeltisindeki uranyumun trioktilamin ile yapılan çözücü ekstraksiyonunun uygulanabilirliğini araştırmıştır. Uranyum ekstraksiyonunu etkileyen parametrelerden seyrelticinin, faz oranının, çözücü yüzdesinin, sulu faz pH'sının, karıştırma süresinin ve kademe sayısının etkilerini incelemiştir.

Karaca (1997), Afşin-Elbistan Termik Santrali emisyonlarının çevre topraklarının fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikleri üzerine etkilerini doktora tezi olarak incelemiştir. 2 yıl boyunca 4 ayrı dönemde hakim rüzgar yönünde santrale 30 km mesafeden ve santral çevresindeki köylerden toprak örnekleri almıştır. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini (nem, hidrolik geçirgenlik, özgül ağırlık, bünye, elektriksel iletkenlik, toprak reaksiyonu, organik madde, kireç, serbest iyonlar, Na, K, Ca, Mg, katyon değişim kapasitesi, toplam Azot, toplam kükürt, toplam florür) belirlemiştir. Ayrıca örneklerin biyolojik analizlerini (CO_2 çıkışı, üreaz enzim aktivitesi, asit ve alkali enzim aktivitesi), ağır metal ve iz element analizlerini (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, Ni), kül örneklerinin analizlerini (pH, Eİ, ağır metal ve iz element) de yapmıştır.

Yazar, hakim rüzgar yönünden aldığı örneklerin iz element ve ağır metal içeriklerini çevre köylerden aldığı örneklere kıyasla yüksek bulmuş, özellikle santrale yakın mesafelerde konsantrasyonların oldukça artış gösterdiğini belirlemiştir. Toprak örneklerinin üreaz, asit ve alkali fosfataz aktivitelerinde önemli derecede azalmalar gözlemlemiştir. Ayrıca termik santrallerden kaynaklanan kirleticilerin en aza indirilmesi ve denetlenmesi için gereken bazı önlemleri belirlemiştir.

Foner ve Ark. (1998), İsrail'de faaliyet gösteren iki termik santralden alınan uçucu külleri karakterize etmişler ve uçucu küllerin inşaat sektöründe uygun bir şekilde kullanımı için öneriler getirmişlerdir.

Yazarlar bu çalışmalarında, Güney Afrika ve Kolombiya kömürlerinin yakılmasıyla elde edilen bu uçucu küllerin mineralojik, kimyasal, fiziksel ve teknik özelliklerini incelemişlerdir. Her iki uçucu külün de ASTM standartlarına göre F kalitesinde (iyi kalite) uçucu kül olduğu ve mükemmel puzzolanik karakter gösterdiklerini belirlemişlerdir. Güney Afrika uçucu küllerinin Kolombiya küllerinden daha iyi puzzalan olduğunu tespit etmişlerdir. Uçucu küllerden yüksek kalitede ve değerli hammaddelerin kazanılması için bir proses geliştirmişlerdir. Ayrıca uçucu küllerin İsrail'de endüstriyel alanda (çimento sanayiinde, agrega olarak, vb.) kullanılması için önerilerde bulunmuşlardır.

Bayat (1998), Türkiye'nin doğu-orta ve batı kısımlarındaki linyit ve bitümlü kömür alanlarından aldığı 7 farklı uçucu kül örneğinin mineralojik, morfolojik, fiziksel ve kimyasal özelliklerini karşılaştırmıştır. X-ray Difraktometresi ile yaptığı ölçümler sonucunda uçucu küllerin; anhidrit, kireç, kuartz, hematit+ferrit spinel olduğunu belirlemiştir. Uçucu külleri mikroskop altında incelemiş ve kimyasal analizlerini yapmıştır. Ayrıca uçucu küllerin yoğunluk dağılımlarını, su içindeki pH özelliklerini ve çözünürlüklerini incelemiş; uçucu küllerin çimento içinde bağlayıcı olarak, karadeniz kıyılarındaki toprakların pH'sını yükseltmek amacıyla ve atık suların arıtılmasında kullanılabileceğini ileri sürmüştür.

Taşkın (1998), Uçucu kül ve bazı organik materyallerin toprak biyolojik aktivitesi üzerine etkilerini incelemiştir. Yüksek lisans tezinde, artan dozlarda uçucu kül ve tek doz organik materyal kullanarak toprakta karbondioksit çıkışını, azot mineralizasyonunu, alkali ve asit fosfataz enzim aktivitesini incelemiştir. Çalışmaları sonucunda uçucu külün kullanılan tüm biyolojik aktiviteleri ve azot mineralizasyonunu gözle görülebilir şekilde düşürdüğünü belirlemiştir.

Şengül (1999), Kangal termik santrali uçucu küllerinin analitik ve çevresel olarak değerlendirilmesini doktora tezi olarak incelemiştir. Termik Santral baca çıkışı ve atık alanından alınan uçucu küllerin fiziksel, mineralojik ve kimyasal özelliklerini, çevresel etkilerini ve çimento katkı maddesi olarak kullanımını araştırmıştır. Uçucu küllerin yoğunluk, nem, kızdırma kaybı, tanecik boyutu dağılımı ve mineralojik özellikler gibi fiziksel özelliklerini; ayrıca Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi, XRF ve UV ile kimyasal özelliklerini belirlemiştir.

Yazar, uçucu küllerin en önemli çevresel etkilerinin yeraltı ve yer üstü sulara toksik element liçi olduğunu ileri sürmüş, bu etkileri inceleyebilmek için hazırladığı uçucu kül içeren kolonlardan su ve seyreltik sülfürik asit geçirmiştir. Liçe geçen element derişimlerine ve kolonlardaki uçucu küllerin mineralojik değişimlerine göre uçucu küllerin orta ve uzun vadede çevre için önemli bir kirletici olmadığını ileri sürmüştür.

Onacak (1999), Türkiye'deki termik santrallere beslenen kömürlerin ve yanma sonucu oluşan katı atıkların çevresel etkileri konusunu doktora tezi olarak çalışmıştır. Türkiye'deki 10 Termik santralde (Çayırhan, Seyitömer, Tunçbilek, Orhaneli, Soma, Yatağan, Yeniköy, Afşin-Elbistan, Kangal ve Çatalağzı) yakılan kömür ve yanma sonucu oluşan katı atıkların kaba kimyasal, mineralojik ve jeokimyasal özelliklerini incelemiştir. Kömür-kül ilişkileri hakkında ayrıntılı çalışmalar yapmış, kömür ve katı atıkların özelliklerinin zamansal olarak bir değişimin olup olmadığını seçtiği Çayırhan Termik Santralinde ayrıntılı olarak araştırmıştır. Elde ettiği sonuçların ışığında küllerin çevresel etkilerini belirlemeye çalışmıştır. Ayrıca uçucu küllerden sentetik zeolit minerallerinin elde edilmesine yönelik deneysel çalışmalar yapmıştır.

Karayiğit ve Gayer (2000), Türkiye'nin doğusunda bulunan Kangal Termik santralinde yakılan yüksek yoğunluklu, düşük uçucu maddeli, yüksek kül içerikli, yüksek kükürt içerikli ve düşük kalorifık değerli linyit kömürlerinden oluşan uçucu külleri karakterize etmişlerdir.

Yazarlar bu çalışmalarında, ICP-MS, XRD ve SEM-EDX Spektrumlarını alarak uçucu külleri incelemişlerdir. Uçucu küller içersindeki Mg, Ca, Ti, P, As, Ba, Bi, Co, Cs, Cu, Ga, Ge, Li, Mn, Mo, Nb, Pb, Rb, Sc, SR, Ta, Th, Tl, U, W, Y, Zn, Zr, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu miktarlarını belirlemişlerdir. Ayrıca Kangal uçucu kül içeriklerini Çayırhan uçucu külleri ile kıyaslamışlardır.

Goncaloğlu ve Ark. (2000), Kömürle çalışan Termik Santrallerle Nükleer Santralleri, Çevresel Etki Değerlendirmesi açısından Leopold Matris Yöntemini kullanarak karşılaştırmışlardır. Termik santrallerin ve Nükleer santrallerin çevresel etkilerini incelerken; Kaynak ekstraksiyonu açısından, Yakıt işlenmesi açısından,

Nakliye açısından, Enerji dönüşümü açısından, Enerji nakli açısından, Meydana gelen kazalar açısından karşılaştırmalar yapmışlardır. Gerçekleştirdikleri tüm incelemeler ve değerlendirmeler sonucunda; bütün tesislerin farklı yönleriyle çevre üzerinde çeşitli olumsuz etkiler yaptıklarını, ancak bütün tesislerin ileri teknolojiler kullanarak çevreyi olumsuz yönde minimum seviyede etkileyecek ve ekolojik dengeyi bozmayacak önlemlerin alınmasıyla kurulmasının çözüm olacağını belirtmişlerdir.

Akar (2001), Kömür külü atık sahaları nedeniyle oluşan ağır metal kirlenmesinin belirlenmesi konusunu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Ege bölgesinde bulunan Soma, Yatağan, Yerköy ve Kemerköy Termik Santralleri'nde oluşan uçucu küllerdeki ağır metallerin neden olduğu çevresel kirliliği belirlemeye çalışmıştır.

Yazar, kül depolama sahalarından aldığı örneklerin fiziksel ve kimyasal karakterizasyonlarını belirlemiş; ASTM, TCLP, CEN gibi liç yöntemlerini kullanarak uçucu küllerin sulu ve hafif asidik ortamdaki zehirlilik potansiyellerini tespit etmeye çalışmıştır. Laboratuar koşullarında bomba testleri yaparak; kömürün yanması sonucunda ortaya çıkan gaz fazın içerdiği toksik elementleri belirlemiştir. Ayrıca, krom IV (Cr^{+6})'nın termik santral küllerinde hangi oranlarda bulunduğunu ve sulu ortamda krom III (Cr^{+3})'ün oksidasyonunu incelemiştir.

Baba (2001), Yatağan termik santrali atık depolama sahasının yeraltı sularına etkisini incelemiştir. Bunun için atık depolama sahasından sızan sularda ve depolama sahasının önünde yer alan gözlem kuyularından aldığı su örneklerinde kirletici potansiyeli olan parametreleri analiz etmiştir. Atık depolama sahasının önünde yer alan ve Yatağan ovasını oluşturan genç alüvyon çökellerini geçirimli ve çok geçirimli topraklar sınıfına girdiklerini belirlemiştir. Bu alüvyon akiferlerinde açılan her biri 20 m derinliğindeki 3 gözlem kuyusundan her ay su örnekleri almıştır. Yaygın olarak içme suyu ve sulama suyu olarak kullanılan bu sularda, bazı dönemlerde Cd ve Pb değerlerinin EPA (Çevre Koruma Örgütü) tarafından içme suları için önerilen 0,005 mg/l ve 0,015 mg/l sınır değerlerini aştığını belirlemiştir. Ayrıca, su örneklerindeki sülfat değerlerinin TSE tarafından içme suları için önerilen maksimum sınır değerini genellikle aştığını gözlemiştir.

Bingöl (2001), Uçucu küllerin liçi ve liç çözeltilerinin katı-faz özütleme tekniği ile eser element analizine hazırlanması konusunu doktora tezi olarak çalışmıştır. Uçucu kül eser element analizine eşlik eden sorunlara bir çözüm bulmayı amaç edinmiştir. Uçucu küldeki eser elementlerin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (FAAS) analiz yönteminin tayin sınırında yada daha düşük bulunması, şiddetli çözündürme koşullarının yarattığı bulaşma ve analit kaybı gibi sorunlara çözüm olabilecek liçing/zenginleştirme yaklaşımının kullanılabilirliğini araştırmıştır.

Yazar aynı zamanda, Kangal termik santralinden aldığı uçucu kül örneklerinin eser element yönünden analizinde iki aşamalı olarak düşündüğü işlem dizisinde; birinci aşamada eser elementlerin uygun çözücülerle ve uygun işlem koşullarında uçucu küllerden ağır metallerin liçini sağlamış, ikinci aşamada ise çözeltiye alınan Cu, Ni, Co, Mn, Pb, Zn, Cr elementlerine katı-faz özütleme tekniği ile zenginleştirme işlemi uygulamıştır. Bu sayede ağır metal ölçümlerini daha rahat gerekleştirmiştir. Liç işlemlerinde denediği çözücü karışımları arasında maksimum silikat yıkımı yaratan 2 mi HF ile yumuşatma sonrası %37'lik HC1 kullanımında eser elementlerin daha yüksek oranda çözeltiye alındığını, ayrıca Amberlit XAD-4' ün aktif karbonun yerine çoklu element zenginleştirilmesinde kullanılabileceğini belirlemiştir.

Choi ve Ark. (2002), Kore'deki 5 farklı termik santralden aldıkları uçucu külleri kimyasal ve mineralojik açıdan incelemişlerdir. Antrasit ve yarı bitümlü kömürlerin uçucu küllerini karşılaştırmışlardır. Seçtikleri bazı uçucu küllerin liç davranışlarını yığın liçi testleriyle belirlemişlerdir. Yazarlar, elementlerin kısa ve uzun dönem liç özelliklerini incelemişler, ayrıca termik santral yakınlarından aldıkları yer altı suyunu uçucu kül atık suları ile karşılaştırmışlardır. Atık sahasından uçucu kül liçi ile yer altı suyuna bir kirlilik aktarımı olup olmadığını belirlemeye çalışmışlardır. Yüzey suyu, yer altı suyu ve çamur örneklerinin As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Cl^-, NO_3^-, SO_4^{-2} içeriklerinin benzerlik gösterdiğini belirlemişlerdir.

Ünal ve Uygunoğlu (2004), Soma Termik Santrali'ne ait uçucu kül, agrega ve PKÇ 32.5 çimentosu kullanılarak üretilen betonların özelliklerine uçucu kül katkısının etkisini araştırmışlardır. Beton numunelerde, su/çimento oranı 0.65,

maksimum agrega tane çapı 31.5 mm ve 300 kg/m^3 çimento dozajını esas almışlardır. Karışımlardaki çimento miktarını ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ile ikame etmişler ve ürettikleri numunelerde önce su emme deneyi, daha sonra ultra ses geçiş süreleri, donma-çözülme dayanımları, tek eksenli basınç deneylerini yaparak 7 ve 28 günlük özelliklerini belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre; çimentonun %10-20 oranında uçucu kül ile ikame edilmesi durumunda, beton özelliklerinde olumsuz bir etki belirlememişlerdir. Kömürün yakıt olarak kullanıldığı durumlarda çevreye önemli ölçüde atık malzeme terk edildiği için ve uçucu küllerin atık olarak çevreyi tehdit etmeleri nedeniyle inşaat sektöründe beton veya çimento üretiminde değerlendirilmesinin önemli oranda katma değer sağlayacağını savunmuşlardır.

Ural (2005), Afşin Elbistan Termik Santralinde oluşan uçucu külün; fiziksel, kimyasal ve mineralojik özelliklerini incelemiş ve küllerin çimento, seramik ve cam endüstrisinde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Kışlaköy açık işletmesinde tabakalı bir yapı gösteren kömürü üç tabakada incelemiş ve bu tabakalardaki her bir kömürün yanması sonucu oluşan külleri ayrı ayrı araştırmıştır. Bu tabakaları; alt, orta ve üst olarak üçe ayırmış, 1100°C'de kül fırınında yakmış ve elde ettiği küllerin XRF ve XRD analizlerini yaptırmıştır. Ayrıca küllerin boyut dağılımını, spesifik yüzey alanını, yığın yoğunluğunu, özgül ağırlığını ve pH'sını belirlemiştir.

Yazar, tüm ölçümler sonucunda, uçucu küllerin temel olarak CaO, SiO_2, Fe_2O_3 ve Al_2O_3'ten (%74-85) oluştuğunu belirlemiştir. Taban kısmındaki kömürün külünde hematit, kuartz ve anhidrit; orta kısımdaki kömürün külünde kireçtaşı ve anhidrit; üst kısımdaki kömürün külünde gehlerite ve melilite kristallerinin bulunduğunu belirlemiştir. Ayrıca çimentoda bulunan C_3A, C_4AF ve βC_2S minerallerini her üç külde de belirlemiştir. Sonuç olarak; alt tabaka kömürü küllerinin düşük kalsiyum oksitli F sınıfı çimentoda, orta ve üst tabaka kömürlerinin küllerinin yüksek kalsiyum oksitli C sınıfı çimentoda, alt tabaka külünün cam-seramik endüstrisinde, tüm küllerin ise toprak stabilizasyonunda kullanılabileceğini ileri sürmüştür.

Kim (2005), Uçucu kül içerisindeki metalik elementlerin asidik, bazik ve nötr ortamlardaki çözünürlüğünü incelemiştir. Uçucu kül örneklerini 1 ay ile 3 ay

arasında liç işlemlerine tabi tutmuş ve elde ettiği çözeltilerin pH'ını ve 19 farklı katyon içeriğini belirlemiştir. Yaptığı incelemeler metallerin çözeltiye geçişinde uçucu külün bazik karakterinin ve mineral yapısının etkili olduğunu göstermiştir. Oksianyon formundaki bileşiklerin yüksek pH'larda, ağır metallerin ise düşük pH'larda daha çok çözündüğünü gözlemiştir.

Yazar, 2 litre hacimli PVC borular içersine 1 kg'lık uçucu kül örnekleri yerleştirerek kolonlar oluşturmuştur. Bu kolonlardan nötr ortam için deiyonize su, asidik ortam için asetik asit ve sülfürik asit, bazik ortam için ise sodyum karbonat çözeltisi geçirmiştir. Elde ettiği liç çözeltilerinin analizlerini ICP-AES ile yapmıştır. Analiz sonuçları; uçucu kül örneklerinin çevreye çeşitli etkilerinin olabileceğini, özellikle asit yağmurları etkisi ile oluşacak düşük pH'larda metallerin çözünerek kirlilik etkisi yaratacağını göstermiştir.

Makineci ve Sevgi (2005), Seyitömer Termik Santralinin çevresel etkilerini incelemek amacıyla, santralin yakın çevresinde bulunan ve kurumuş olan ormanlardaki karaçam ağaçlarının yıllık halka gelişimini incelemişlerdir. Yıllık halka genişliklerinin incelenmesi için, termik santral birimlerinin işletmeye açıldığı tarihleri esas almışlar ve bu tarihleri; I. dönem 1957-1972 (termik santral öncesi), II. dönem 1973-1989 (termik santralın dört biriminin sırasıyla kurulduğu dönem) ve III. dönem 1990-2001 (termik santralın tüm birimleri ile çalıştığı dönem) olarak baz almışlardır. Yıllık halkalar ile iklim verilerini bu üç dönemde ilişkilendirmişlerdir.

Yazar, ağaçların yıllık halkalarının genişlikleri birçok etken tarafından belirlenmektedir. Bunların başlıcaları, ağaç yaşı, meşcere sıklığı, ana kaya, iklim özellikleri ve bireyin kalıtım özellikleridir. Yıllık halka gelişimi üzerinde geniş alanlarda etki yapan etkenlerden biri de hava kirliliğidir. Hava kirliliği ağaçların yıllık halkalarında daralmaya sebep olmaktadır. Karaçam ağaçlarının halkalarında yaptıkları incelemeler sonucunda; termik santralin dört ünitesi ile çalıştığı ve kirlilik etkisinin en yoğun olduğu 3. dönemde yıllık halka ortalamalarını (19 ağacın 15'inde) diğer iki dönemden farklı bulmuştur. Bu etkiler sonucunda Karaçam ormanlarının büyümeleri yavaşlamıştır.

Bentli ve Ark. (2005), Seyitömer termik santral uçucu küllerinin kimyasal ve mineralojik özelliklerini tespit etmiş ve inşaat tuğlası yapımında katkı maddesi

olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Seyitömer termik santralinden aldıkları uçucu baca külü ile endüstriyel çaptaki tuğla fabrikasında dört farklı reçetede %2.5, %5, %10 ve %15 baca küllü tuğlalar hazırlamışlar ve uçucu kül katkılı tuğla reçeteleri ile fabrikada üretilen referans tuğlanın fiziksel ve mekanik testlerini laboratuarda karşılaştırmışlardır. Bu testler sonucunda referans tuğlaya göre uçucu kül ilavesi; birim hacim ağırlığı çok az miktarda arttırırken, kuruma, pişme ve toplam küçülmede belirgin bir değişime neden olmamıştır. Uçucu kül ilavesi, üretilen tüm reçete tuğlalarda su emme miktarını referans tuğlaya göre azaltmış, buna karşılık tuğlaların hiçbirinde referans tuğlada elde edilen dayanım değerine ulaşılamamıştır.

Avcı (2005), Türkiye'deki termik santrallerin çevresel etkilerini araştırmıştır. İncelediği termik santralleri kullandıkları birincil enerji kaynağına göre gruplandırmıştır. Ayrıca Termik Santrallerin çevre üzerinde yarattığı olumsuzlukların coğrafi ortam üzerindeki etkileri ile Türkiye'nin enerji politikalarının dünü, bugünü ve geleceği açısından değerlendirmiştir. Termik Santrallerin çevresel etkilerini başlıklar halinde incelemiştir. Bu başlıklar; Hava kirliliği, Toprak kirliliği, Su kirliliği, Canlılar üzerindeki etkiler, Arazi kullanımı üzerindeki etkiler şeklindedir.

Türkiye'nin uzun yıllardır izlediği enerji politikalarını da irdeleyen yazar, sonuç itibariyle; Türkiye'nin ihtiyacı olan enerjiyi sağlamak için daha çok yeni ve yenilenebilir kaynakların kullanılması gerektiğini, rüzgar, jeotermal, hidroelektrik ve güneş enerjisi gibi enerji çeşitlerine yapılacak olan tüm yatırımların fosil enerji kaynakları kullanımını azaltacağını ve böylelikle termik santrallerin neden olduğu olumsuz etkilerin azalacağını belirtmiştir.

Abalı ve Şahin (2006), Kütahya yöresinde bulunan Tunçbilek termik santrali uçucu kül atıklarının karakterizasyonunu belirlemiş ve bu küllere ağırlıkça %30 oranında Söğüt kili ekleyerek yer karosu masseleri hazırlamıştır. Daha sonra bu karo masselerin fizikomekaniksel analizlerini yaparak, uçucu külün seramik endüstrisinde yer karosu olarak kullanılabilirliği araştırmıştır.

Yazar, öncelikle Termik santral uçucu külünün kimyasal analizini ve X-ışını kırınımı (XRD) ile mineralojik analizlerini yapmıştır. Uçucu külü öğüterek ayrı ayrı ve Söğüt kili katılarak presleme yöntemi ile şekillendirmiş ve elde ettiği karo

örneklerini farklı sıcaklıklarda sinterlemiştir. Bu seramik malzemelere kuru mukavemet, kuru küçülme, pişme mukavemeti, pişme küçülmesi ve su emme gibi fiziksel ve mekaniksel testler uygulamıştır. Ayrıca, yaptığı tüm testler sonucunda; düşük tane boyutuna sahip 1200°C'de sinterlenen %30 söğüt kili katkılı malzemenin TS/EN-100 standartlarına göre yer karosu kullanımına uygun olduğunu belirlemiştir. Uçucu külün ülkemizde sınırlı olan K-feldspat (ortoklas)'a alternatif bir hammadde olabileceğini belirtmiştir.

Baba ve Ark. (2007), Sıcaklı ve pH'ın, kömür yakıtlı termik santrallerden kaynaklanan atıklardaki ağır metallerin suya geçişi üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çeşitli kül liçi deneysel çalışmaları sonucunda küllerde bulunan metallerin yüzey ve yer altı sularına geçebildiklerini belirlemişlerdir. Yazarlar, Çan termik santralinden aldıkları kül örneklerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için ASTM D3987 standardında verilen liç yöntemini kullanmışlardır. F sınıfı uçucu kül sınıfına giren bu kül örnekleri üzerinde farklı pH ve sıcaklıkta Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Se, Zn, As ve Cr (VI) elementlerinin sudaki değişimlerini incelemişlerdir. Bu çalışmada elde ettikleri verilere göre, düşük pH ve yüksek sıcaklıklarda ağır metal konsantrasyonları artmıştır. pH 7'de Cd ve Pb dışındaki ağır metallerin, pH 3'te ise Ni ve Se dışındaki ağır metallerin konsantrasyonlarının yüksek olduğunu belirlemişlerdir. pH 5'te ağır metallerin liç sıvısındaki konsantrasyonları ise farklılıklar göstermiştir.

Karahan ve Atış (2007), Sugözü Termik Santrali uçucu külünün beton katkısı olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. ASTM standardına göre uçucu küllerin kimyasal bileşen yüzdelerine göre C ve F sınıfı olmak üzere iki grupta sınıflandırıldığını, ülkemizde aktif olarak çalışan 12 adet termik santralden sadece Çatalağzı ve Sugözü termik santrallerinin küllerinin F sınıfı olduğunu, diğer santral küllerinin C sınıfı uçucu kül olduğunu; Ayrıca, uçucu küllerin çimento üretiminde puzolanik katkı maddesi ve beton içinde ikincil bağlayıcı madde olarak çimentoyla birlikte, tuğla ve yapı bloğu üretiminde, suni agrega üretiminde, enjeksiyon uygulamalarında, dolgu malzemesi olarak, yol inşaatlarında temel ve temel altı tabakası olarak ve zemin iyileştirmesinde kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir.

Yazarlar yaptıkları bu çalışmada, 2004 yılında faaliyete geçen Sugözü Termik santralinde ikincil ürün olarak meydana çıkan F sınıfı uçucu külün beton içerisinde mineral katkı olarak kullanabilirliğini sertleşmiş betonların dayanım ve dayanıklılık özellikleri açısından araştırmışlardır.

Karaca ve Ark. (2009), Çayırhan Termik Santrali bacasından çıkan gaz emisyonlarının çevre toprakları üzerine yapmış olduğu etkileri araştırmışlardır. Emisyonların hakim rüzgar yönünde hareket edeceğini göz önüne alarak güney doğu yönünde bulunan tarım alanlarından 20 adet, kuzey doğu yönünden santral merkez kabul edilerek Beypazarı ilçesine doğru 7 adet ve hakim rüzgar yönü tersi istikamet olan kuzey batı yönünden de 3 adet toprak örneğini 0-20 cm derinlikten almışlardır. Toprak örneklerinin pH, organik madde ve toplam kurşun, kadmiyum, nikel ve kükürt içeriklerini belirlemişlerdir. Kuzey doğu yönüne ait toprakların pH değerlerinin, diğer yönlerden alınan toprak örneklerinin pH değerlerinden daha düşük olduğunu, pH ile toplam kükürt, kadmiyum ve kurşun içerikleri arasında $P<0,001$ düzeyinde önemli negatif ilişki olduğunu, her üç yönden alınan toprakların toplam kurşun ve nikel içeriklerinin Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerinin altında olduğunu belirlemiş ve henüz bu metallerin kirliliğinden söz etmenin mümkün olmadığını belirtmişlerdir.

Yazarlar yaptıkları bu çalışmada, hakim rüzgar yönünden alınan toprak örneklerinin toplam kadmiyum miktarlarının, hakim rüzgar yönü tersinden alınan toprak örneklerine göre oldukça yüksek olduğunu ve bulunan değerlerin Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği sınır değerlerinin üzerinde olduğunu belirlemişlerdir. Benzer şekilde kuzey doğu yönünden alınan toprak örneklerinin hepsinde ve güney doğu yönünden alınan toprak örneklerinin çoğunda kükürt kirlenmesi ve hakim rüzgar yönü tersi olan kuzey batı yönünden alınan toprak örneklerinde de olası kükürt kirlenmesi olduğunu tespit etmişlerdir.

3. UÇUCU KÜLLER

Modern yakma tekniklerinin ortaya çıkmasıyla birlikte büyük miktarlarda katı yanma ürünleri oluşmaktadır. Bu ürünlerin büyük çoğunluğu yanma sonucunda oluşan, baca tarafından çekilen gazlarla beraber yukarı sürüklenen ve uçucu kül (fly ash) adı verilen çok ince boyutlu kül tanecikleridir. Bu ince kül parçaları çeşitli yöntemlerle tutulmakta (elektro filtre, siklon vb.) ve baca gazları ile atmosfere yayılmaları önlenmektedir. Uçucu küller, 1-150 µm tane iriliğinde düzensiz şekilli parçacıklar halinde bulunmalarına karşın, yakma kazanının içinden kısa geçişleri boyunca ergidiklerinden, genellikle küresel şekil alırlar ve toplam külün ağırlıkça %80'ini oluştururlar. Kömür külünün diğer iki bileşeni ise taban (kazan altı) külü ve cüruftur. Yakma sisteminin altında ya da taban üzerinde tanecikler olarak toplanmakta ve külün yaklaşık %20' sini oluşturmaktadır (Watson, 1985).

Aydınlatmalı ve elektron mikroskoplarla yapılan morfolojik çalışmalar, uçucu külün heterojen bir yapıya ve çok farklı tane şekillerine sahip olduğunu göstermektedir. Fisher ve Natusch (1978) uçucu kül içindeki tanelerin 11 temel morfolojik yapıda olduğunu tanımlamışlardır. Bunlar:

* Şekilsiz saydam taneler,
* Şekilsiz opak taneler,
* Şekilsiz opak ve saydam karışık taneler,
* Yuvarlak kabarcıklı saydam tanecikler,
* Yuvarlak kabarcıklı opak ve saydam karışık taneler,
* Köşeli delikli opak taneler,
* Cenospheres (içi gaz dolu küresel taneciklerle dolu küresel taneler),
* Plerospheres (içi küresel taneciklerle dolu küresel taneler),
* Saydam katı küresel taneler,
* Opak küresel taneler,
* Yüzeylerinde veya içinde kristal oluşumlu küresel taneler.

Opak (şekilsiz veya köşeli delikli) taneler oksitlenmemiş karbonatlı malzemeler veya demir oksitler olarak sınıflandırılır. Opak küresel tanelerin ise manyetit (demir oksit) olabileceği düşünülmektedir. Şekilsiz (yuvarlak kabarcıklı

veya saydam) taneler, alümine-silikatların kömürün yanması sırasında tanelerin yanmaya karşı maruz kaldığı süreye bağlı olarak yuvarlak veya kabarcıklı oluşum şeklinde ortaya çıkmasıdır. Küresel taneler ise (cenospheres, plerospheres veya katı küresel taneler) daha uzun süreli yakma sonucu oluşmaktadırlar. Şekilsiz opak taneler ise yanmamış karbondur (Fisher ve Natusch, 1978).

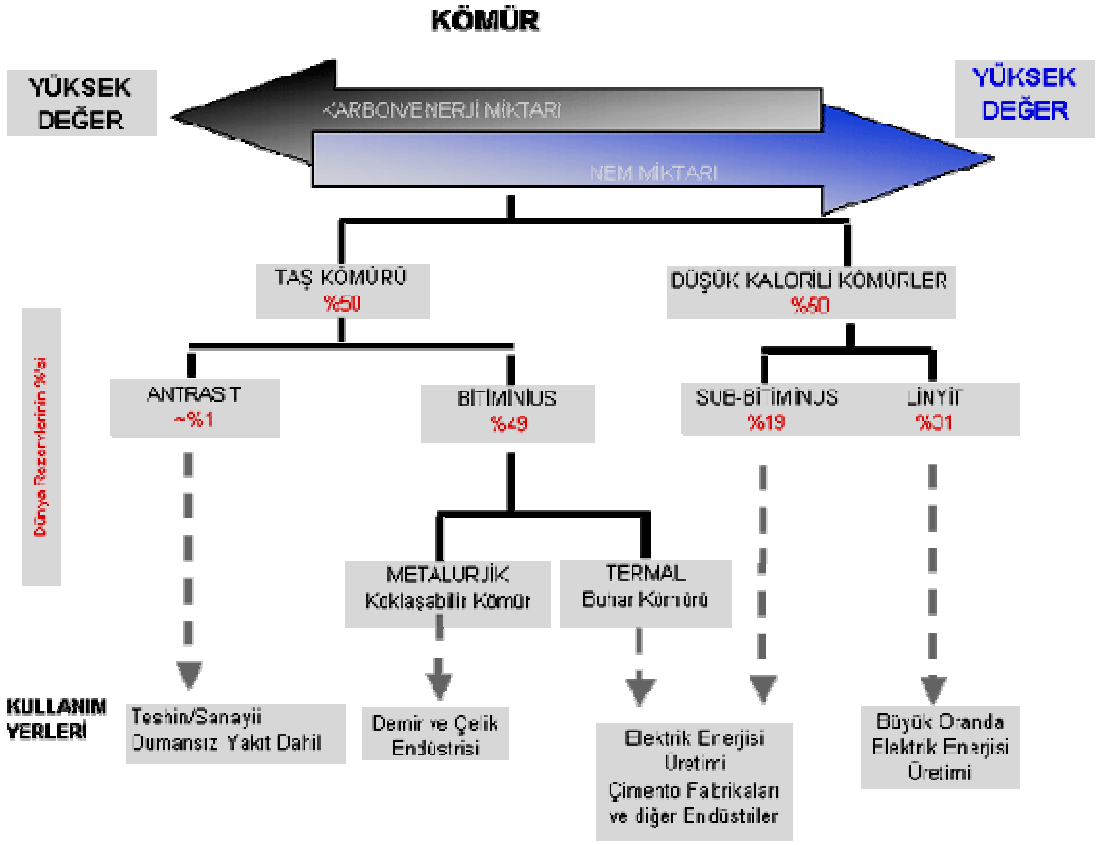
Burnet'e (1986) göre, uçucu külün kimyasal bileşimi kullanılan kömürdeki minerallerin tipine ve miktarına bağlı olarak değişmektedir. Birçok uçucu külün %85' inden daha fazla bir kısmı; SiO_2, CaO, Fe_2O_3, MgO, Al_2O_3, SO_3'ün yer aldığı kimyasal bileşenlerden oluşmaktadır.

3.1. Kömür

Kömür yanabilen sedimanter organik bir kayadır. Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin ve bazı inorganik maddelerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabakalarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Kömür, nebatların bataklık alanlarda birikmesi sonucu oluşan tabakaların değişime uğraması neticesi meydana gelmiştir. Bu tabakalar, üzerlerine çeşitli çökeltilerin birikmesi ve arz'ın hareketleri sonucu derinliklere gömülmüştür. Gömülmüş olan bu nebatlar; artan ısı ve basınca maruz kaldıklarında bünyelerinde fiziksel ve kimyasal değişikliğe uğrayarak kömüre dönüşürler. Bu süreç milyonlarca yıl içinde gerçekleşerek kömürler organik olgunluklarına göre; Linyit, Alt bitümlü Kömür, Bitümlü kömür ve Antrasit tiplerine ayrılırlar (Toprak, 2009).

Linyit ve kısmen Alt Bitümlü kömürler genellikle yumuşak, kırılgan ve mat görünüştedirler. Bu tip kömürler göreceli olarak yüksek nem içerirler ve karbon içerikleri düşüktür. Antrasit ve Bitümlü kömürler ise genellikle sert ve parlak görünüştedirler. Göreceli olarak nem içerikleri düşük olup, karbon oranları yüksektir. Jeolojik olarak kömürlerin yaşları 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir. Genellikle yaşlı kömürler daha kalitelidir (Toprak, 2009).

Şekil 3.1'de kömürlerin organik olgunluklarına göre sınıflanması şematik olarak verilmiştir.



Şekil 3.1. Kömürlerin organik olgunluklarına göre sınıflandırılması (Toprak, 2009)

Kömür homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla lignoselülozik bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içersinde çoğunlukla C, az miktarda H-O-S ve N elementlerinin bulunduğu ama inorganik (kil, silt, iz elementleri gibi) maddelerinde olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında olan, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir. Kömürler yakma dışında; kok yapımı, kimyasal madde üretimi gibi değişik alanlarda da kullanılırlar. Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun (nemli ve sıcak iklimin bulunması, yeterli organik maddenin ortama gelmesi, bataklık suyunun pH şartlarının 4-5 civarında bulunması, bataklığın malzeme gelimi ile birlikte aşağı doğru çökelmesi, bataklığın zamana bağlı olarak örtülmesi gibi) şartların sağlanması durumunda, bitki parçalarının bozuşması, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğraması sonucu meydana gelirler (www.tki.gov.tr).

Çoğunlukla bitkisel maddeler ya da bitki parçaları uygun bataklık ortamlarda birikip, çökelir ve jeolojik işlevlerle birlikte yeraltına gömülürler. Yerin altında, bu organik kütleler, gömüldükten sonra, önceleri gömülmenin oluşturduğu basınç şartları, daha sonra da ortamın ısısal şartlarından etkilenirler. Bu etkilenme sonucu bu organik maddenin bünyesinde fiziksel ve kimyasal değişimler meydana gelir. Önceleri turba olarak adlandırılan ve kömürlerin ataları olarak bilinen bu organik maddeler zamanla daha koyu renklere ve daha sert yapıya sahip olurlar. Sıcaklık ve basınç şartlarının bu kütlelere etkimesi sonucu, bu ortamdan, sırasıyla önceleri (turbadan-taşkömürü aşamasına kadar) su ve su buharı, karbon dioksit (CO_2), oksijen (O_2) ve en ileri aşamalarda hidrojen (H_2) (antrasit aşamasında) uzaklaşır. Tabii ki bu süreçte ideal şartlar ve ortamın ısısal şartlarının uzun bir dönem içersinde (binlerce yıl) baskın olması ve artması gerekmektedir (www.tki.gov.tr).

Yer ısısı her 30 metrede 10°C artmaktadır. Sıcaklık artışı ideal ve normal şartlar için geçerlidir. Bu şartların dışında (volkanik faaliyetlerde, fay hareketlerinde, radyoaktif elementlerin bulunduğu ortamlarda) yerin ısısı olağan üstü bir şekilde ve normalden çok fazla bir şekilde artmaktadır. Yerin ısısı arttıkça önceleri "turba" olarak adlandırılan ama kömür sayılmayan bu organik madde, önce "linyit" daha sonra "alt bitümlü kömür", sonra "taşkömürü", "antrasit" ve en sonunda şartlar uygun olursa "grafit"e dönüşür. Bu ilerleyen olgunlaşma sürecine “Kömürleşme” (Coalification), her seviyeye de "kömürleşme derecesi" (Rank) denmektedir. Kömürler şüphesiz içlerinde kil, silt, kum ve değişik oranlarda inorganik (mineral) madde bulundururlar. Kömürlerin içersinde bulunan bu inorganik maddeler kömürün kalitesini direkt olarak negatif yönde etkilerler. Bir kömürün kalitesi, kullanıldığı alana göre farklı anlamlar içerebilir. Örneğin; kok imalinde en kaliteli kömür, şişebilen, gözenekli hale gelebilen ve dayanıklı olabilen, okside olmamış kömürlerdir. Yakıt hammaddesi olarak kömürün koklaşması bir anlam ifade etmez, en aranan özellik fazla ısısal niteliğe sahip olmasıdır. Kömürü sıvılaştırma işlemine tabi tuttuğumuzda ise en aranan özelliği uçucu maddesinin fazla olması vs. gelmektedir. Ama tümünde inorganik madde istenen bir bileşen değildir (www.tki.gov.tr).

ASTM tarafından yapılan kömür sınıflaması Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Amerikan standartlarına göre kömür sınıflaması (ASTM, 1981)

SINIF	ALT GRUP	Sabit Karbon Sınırları*(%)		Uçucu Madde Sınırları*(%)		Isıl Değer (Kcal/Kg)	
		>=	<	>	<=	>=	<
ANTRASİT	1.Meta Antrasit	98	-	-	2	7780	-
	2.Antrasit	92	98	2	-	7780	-
	3.Semi-Antrasit	86	92	8	14	7780	-
BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	1.Düşük Uçuculu	78	86	14	22	7780	-
	2.Orta Uçuculu	69	78	22	31	7780	-
	3.Y. Uçuculu- A	-	69	31	-	7780	-
	4.Y. Uçuculu- B	-	69	31	-	7220	7780
	5.Y. Uçuculu- C	-	69	31	-	5835	7220
ALT BİTÜMLÜ KÖMÜRLER	1.Alt Bitümlü-A	-	69	31	-	5835	6390
	2.Alt Bitümlü-B	-	69	31	-	5275	5835
	3.Alt Bitümlü-C	-	69	31	-	4610	5275
LİNYİT	1.Linyit- A	-	69	31	-	3500	4610
	2.Linyit- B	-	69	31	-	-	3500

*Kuru Bazda

Turba, bir kömür olmamakla birlikte kömür oluşumunun (kömürleşme) ilk evresini oluşturmaktadır. Turba, belirli bir jeolojik zaman içerisinde, artan sıcaklık ve basınç etkisiyle bir dizi fiziksel ve kimyasal değişiklikler geçirir ve en son aşamada antrasit ve meta antrasite dönüşür. Turbanın, linyit, alt bitümlü kömür ve bitümlü kömür aşamalarından geçerek antrasite ve meta antrasite dönüşmesi sürecine kömürleşme denilmektedir. Kömürleşme süreci, turbanın oluştuğu bataklıkta, turbanın üzerine ince klastik veya diğer sedimentlerle örtülmesiyle başlamaktadır (Karayiğit ve Köksoy, 1997).

Kömürleşme, ekseriya iki gruba ayrılmaktadır. Birincisinde, fungi ve bakteri faaliyetleri fazla olup, biyokimyasal aşama olarak isimlendirilir. İkincisi, biyokimyasal aşamanın bitişinden itibaren başlar ve bu aşamada sıcaklık, basınç ve zaman önemli olup, turbadan, çoğunlukla basıncın ve daha az oranda sıcaklığın etkisiyle linyit oluşur. Kömürleşme derecesinin artmasıyla; alt bitümlü kömür, bitümlü kömür ve daha sonra antrasit meydana gelir. Fiziksel ve kimyasal bozunma derecesi esas alındığında, alt bitümlü kömüre kadar olan değişimler, diyajenetik proses içerisinde değerlendirilmektedir. Ancak, alt bitümlü kömür aşamasının başlangıcından sonra organik maddenin değişimi öylesine şiddetli olmaktadır ki, bu proses, metamorfizma, olarak da ifade edilmektedir. Halbuki, bu proses sırasında, kömüre komşu kayaçlarda son derece zayıf diyajenetik değişiklikler oluşmaktadır. Bunun nedeni, kömürlerin artan ısı ve basınca karşı sedimentlerden daha çok duyarlı olmasından kaynaklanmaktadır (Karayiğit ve Köksoy, 1997).

Kömürlerin, bitkisel artıkların, tatlı veya acı sulu göller veya denizlerin teşkil ettiği sedimentasyon bölgelerine taşınarak çökelmesi suretiyle oluştuğunu ileri süren teori Allokton oluşum teorisidir (Deltalar teorisi). Bu teori denizden uzakta meydana gelmiş küçük iç kömür havzalarının oluşumunu çok güzel açıklayan bir teori olmakla birlikte, büyük orojenik hareketlere bağlı olarak ortaya çıkan önemli kömür basenlerine uygulanamamaktadır. Geniş yayılımlı ve kalın damarlar ihtiva eden kömür havzalarının oluşumunu tam olarak izah edebilen otoktoni teorisi 1821 yılında Brongniart tarafından ileri sürülmüştür. Otokton oluşum teorisi kömürün oluşumunu şöyle açıklamaktadır; Maden kömürü bugünkü turbalıklara benzeyen yersel geniş havzalarda meydana gelir. Denizden uzak göllerde limnik, denize yakın kıyısal bataklıklarda ise paralik basenler oluşur. Kömürleşmenin olabilmesi için sulu bir ortam gereklidir. Sulu ortamda, havanın oksijeni ile teması kesilen bitkisel artıklar, mikroskobik canlıların etkisiyle, humifikasyona uğrarlar. Bu olay tam bir kömürleşmeyle sonuçlanmaz. Çünkü havanın tesiri hala kendini aktif olarak hissettirmektedir. Hümifikasyondan sonra bir ileri aşamaya geçilebilmesi için, yeni bir örtü tabakasının çürümekte olan bitki çökelini örtmesi gerekmektedir. Bu tabakanın oluşması durumunda turbalaşma olayı başlar ve kömürleşmeyle son bulur (Nakoman, 1971).

3.1.1. Kömürün Genel Özellikleri

3.1.1.1. Kömürün Fiziksel Özellikleri

Kömürün kullanımını etkileyen özelliklerden biri olan yoğunluk; yığın yoğunluğu, görünür yoğunluk ve gerçek yoğunluk olmak üzere üç farklı şekilde ifade edilmektedir. Kömürün diğer fiziksel özellikleri; gözeneklilik ve yüzey alanı, sertlik, öğütülebilirlik, ısıl iletkenlik ve özgül ısıdır (Meriçboyu ve Ark., 1998) Ayrıca, gaz emme, plastiklik, özgül ağırlık, mikro sertlik (mikrodürte) ve refleksiyon yansıtmadır (Nakoman, 1971).

3.1.1.2. Kömürün Kimyasal Özellikleri

Kömürün bazı kimyasal özellikleri; oksidasyon, çözücülerde çözünme, hidrojenasyon ve koklaşmadır (Nakoman, 1971). Kimyasal analizleri ise; nem, uçucu madde, kül, kalorifik değer, mineral madde içeriği, erime özelliği ile karbon, hidrojen, oksijen, azot, ve kükürt içeriğidir (Meriçboyu ve Ark., 1998).

3.1.1.3. Kömürün Petrografik Özellikleri

Bir kömür örneği çıplak gözle incelendiğinde, farklı bantlardan ve mikroskopla incelendiğinde farklı kökene sahip organik maddelerden (maserallerden) oluştuğu görülebilmektedir. Her bir kömürün bileşimi ve karakteri, onu oluşturan organik ve inorganik bileşenlerin doğası ve geçirdiği diyajenez derecesiyle tanımlanmaktadır. Bir turba parçası incelendiğinde, turbayı oluşturan bitki parçaları kolayca görülebilmektedir. Ancak, kömürleşme derecesinin artmasıyla bitki parçalarını kömür içinde gözle tanımlamak olanaksızlaşmaktadır. Yüksek kömürleşme derecesine sahip kömürlerde, farklı organik maddeler, sıkışma ve diğer süreçlerle değişime uğradığından bunları mikroskopla bile tanımlamak zorlaşır (Karayiğit, 1998)

Kömürleri meydana getiren makroskobik ve mikroskobik yapı maddelerini en küçük üniteden başlayarak sıralanacak olursa; maseraller (kollinit, telinit, sporonit, kütinit, alginit, rezinit, füzinit, sömifizinit, sklerotinit ve mikrinit), maseral grupları (vitrinit, ekzinit, inertinit), mikrolitotipler (vitrit, vitrinertit, klarit, düro-klarit, klara-dürit, dürit ve fizit) ile litotiplerdir (vitren, klaren, düren ve füzen) (Nakoman, 1971).

3.1.2. Kömür Çeşitleri

3.1.2.1. Linyit

Bileşiminde %60 ile 73 oranında karbon bulunan kahverengi veya siyah fosil kömürdür. Tozu kahverengi renktedir. Linyitin oluşum süreci taşkömürününkine benzer; linyit, bataklıklardaki bitki kalıntılarının bozuşması, sonra da yavaş yavaş alüvyon çökeltileriyle örtülmesi sonucu oluşur. Taşkömürü yataklarının büyük bir kısmı Birinci zamandan kalmadır; oysa linyit yatakları, genellikle, çok daha yenidir (İkinci ve Üçüncü zaman). Bitki kalıntılarını kömüre dönüştüren fiziko kimyasal olayların gerekli etkime süresi, taşkömürü için uzun, linyit için daha kısadır. Linyitin birçok çeşidi olmakla birlikte hepsinin ortak özelliği, bileşimlerinde yüksek oranda su (ortalama %20 ile %60'ın üstünde) ve uçucu maddeler (%15'ten fazla, hatta %60'ın üstünde) bulunmasıdır. Isı değerleri, kilogram başına 7.000 kaloriye ulaşmaz. Genellikle bir ton linyitin 0,3 ton taşkömürüyle eşdeğerli olduğu kabul edilir (www.tki.gov.tr).

Dünyadaki linyit rezervlerinin yaklaşık olarak 1700 milyar ton olduğu sanılmaktadır. Bununla birlikte, yatakların az derinde oluşu ve üzerindeki katmanların kolayca kaldırılabilmesi, linyit yataklarının açık ocak ile işletilmesine imkân verir. Bu şartlar taşkömürüne oranla linyitin maliyetini düşürür ve iktisadi alanda linyit üretimini çekici hale getirir. Ayrıca termik santrallerde linyitten yararlanılması ucuza iletilebilen bir enerjinin üretilmesini sağlar. Uçucu madde bakımından zengin olması, linyitin kimyasal sanayinin başlıca hammaddesi haline gelmesini sağlamıştır (www.tki.gov.tr).

3.1.2.2. Taşkömürü

Kömürlerin arasında en değerlisidir. Linyitten yüksek oranda karbon, az su ve oksijen içerirken, önemli oranda gaz içerirler. Taş kömürü; bitkilerin jeolojik dönemler boyunca dönüşüme uğraması ile oluşmuş, yüksek ısı gücü olan bir enerji kaynağıdır. Kalori değerinin çok yüksek olması ve bol miktarda bulunması nedeniyle taş kömürünün enerji üretiminde vazgeçilmez bir yeri vardır. Bu maden elektrik santrallerinde, sanayide ve kok kömürü yapımında kullanılır. (www.tki.gov.tr).

3.1.2.3. Antrasit

%95` i karbondan oluşur. En sert kömür türü olup yandığında diğerlerinden daha fazla ısı verir. Güçlükle tutuşan, koku ve duman çıkarmadan yanan bir çeşit taş kömürüdür. Antrasitin katılık ve yoğunluğu diğer kömürlerden çoktur. Kısa mavi renkli bir alevle yanar. Ülkemizde Kastamonu ilinde bulunan Antrasit, kömürleşme derecesi en yüksek, jeoloji bakımından en eski olan kömürdür. Jeolojik olarak 400 milyon yıl ile 15 milyon yıl arasında değişir. Genellikle yaşlı kömürler diğer kömürlere göre daha kalitelidir (www.tki.gov.tr).

3.1.2.4. Turba

Çamurlu göl ve bataklıklarda, çeşitli bitki artıklarının yığılması ile çok yakın bir geçmişte yani birkaç bin yıl önce oluşmuş bir kömür çeşididir. Yumuşak olan ve bitki kalıntıları bulunduran bu kömürlerin su ve uçucu madde içeriği yüksek, karbon miktarı ise düşüktür (www.tki.gov.tr).

3.1.3. Türkiye'deki Linyit Yatakları, Rezervleri ve Üretimi

Türkiye'de linyit yatakları; genellikle, Alpin dağ oluşum hareketlerinin etkisi sonucu oluşmuş, dağ silsileleri arasındaki çöküntü havuzlarında gelişmiştir. Anadolu'daki oluşumlara denizin etkisi yoktur. Trakya'daki linyit yataklarının

bazıları denizle irtibatlı özellik gösterirler. Türkiye'de linyitler genel olarak paleozoik ve mezozoik yaşlı kayaçların oluşturduğu, temel üzerine çökelmiş 2-65 milyon yıl önce oluşan tersiyer yaşlı sedimentler içinde yer alır. Damarlar devamlı ve kalındır. Türkiye'de yaklaşık 8,4 milyar ton linyit rezervi tespit edilmiştir (Gökmen ve Ark.,1993).

Ülkemizin linyit ve alt bitümlü kömürleri birkaç istisna dışında [Bursa-Yenişehir-Yarhisar (Kretase), Artvin-Yusufeli-Kölük (Üst Kretase), Bursa-M.Kemalpaşa-Omaç ve Doğanalan köyleri dolyında (Jura), Gümüşhane- Kelkit-Alansa(Liyas)], Eosen'den Pliyosen sonuna kadar olan yaş aralığında oluşmuştur. Trakya ve Anadolu'nun bir çok yerinde çeşitli rezerv büyüklüğünde belirlenmiş olan kömürlerimiz, yatak bazında ortam koşullarının değişkenliğine bağlı olarak yanal ve düşey yönlerde farklı kimyasal ve fiziksel özellikler gösterirler (Tuncalı ve Ark., 2002).

Türkiye'de bölgeler itibariyle linyit yataklarını; Doğu Anadolu linyit yatakları (Afşin Elbistan linyit havzası-Kahramanmaraş, Bingöl-Halifan linyit yatağı, Erzurum-Balkaya ve İspir, Adıyaman-Gölbaşı, Van-Şahmanis ve Erciş), Orta Anadolu linyit yatakları (Ankara-Beypazarı linyit havzası, Sivas-Kangal linyit havzası, Konya-Beyşehir, Çankırı-Orta linyit havzası, Bolu-Mengen Gökçesu linyit havzası, Amasya Merzifon Suluova, Çorum Alpagut Dodurga, Yozgat Sorgun ve Karaman Ermenek), Ege linyit yatakları (Kütahya-Tunçbilek linyit havzası ve Seyitömer linyit havzası, Manisa-Soma linyit havzası) sıralayabiliriz (Özdoğan ve Ünver, 1998).

3.1.3.1. Garp Linyit İşletmesi (GLİ)

Türkiye'de devlet eliyle ilk üretimin yapıldığı bu işletme, Ocak 1940 tarihinde Etibank'a bağlı bir kuruluş olarak faaliyete geçmiş ve 15 Ağustos 1957 tarihinde Türkiye Kömür İşletmelerinin kurulmasıyla bu kurumun bünyesinde yer almıştır. Miosen yaşlı Tunçbilek havzasında, iki seviyede kömür damarı vardır. Alt damar bitümlü şistlerle killer arasında yer alır. Kalınlığı çok az olup, ekonomik değeri yoktur. İşletilen damarın ortalama kalınlığı 6-11 metre arasında olup,

genellikle orta sertlikte, siyah parlak renktedir. Tavan ve taban kısmındaki kömürler daha temizdir (www.gli.gov.tr)

3.1.3.2. Güney Ege Linyit İşletmesi (GELİ)

1984 yılında kurulan bu müessese kapsamında Milas-Sekköy-Eskihisar, Yatağan, Tınaz-Bağyaka, Bayır, Turgut, Hüsamlar ve Karacahisar bölgeleri bulunmaktadır. İşletme, Muğla-Aydın ve çevresindeki alanları kapsamaktadır. Tüm bölgede ortalama damar kalınlığı 7-12 m civarında ve 35-42 derece eğimli olup, mat kahverengidir. Bütün bölge kömürlerinin kendiliğinden yanma sorunu olup dış etkenlere karşı direnci çok azdır. Yabancı madde olarak pirit ve santimetre boyutunda kil mineralleri içermektedir (www.geli.gov.tr)

3.1.3.3. Ege Linyitleri İşletmesi (ELİ)

Garp linyitleri işletmesinin, Soma bölgesi çevresindeki özel işletmelerin 1978'de TKİ'ye devredilmesiyle, tüzel bir kişilik kazanmış ve Ege'nin tüm linyitleri Ege ve Güney Ege olmak üzere iki kurum halinde organize edilmiştir. Ege linyit işletme bünyesinde Soma, Eynez ve Deniş olmak üzere üç bölge bulunmaktadır. Yaklaşık 19.000 hektarlık sahada çalışan işletmenin toplam 508 milyon ton rezervi bulunmaktadır. Soma-Eynez linyiti en kolay yıkanabilen, kükürt içeriği düşük olan ve yüksek rezerve sahip bir kömürdür. Sert linyit olan Soma linyitleri Miosen yaşlı olup, siyah ve parlak görünüme sahiptirler. Soma bölgesinde 2, Eynez bölgesinde 1 adet yeraltı ocağı bulunmaktadır. Üretilen kömür Soma A ve Soma B termik santrallerinde kullanılmaktadır (www.eli.gov.tr)

3.1.3.4. Seyitömer Linyitleri İşletmesi (SLİ)

1960'da Garp Linyitleri İşletmesine bağlı olan işletme 01.07.1990'dan itibaren çalışmasına Seyitömer Linyitleri İşletmesi müessesi olarak devam etmektedir. İki kömür damarı bulunup, ortalama kalınlığı 156 m olan alt damar

bitümlü şistlerle mavi-yeşil renkli killer arasında bulunur. Üst damar ise bitümlü şistler arasında olup 6 m kalınlığındadır. 206 milyon ton rezerve sahiptir. %34 nem, %19 kül, %1 kükürt içermektedir (www.sli.gov.tr)

3.1.3.5. Marmara Linyitleri İşletmesi (MLİ)

Madenlerin Devletleştirilmesi ile ilgili 2172 sayılı yasanın yürürlüğe girmesi sonucu 01.01.1979 tarihinden itibaren faaliyete geçmek üzere "TKİ, Sınırlı Sorumlu Orhaneli Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü" kurulmuştur. Daha sonra, Müessesenin ünvanı 13.09.1979 tarihinde de "Marmara Linyitleri İşletmesi Müessese Müdürlüğü" olarak değiştirilmiştir. Önceleri Orhaneli, Keles ve Saray sahalarında faaliyet gösteren Müessesemize 01.09.1982 tarihinden itibaren Çan Linyitleri İşletmesi de bağlanmıştır. Marmara Linyitleri İşletmesi'nin miosen yaşlı, Orhaneli, Keleş (Bursa) ve oligosen yaşlı, Saray (Tekirdağ) olmak üzere üç bölgesi bulunmaktadır. Saray bölgesi Edinköy, Safalan ve Küçükkoyuncalı sektörlerinden oluşmaktadır. Bütün bölgelerinde açık işletme metodu ile üretim yapılmaktadır (www.bli.gov.tr)

3.1.3.6. Çan Linyitleri İşletmesi (ÇLİ)

1990 tarihinde Marmara Linyit İşletmelerinden ayrılarak yeni bir müessese olarak kurulmuştur. Mat siyah renkli olan kömür, sert linyit sınıfına girer. Yüksek oranda kükürt içerir. Ortalama damar kalınlığı 16 metredir. %15-25 nem, %10-25 kül ve %2-7 arasında kükürt içermektedir. Üretim açık işletme yöntemiyle yapılmaktadır (www.cli.gov.tr)

3.1.3.7. Alpagut-Dodurga Linyit İşletmesi (ADL)

İşletme Çorum ili Osmancık ilçesi sınırları içinde yer alır. Havzadaki linyit, siyah, parlak, kırılgan ve homojendir. Ortalama damar kalınlığı 10 metre olup, damar

sayısı 3 adettir. İşletmede üretim açık ve yeraltı ocaklarından yapılmaktadır. Yeraltı işletmesi Alpagut deresi üzerindedir (www.tki.gov.tr)

3.1.3.8. Doğu Linyitleri İşletmesi (DLİ)

1977 yılında tüzel bir kişilik kazanarak çalışmalarına başlayan işletmenin merkezi Erzurum'da olup, Aşkale, Oltu, Erciş ve Karlıova'da dört bölge müdürlüğü bulunmaktadır. Erzurum Aşkale linyitleri parlak ve uzun alevle yanar. Karlıova linyitleri yumuşak, killi ve kahverengi-siyah görünümündedir. Suyunu kaybedince siyahlaşır ve toz haline gelir. Erzurum bölgesindeki yeraltı; Erciş'te açık ve yeraltı; Karlıova'da açık işletme yöntemi uygulanmaktadır (www.maden.org.tr)

3.1.3.9. Afşin-Elbistan Linyitleri İşletmesi (AEL)

Afşin ve Elbistan ilçeleri sınırları içinde yer alan pliosen yaşlı linyit havzasında toplam 3,4 milyar ton linyit rezervi tespit edilmiştir. Yaklaşık 539 milyon ton rezervi vardır. Kömür yumuşak sınıfa girer. Isıl değeri ortalama 1.170 Kcal/kg, %17 kül, %55 nem, %1,46 kükürt içeriğine sahiptir. Linyit tabakasının kalınlığı 40 m civarında olup 80 metreye kadar ulaşan yerler de vardır. Bu saha, 4x340 MW gücünde (Keban eşdeğeri) bir termik santrali beslemektedir. Kömürün üzerindeki asitçe zengin kısım gübre olarak kullanılabilmektedir (www.euas.gov.tr)

3.1.3.10. Güneydoğu Anadolu Asfaltit ve Linyit İşletmesi (GAL)

Merkezi Mardin-Cizre olan işletmenin toplam 85 milyon ton rezervli, Şırnak ve Silopi olmak üzere iki üretim bölgesi bulunmaktadır (www.tki.gov.tr)

3.1.3.11. Orta Anadolu Linyitleri İşletmesi (OAL)

Ankara'nın kuzeybatısında Ankara-Beypazarı-Nallıhan karayolu üzerinde kurulu olan oligosen ve pliosen yaşlı bu işletme Bolu-Göynük kömür sahalarını da

içine almaktadır. 1936 yılından beri varlığı bilinmekte olan kömür oluşumları üzerinde MTA aynı yıllarda çalışmalara başlamıştır. Sondajlı aramalar 1974 yılında başlamış olup günümüze kadar 40.000 m'nin üzerinde sondaj yapılmıştır. Göynük bölgesinde açık işletme, Çayırhan bölgesinde yeraltı işletmesi olarak çalışılmaktadır. Üretilen kömür; sert, parlak ve homojen yapıdadır (www.maden.org.tr).

3.1.3.12. Ilgın Linyitleri İşletmesi (ILİ)

Konya Linyitleri İşletmesi (KLİ) müessesine bağlı bir üretim bölgesi iken, KLİ'ye bağlı Ermenek bölgesinin 01.01.1990 tarihinden itibaren rödövans yoluyla işletmeye verilmesi, işletme faaliyetlerinin sadece Ilgın'da devam etmesi sebebiyle TKİ Genel Müdürlüğü'ne bağlı Ilgın Linyit İşletmesi adıyla faaliyetlerine devam etmektedir. Ilgın kömürünün rutubet miktarı yüksek, kükürt içeriği ise düşük olup, kömürün ısıl değeri havada kuruduğu zaman yükselmektedir. Kömür damarının kalınlığı ortalama 7,2 metredir. (www.ili.gov.tr)

3.1.3.13. Özel Sektör Tarafından İşletilen Linyit Yatakları

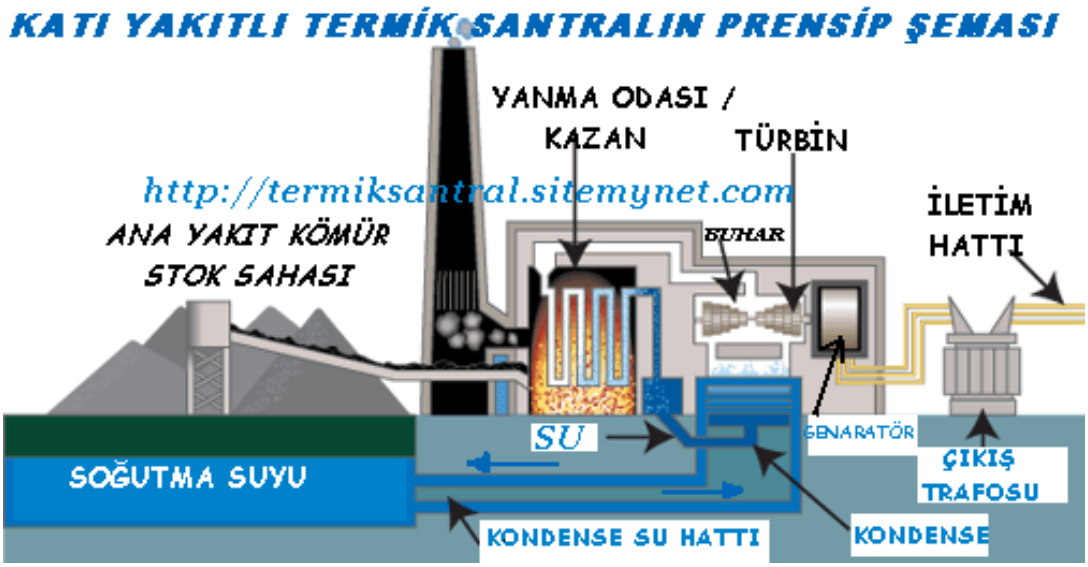
Ülkemizin her yanına dağılmış olan linyit yataklarımızın sadece ufak bir bölümü özel sektör tarafından işletilmektedir. Bunlar;

1- Gediz Sahaları
2- Ağaçlı-İstanbul Bölgesi
3- Malkara-Keşan-Uzunköprü (Trakya) Bölgesi
4- Mihalıççık (Eskişehir) Bölgesi'dir (www.euas.gov.tr)

3.2. Termik Santraller

Elektrik, insanların günlük yaşantılarında vazgeçilmeyen bir enerji olmuştur. Doğadaki başka bir maddeden elektrik enerjisi üreten kuruluşlara santral denir. 3 tür santral vardır. Bunlar; hidroelektrik, termik ve nükleer santrallerdir. Elektrik santralleri, başka enerji biçimlerini (termik, nükleer, hidrolik, jeotermal, güneş,

rüzgâr, gelgit v.b) elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla bir araya getirilmiş donanımlardan oluşan işletmelerdir. Yanmayla ortaya çıkan ısı enerjisinden elektrik enerjisi üreten merkeze termik santral denir. Yanma, bir kazan yada buhar üretecinde gerçekleştirilir ve suyun buhara dönüştürülmesini, daha sonra da bunun yüksek basınç altında (160 bar), yüksek sıcaklıkta (550°C) çok ısıtılmasını sağlar. Buhar önce türbinin yüksek basınçlı bölümünde ve daha sonra yeniden çok ısıtıldıktan sonra orta ve alçak basınçlı bölümlerinde genişler. Birbirini izleyen bu genişlemeler sırasında ısı enerjisi mekanik enerjiye dönüşür. Buhar ve su bir kapalı devre halinde dolaştıkları için, bu çevrim sonsuza kadar yenilenir. Katı yakıtla çalışan bir termik santralin çalışma prensibi Şekil 3.2'de şematik olarak verilmiştir (www.termiksantral.sitemynet.com).



Şekil 3.2. Katı yakıtla çalışan bir termik santralin prensip şeması (www.termiksantral.sitemynet.com)

3.2.1. Linyitle Çalışan Termik Santraller

Türkiye'de bulunan termik santrallerin (50 MW ve üstü kurulu gücü olan) yaklaşık olarak 23,000 MW'lık bir kurulu gücü bulunmaktadır. Linyit kullanan termik santrallerin kurulu gücü ise toplam kurulu gücün %35.2'sine denk gelmektedir.

Türkiye'de linyit termik santrallerinin (50 MW ve üstü kurulu gücü olan) dökümü Çizelge 3.2'de verilmiştir (www.euas.gov.tr).

Çizelge 3.2. Türkiye'de kurulu gücü 50 MW'den fazla olan ve linyitle çalışan termik santraller (www.euas.gov.tr)

Termik Santraller	Yakıt Tipi	Kurulduğu Yer	Ünitelerin Kapasiteleri	Toplam Kapasite	Teknoloji
AFŞİN-ELBİSTAN A, 1-4	Linyit	K.MARAŞ	3x340+1x335	1355 MWe	PKY
AFŞİN-ELBİSTAN B, 1-4	Linyit	K.MARAŞ	4x360	1440 MWe	PKY+BGD
ORHANELİ	Linyit	BURSA	1x210	210 MWe	PKY+BGD
SEYİTÖMER, Ünite 1-4	Linyit	KÜTAHYA	4 x 150	600 MWe	PKY
TUNÇBİLEK A	Linyit	KÜTAHYA	1x65	65 MWe	PKY
TUNÇBİLEK B, Ün. 4-5	Linyit	KÜTAHYA	2 x 150	300 MWe	PKY
KANGAL, Ünite 1-2	Linyit	SİVAS	2 x 150	300 MWe	PKY
KANGAL, Ünite 3	Linyit	SİVAS	1 x 157	157 MWe	PKY+BGD
ÇAN, Ünite 1-2	Linyit	ÇANAKKALE	2 x 160	320 MWe	DAY
SOMA A. Ünite 7-8	Linyit	MANİSA	2 x 22	44 MWe	PKY
SOMA B. Ünite 1-6	Linyit	MANİSA	6 x 165	990 MWe	PKY
YATAĞAN	Linyit	MUĞLA	3 x 210	630 MWe	PKY+BGD
KEMERKÖY	Linyit	MUĞLA	3 x 210	630 MWe	PKY+BGD
YENİKÖY	Linyit	MUĞLA	2 x 210	420 MWe	PKY+BGD
PARKTERMİK Ün. 1-2	Linyit	ANKARA	2 x 150	300 MWe	PKY+BGD
PARKTERMİK Ün. 3-4	Linyit	ANKARA	2 x 160	320 MWe	PKY+BGD

3.2.2. Diğer Yakıtlarla Çalışan Termik Santraller

Ülkemizde kurulu termik santrallerden (50 MW ve üstü kurulu gücü olan) linyit dışında yakıt kullanan Termik santrallere ait bilgiler Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Türkiye'de kurulu gücü 50 MW'den fazla olan ve linyit dışında yakıt kullanan termik santraller (www.euas.gov.tr)

Termik Santraller	Yakıt Tipi	Kurulduğu Yer	Ünitelerin Kapasiteleri	Toplam Kapasite	Teknoloji
ÇATALAĞZI, Ünite 1-4	Taşkömürü	ZONGULDAK	2 x 150	300 MWe	PKY
HOPA, Ünite 1-2	Fuel Oil	ARTVİN	2 x 25	50 MWe	
AMBARLI, Ünite 1-5	Fuel Oil	İSTANBUL	3x110+2x150	630 MWe	
ALİAĞA, GT+KÇ	Dizel	İZMİR	4x30+2x30	180 MWe	
AMBARLI KÇ	Doğalgaz	İSTANBUL	6x138,8+3x172,7	1350,9 MWe	
BURSA KÇ	Doğalgaz	BURSA	2x238+4x239	1432 MWe	
HAMİTABAT KÇ	Doğalgaz	KIRKLARELİ	12 x 93,3	1120 MWe	
İSKEN	İthal Kömür	ADANA	2 x 605	1210 MWe	PKY+BGD
ENKAPOWER	Doğalgaz	İZMİR	4x252+2x279	1566 MWe	
ENKAPOWER	Doğalgaz	ADAPAZARI	2x256+279	791 MWe	
ENKAPOWER	Doğalgaz	GEBZE	4x256+2x279	1582 MWe	
BAYMİNA ENERJİ	Doğalgaz	ANKARA	2x225+1x320	770 MWe	
TRAKYA ELEKT.	Doğalgaz	TEKİRDEĞ	2 x 154	308 MWe	
DOĞA-ESENYURT	Doğalgaz	İSTANBUL	120	120 MWe	
OVA	Doğalgaz	GEBZE	135+123,4	258,4 MWe	
UNİ-MAR	Doğalgaz	TEKİRDAĞ	2 x 160	320 MWe	
PETKİM(ALİAĞA)	Fuel Oil	İZMİR	170	170 MWe	
ÇOLAKOĞLU M.	İthal Kömür	KOCAELİ	190	190 MWe	DAY
İÇDAŞ BİGA ENJ.	İthal Kömür	ÇANAKKALE	135	135 MWe	DAY
BOSEN	Doğalgaz	BURSA	135	135 MWe	
ÇOLAKOĞLU DGKÇ	Doğalgaz	KOCAELİ	123,4	123,4 MWe	
MOSB ENERJİ	Doğalgaz	MANİSA	84,83	85 MWe	
MODERN ENJ.	Doğalgaz	TEKİRDAĞ	83,4+60	143,4 MWe	
İSKENDERUN DÇ	F oil+Taş k	HATAY	220	220 MWe	
BİLENERJİ	D gaz+dizel	ANKARA	60	60 MWe	
ATAER (EBSO)	Nafta+D gaz	İZMİR	70,2	70,2 MWe	
ZORLU BURSA OSB	Doğalgaz	BURSA	26,5+42,5	69 MWe	
ZORLU KAYSERİ OSB	Doğalgaz	KAYSERİ	3 x 50,8	152,4 MWe	
ZORLU LÜLEBURGAZ	Doğalgaz	KIRKLARELİ	2x7,1+42,5	56,6 MWe	
AK ENEJİ Ç. KÖY	Doğalgaz	TEKİRDAĞ	96	96 MWe	
AK ENEJİ BOZÜYÜK	Doğalgaz	BİLECİK	132	132 MWe	
AK ENERJİ YALOVA	F oil+ Gaz	YALOVA	59,5	59,5 MWe	
AK ENERJİ K.PAŞA	F oil+ Gaz	İZMİR	127,2	127,2 MWe	
ENTEK	F oil+ Gaz	BURSA	135,1	135,1 MWe	
CAM İŞ ELEKTRİK	Doğalgaz	MERSİN	126,1	126,1 MWe	

3.2.3. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri

Türkiye'deki termik santrallerde elektrik üretimi için; maden kömürü, linyit, fuel oil, motorin, doğal gaz, sıvılaştırılmış gaz (LPG), nafta gibi fosil yakıtlar ve türevleri ile jeotermal kaynaklar ve atıklar kullanılmaktadır (Avcı, 2005). Katı yakıt yakan termik santrallerin çevresel etkileri aşağıda listelenmiştir.

3.2.3.1. Hava Kirliliği

Kömürün, enerji üretimi amacıyla çeşitli yakma sistemlerinde yakılması, önemli ölçüde çevre kirliliği yaratmaktadır. Kömürün yakılması sonucu oluşan; karbondioksit, kükürt oksitler, azot oksitler gibi çeşitli gazlar, kurum ve kül gibi katı tanecikler ve çeşitli hidrokarbon bileşikleri başlıca hava kirliliği kaynaklarıdır. Yanma gazları ile atmosfere atılan bu kirleticiler, güneş ışığının etkisi ile veya atmosferde bulunan diğer bileşiklerle tepkimeye girerek; ozon, aerosol, nitrat, nitrit ve çeşitli asitler gibi ikincil kirleticileri de oluşturmaktadırlar (Barbir ve Veziroğlu, 1992; Haba, 1981)

Hava Kirliliğine Neden Olan Kirleticiler;

a. Kükürt Oksitler; Özel tedbirler alınmadığı takdirde, kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt oksitlerin miktarı, kömürün yanar kükürt içeriği ile doğru orantılıdır. Kömürün içerdiği kükürt türleri; organik ve inorganik olmak üzere iki çeşittir. Kömürde hidrokarbon yapıya bağlı olarak bulunan tüm kükürde organik kükürt denir. Kalsiyum, demir, bakır ve magnezyum tuzları halinde bulunabilen sülfat kükürdü gevşek kristaller halindedir. Kömürün içerdiği sülfat kükürdünün miktarı oldukça azdır, fakat hava ile temas ettikçe artar. Disülfür kükürdünü, büyük ölçüde demir sülfürün iki kristal şekli olan pirit ve markazit oluşturur (Meriçboyu ve Ark., 1998).

Kömür yanarken, içerdiği kükürtlü bileşikler de yanar. Kükürdün yüksek sıcaklıklarda kararlı olan bileşiği kükürt dioksittir. Ancak nispeten az miktarda kükürt oksit de oluşmaktadır. Genellikle kömürün içerdiği kükürdün %92-98 kadarı kükürt dioksite, ortalama %5 kadarı da kükürt okside dönüşmektedir. Yanma

sırasında oluşan kükürt oksidin miktarı, yakma ünitesindeki sıcaklık profiline ve hava fazına bağlıdır. Kükürt oksidin, suyla hızla tepkimeye girerek sülfürik asidi oluşturduğu bilinmektedir. Kömürün yanması sonucu oluşan kükürt oksitlerin bir kısmı yakma sistemindeki kül tarafından kimyasal olarak tutularak sülfatları oluşturmaktadır. Tutulan kükürt oksitlerin miktarı oluşan külün bileşimine bağlı olarak değişmektedir (Shen, 1980).

b. Nitrojen Oksitler; Nitrojen oksit emisyonları, tek başlarına ya da diğer kirleticilerle birlikte yerel ve bölgesel etkileri arttırıcı özelliktedirler. Yakma tesisi olan tüm endüstrilerde, hava içerisinde yüksek miktarda bulunan azot, yüksek sıcaklıklarda oksijenle birleşerek;

$N_2(g) + O_2(g) \rightarrow NO(g)$ bileşiğini oluşturur.

Azot oksitleri de kükürt oksitleri gibi asit yağmurlarına neden olur. Bu gazların havada bulunması hava kirliliğine, su ile birleşerek asit oluşturduklarında ise toprak ve su kirliliğine neden olur (Baykan, 2004).

c. Hidrokarbonlar; Kömürün yakılması sonucu oluşan baca gazları, eser miktarda oluşmuş çeşitli polisiklik aromatik bileşikleri içeren kompleks organik gazları da içermektedir. Fosil yakıtlar maksimum verimle yakılmaz ise, karbon monoksitin yanı sıra hidrokarbonlar ve diğer organik maddeler de yayılır. Yakma verimi yakıtın türü ve yakma sisteminin tasarımı hidrokarbon yayınımını etkiler. Her fosil yakıtın yanması sonucu, iki veya daha fazla aromatik halka içeren, çok sayıda bileşik oluşur. Polisiklik organik madde yayınımı ile diğer yayınımlar kıyaslandığında, baca gazındaki karbon monoksit ve toplam hidrokarbon miktarı fazla olunca bu yayınım oranının da yüksek olduğu saptanmıştır (Sawyer 1971; Shen 1980)

d. Karbon monoksit; renksiz, kokusuz, tatsız, yanıcı ve zehirleyici bir gazdır (Calvert ve Englund, 1984). Karbon içeren yakıtların ideal olmayan koşullarda tam olarak yakılamaması karbon dioksit gazı yerine karbon monoksit gazının oluşumuna neden olur. Yakıtların kısmi yanması; oksijen miktarı, alev sıcaklığı, yanma gazlarının yüksek sıcaklıkta kalma süresi ve yakma odası türbülansı gibi faktörlerinin yeterince yüksek olmaması sonucu meydana gelmektedir (Masters, 1991).

e. Karbondioksit; Karbonlu yakıtların tam yanma ürünü olan karbondioksit (CO_2), zehirli olmayan, renksiz, kokusuz ve suda çözünebilen bir gazdır (Calvert ve Englund, 1984). Atmosferin doğal olarak oluşan bir bileşeni olan karbondioksitin canlılar ve diğer malzemeler üzerinde belirgin bir olumsuz etkisi yoktur. Ancak fosil yakıtların yakılması sonucu oluşan karbondioksitin atmosferdeki derişiminin artması yarattığı sera etkisi nedeniyle istenmemektedir (Abrahamson, 1989; Allen, 1989).

f. Ozon; Atmosferdeki ozonun yaklaşık %10'u atmosferin alt katlarında troposferde bulunur. 1 m^3 havada 8 mm^3 kadar ozon bulunur. Yeryüzüne yakın atmosfer tabakalarındaki ozonun başlıca kaynağı, azot oksitlerin ultraviyole ışınları ile fiziko sismik reaksiyona girmesidir. Fotokimyasal pusun (smog) en önemli bileşeni olduğu için, bu seviyede başlıca hava kirleticilerinden biridir. Buna karşılık yaklaşık %90'nın bulunduğu stratosferdeki ozon, troposferdekinin aksine canlı yaşamında önemli rol oynar. Atmosferin üst katlarında ultraviyole ışınlarını emerek yeryüzündeki yaşam üzerinde olumlu bir etki yapar. Diğer yandan ozon bu ışınların emilmesi nedeniyle, iklim değişikliğinde rol oynayan sera gazları arasında dördüncü sırada gelir (Baykan, 2004).

g. Partikül maddeler; Kömürün yakılmasından kaynaklanan taneciklerin boyut dağılımı ve miktarı, kömürün özelliklerine ve yakıcı tipine bağlı olarak değişmektedir. Tanecikler, geniş bir aralıkta değişen tane boyutuna ve bileşimine sahip olabilmekte ve uçucu gazlar tarafından yakma odasının dışına taşınmaktadır. Uçucu gazla taşınan tanecikler toz veya grit şeklinde olabilmektedir. Kömürün yakılmasından kaynaklanan tanecikler kimyasal olarak; karbon, silis, alümina, demir oksit, kükürt ve organik bileşiklerden oluşmaktadır. Ayrıca, eser miktarlarda diğer elementler de bulunabilmektedir. Yanma ürünleri olarak oluşan fume, duman ve fotokimyasal aerosoller 0,1-1 mikrometre çapındaki taneciklerin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bunlar, boyutları küçük olduğu için uzun süre atmosferde serbestçe yüzen bir konumda askıda kalma eğilimine sahiptir ve genel olarak askıda kalan tanecikler olarak adlandırılmaktadır (Painter, 1974).

h. Termal (Isıl) Kirlenme; Termik santrallerde üretilen enerjinin sadece %30-40 oranındaki bir bölümü elektrik enerjisine dönüştürülebilmekte, kalan kısmı ise "kaçak enerji" olarak adlandırılmakta ve ısı kazanından radyasyon ile çıkmakta

ya da baca gazıyla birlikte bacadan atılmaktadır. Bacadan kaçan malzemeyi korumak için kazan çıkışında gaz ve buhar sürekli soğutulmakta ve bu nedenle santralin büyük miktarlarda soğutma suyu kullanması gerekmektedir (Baykan, 2004). Kömürün yakılması sonucu çevre kirliliği yaratan temel kirleticilere ilave olarak çevreye yayılan diğer kirleticiler; asit sisi, eser elementler, radyoaktif atomlar ve atık ısıdır (Karatepe ve Ark., 1998b).

ı. Ağır metaller; Fosil yakıtların ağır metal içerikleri de, diğer kirleticilerde olduğu gibi yakıtın cinsine ve kaynağına göre değişmektedir. Yakıttaki elementin konsantrasyonu, kazan tipi baca gazı emisyonu kontrol aygıtının yapısı, termik santralden atmosfere verilen ağır metal emisyon miktarlarını belirler (Baykan, 2004).

Termik santraller nedeniyle toprak ve sulara bulaşan ağır metallerin bazıları ve bu metallerin etkileri aşağıda listelenmiştir;

Kadmiyum: Uzun süreli kadmiyuma maruz kalma böbrek fonksiyonlarını bozmaktadır. 1940 yıllarda kadmiyumla kirlenme sonucu itaiitai hastalığı tanımlanmıştır. Kömür ve petrolün yanması havadaki ve sudaki kadmiyumun çoğundan sorumludur. Kadmiyuma uzun süre maruz kalmak Amfizem hastalığına yol açar (http://www.ssto.org.tr).

Arsenik: Doğada çok yaygın bulunur Bazı yer altı sularında orantısız yüksek konsantrasyonlarda bulunur. Su için önemli bir tehlikedir. Arseniğe sürekli maruz kalınması özellikle primer olarak avuç içi ve ayak tabanlarında deri lezyonlarına yol açar. Kronik olarak maruz kalanlarda 5 ile 25 yıl sonra deri kanseri meydana gelir İçme suyundan sürekli etkileşim; aşırı terleme, solukta sarımsak kokusuna, kas ağrılarına ve bitkinliğe, deri renk değişikliklerine, el ve ayaklarda uyuşmaya, çeşitli damar hastalıklarına ve ayaklarda kangrene yol açar (http://www.ssto.org.tr).

Kurşun: Termik santrallerde kömürün yanması sonucu oluşan kurşun özellikle çocuklarda önemli bir zehirlenme nedenidir. Sanayi devriminden önce vucut kurşun yükü yaklaşık 2 mg iken, endüstrileşmiş toplumlarda 200 mg'dır. Kurşun; beyni, sinir sistemini, alyuvarları ve böbrekleri etkiler, bilinç kaybı ve komaya yol açar. Termik santrallerden kaynaklanan küllerin ve cürufların yüzeyinde tutunurlar. Kurşun zehirlenmesi özellikle santral sinir sistemi için önemlidir ve huzursuzluk,

koordinasyonsuzluk, hafıza kayıpları, uyku bozuklukları, keyifsizlik, baş ağrısı, uyuşukluk, baş dönmesi gibi ekiler yapar (http://www.ssto.org.tr).

Civa : Cıva en çok sanayii işlemleri, atık boşaltımı ve kömür yakılması ile havaya karışmaktadır. Atmosferde dolaştıktan sonra özellikle okyanuslarda ve suyollarında yerleşmektedir. Buralarda bulunan bakteriler cıvayı emip metil cıva adlı çok zehirli organik bileşiklere dönüştürmektedir. Dünya genelinde hükümetler, aşırı cıvaya maruz kalmamak için bazı balık türlerinin tüketiminin azaltılması konusunda halklarını uyarmaktadır. İnsan sağlığı çok küçük miktarda cıva ile birlikte tehlikeye girmektedir. Cıva klasik bir küresel kirleticidir. Bir kaynaktan salındığında, dünyaya hemen yayılabilir ve asıl kaynağının çok uzağına ulaşıp besin kaynaklarına girebilir (http://www.ssto.org.tr).

3.2.3.2. Su Kirliliği

Termik santrallerde buhar üretme, soğutma ve temizleme işlemleri için önemli miktarlarda su kullanılmaktadır. Kullanılmış sular tekrar alındıkları kaynağa verilirken kirliliğin artmasına neden olmaktadır. Bunlardan başka baca gazları ile birlikte ortama verilen uçucu küllerden yağmur suları ile taşınan bileşenler yüzey ve yeraltı sularında çeşitli kirliliklere sebep olmaktadır.

Yeraltı ve Yüzey Suyu Kirliliği

Atık depolama tesisinden asidik su akıntısı, kükürtlü demirlerin (pirit ve markazit) oksitlenip daha sonra suda çözünmesiyle oluşur. Eğer tedbir alınmazsa ortaya çıkan asidik eriyik ya akar gider, ya da önce dolgunun içine doğru çekilir ve daha sonra dolgudan dışarı sızarak yer üstü ve yeraltı sularını kirletir. Tüm başarılı kirlilik kontrolü programlarında olduğu gibi, kirliliğin kaynağında durdurulup en az seviyeye indirgenmesi en iyi kontrol yöntemidir. Asidik akıntı durumunda, en iyi kontrol yöntemi, dolguda hava şartlarının etkisine maruz kalacak yüzey miktarını azaltmaktır. Dolgu yapısı geliştikçe açığa çıkan şev yüzeyleri, mümkün olduğu kadar çabuk bir şekilde toprak tabakasıyla örtülüp bitkilendirilmelidir (Sevim ve Ark., 1998).

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre yeraltı sularının kalite sınıfları aşağıda verilmiştir.

Sınıf YAS I: Yüksek Kaliteli Yeraltı Suları

Sınıf Yas I sular, içme suyunda ve gıda sanayinde kullanılabilen yeraltı sularıdır. Bu sınıfa giren yeraltı suları diğer her türlü kullanma amacına uygundur.

Sınıf YAS II: Orta Kaliteli Yeraltı Suları

Sınıf Yas II sular, bir arıtma işleminden sonra içme suyu olarak kullanılabilecek sulardır. Bu sular tarımsal su ve hayvan sulama suyu veya sanayide soğutma suyu olarak herhangi bir arıtma işlemine gerek duyulmadan kullanılabilir.

Sınıf YAS III: Düşük Kaliteli Yeraltı Suları

Sınıf Yas III sular, yukarıda verilen kalite parametrelerinden daha kötü özellik taşıyan sulardır. Bu suların kullanım yeri, ekonomik, teknolojik ve sağlık açısından sağlanabilecek arıtma derecesiyle belirlenir.

3.2.3.3. Toprak Kirliliği

Yerküre ekosisteminin bir parçası olan ve ana kaya ile arazi yüzeyi arasındaki kısımda yer alan toprak, en önemli doğal üretim kaynaklarımızdan biridir. Doğal kaynakların korunması konusunda toprakların ekolojik ve insan faaliyetlerine bağlı önemli özellikleri vardır. Öncelikle toprak, doğal bir kaynaktır ve canlılar için besin kaynağı ortamıdır, transformatördür. Toprak, insan ve tüm canlı yaşamını destekleyen en önemli sistemdir. Yeryüzünde tarımsal üretimin kapasitesini belirler. Toprak bir çok formda ve çeşitli derecelerde kirlilik yaratan maddeler için en büyük filtredir. Toprak, CO_2, metan ve N_2O içeren biyokimyasal dönüşümde en önemli kaynaktır. Bu nedenle artan nüfusun tüm ihtiyaçlarının karşılanması, toprak ve su gibi doğal kaynakların bilinçli ve ekonomik biçimde kullanılması, değerlendirilmesi ve geliştirilmesi ile mümkün olabilecektir. Türkiye'deki linyitlerde önemli miktarda radyoaktif madde ile zehir etkisi yaratan elementler bulunmaktadır. Bu linyitlerin yakılması ile radyoaktif maddeler ve diğer ağır metaller partikül madde halinde baca gazıyla birlikte atmosfere yayılırlar. Ayrıca, bacalara kurulan filtre sistemlerinde tutulan uçucu küller ile yakma kazanı dibinde oluşan taban külleri büyük yığınlar

halinde atık depolama alanlarında biriktirilmektedir ya da toprakla karıştırılarak gömülmektedir. Bütün bu etkiler, santral çevresindeki topraklarda verim kaybına, tarımsal ürünlerin zarar görmesine ve bitki örtüsünün olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır (Baykan, 2004).

Uçucu küllerin bünyesinde; Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Zn, vb. elementler bulunmakta ve her biri canlılar üzerinde çeşitli toksik etkiler oluşturmaktadır. Yine kömürün yakılması ile ortaya çıkan radon, uranyum, toryum gibi radyoaktif elementler insan sağlığını olumsuz etkilemektedir.

Termik santrallerin çevresindeki topraklar aşağıdaki şekillerde kirlenmektedir;

a. Baca gazındaki kükürt dioksitin asit yağmuru şeklinde toprağa geçmesi ve toprağın kimyasal yapısının zamanla değişmesi,

b. Baca küllerinin kül yağmuru olarak toprağa yağması ve toprağın fiziksel ve kimyasal yapısının zamanla değişmesi,

c. Radyoaktif maddeler içeren kömür kullanan termik santrallerde, baca külleri ile radyoaktif maddelerin toprağa karışması,

d. Termik santrallerin kirlettiği akarsuların tarım topraklarının sulanmasında kullanılması ile bu kirliliğin topraklara geçmesi ve tarım topraklarını kirletmesi,

e. Termik santrallerin oluşturduğu asit yağmurlarının ormanları kurutması ve bu alanlardaki topraklarda erozyonunun hızlanması (Baykan, 2004).

3.2.4. Kömür Yakma Sistemleri

Kömür yakma sistemleri, kömürün tane büyüklüğüne ve yanma sırasında yakıta bağlı olarak; yüzeyde yakma, akışkanlaştırılmış ortamda yakma ve hacimde yakma üzere üç gruba ayrılabilir (Ledinegg, 1966).

Yakma sistemleri; Izgaralı Yakma Sistemleri (Sabit ızgaralı yakma sistemleri, sonsuz zincirli döner ızgaralı yakma sistemleri, yatak gevşetme etkili eğik ızgaralı yakma sistemleri), Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri ve Toz Kömür Yakma Sistemleri olarak sıralanabilir (Durmaz, 1998).

3.2.5. Termik Santrallerden Kaynaklanan Kirleticilerin Arıtımı

3.2.5.1. Hava Kirleticilerinin Arıtımı

Yakma sistemlerinin oluşturduğu hava kirliliği; yakılan yakıtın miktarına, yakıt ile yakma sisteminin özelliklerine ve yanma koşullarına bağlı olarak değişmektedir. Kömürün yakılması sonucu oluşan kükürt dioksit atmosferdeki en önemli kirleticilerden biridir. Bu kirleticinin canlı ve cansız varlıklar üzerinde birçok olumsuz etkisi söz konusudur. Baca gazlarından kükürt oksitlerini gidermeye yönelik 200'ün üzerinde proses mevcuttur. Bu proseslerin bir kısmı, ekonomik ve teknik zorluklar nedeniyle uygulanamamış, bir kısmı endüstriyel ölçekte uygulanmakta, bir kısmı ise henüz uygulamaya geçmemiş olup araştırma ve geliştirme safhasındadır. Baca gazındaki kükürt dioksiti uzaklaştırmak amacıyla uygulanmakta olan prosesler genel olarak ıslak ve kuru olmak üzer iki gruba ayrılmaktadır. Islak proseslerde; baca gazı, sorbent içeren sulu çözeltiler ile temas ettirilerek kimyasal absorbsiyon yoluyla kükürt dioksit giderimi sağlanmakta ve temizlenmiş baca gazı su buharı ile doymuş olarak sistemden çıkmaktadır. Kuru proseslerde ise kükürt dioksit giderilmesi gaz katı sorbent teması ile sağlanmaktadır (Karatepe ve Ark., 1998a).

SO_2 Arıtma Yöntemleri

a. Elektron-Beam Baca Gazı Arıtma Yöntemi: Baca gazına az miktarda amonyak eklenmesi, Elektron- Beam ile baca gazının irradyasyonu, SOx ve NOx'in toz haline getirilmesi, elektrostatik çöktürücü ile tozun alınması, temiz gazın bacadan atılması şeklindedir. Çok yeni bir yöntem olup, atık gazdaki SO_2 ve NOx'in birlikte arıtılması ve bunun sonucunda gübre olarak kullanılabilen katı halde amonyum sülfat ve amonyum nitrat elde edilmesi özelliklerine sahiptir. Elektron-Beam baca gazı arıtım işlerinin evreleri şöyle sıralanmaktadır;

- En uygun desülfürizasyon ve denitrifikasyon için baca gazı sıcaklığı 70ºC ile 90ºC arasında olmalıdır. Filtreden geçirilen baca gazının sıcaklığı bir püskürtmeli soğutucu aracılığı ile 70ºC düşürülür.
- Reaktör girişinde baca gazına, stokiyometrik miktarda NH_3 katılır.

- Reaktörde baca gazı, hızlandırılmış elektronlarla irradyasyon işlemlerinden geçirilir. İrradyasyon sonucunda oluşan serbest radikallerin SOx ve NOx oksitlenmesi ile H_2SO_4 ve NH_3 asitleri oluşur. Bu asitlerin amonyak ile reaksiyona girmesi sonucunda amonyum sülfat ve amonyum nitrat-sülfat kristalleri elde edilir.
- Elektron-Beam işleminin yatırım ve işletme maliyeti düşüktür (Baykan, 2004).

b. Yaş SO_2 Arıtma Yöntemleri

- Yenilenemeyen Arıtıcı Akışkanlı Yaş SO_2 Arıtma Yöntemleri

Yaş SO_2 arıtma yöntemlerinde baca gazı SO_2 absorblayıcı çözelti ile yıkandığından baca gazı sıcaklığı 50ºC kadar düşmektedir. Yaş SO_2 arıtma sistemleri genelde 150-50ºC gaz sıcaklığında çalıştırıldığından, baca çekimini sağlamak için baca giriş öncesi baca gazlarının yeniden ısıtılması gerekmektedir.

Kireç Taşı Yöntemi: Sorbent olarak kireçtaşının kullanıldığı proseslerde, kükürt dioksitin su tarafından absorpsiyonu sonucunda, HSO_3^-,SO_3^{-2} ve SO_4^{-2} iyonları, bu iyonların kireçtaşı ile tepkimesi sonucunda kalsiyum sülfit ve kalsiyum sülfat meydana gelmektedir. Bu prosesin verimli olabilmesi için çözeltinin pH değeri 4-7 aralığında olmalıdır. Bu aralığın altında çözeltinin kükürt dioksit tutma veriminin düştüğü, üzerinde ise SO_3^{-2} oluşumunun arttığı saptanmıştır (Saleem, 1972) Proseste oluşan çamur şeklindeki ürünün atılması, çevre sorunları yarattığı için, absorbsiyon kulesine veya absorbsiyon kulesi çıkışında bulunan tanktaki çözelti içine hava enjekte edilerek kalsiyum sülfitin jipse (alçı taşı) dönüşmesi sağlanmaktadır. Jips hafif inşaat malzemesi yapımında ve dolgu malzemesi olarak değerlendirilmektedir (Müezzinoğlu, 1987; Midkiff, 1979).

Dengelenmiş Kireç Taşı Yöntemi: Bu yöntemde de kireç taşı temel arıtma maddesi olarak kullanılmaktadır. Reaksiyon kinetiğinin iyileştirilmesi, yani SO_2'nin baca gazında arıtıcı akışkanı aktarımının hızlandırılması amacıyla organik asit, çoğunlukla formik asit ilave edilmelidir. Böylelikle arıtıcı akışkan belli bir pH değeri bölgesinde dengelenmeye çalışılmaktadır (Baykan, 2004).

Birleşik Fe-EDTA (Etilendiamin Tetraasetik Asit) Yöntemi: Bu yöntemi Saarberg-Hoelter-Lugi grubu tarafından geliştirmiş olup, kireçle yıkama yöntemine dayanmaktadır. Bu yöntemde SO_2 ve NOx'ler birlikte arıtılmakta, yan ürün olarak kullanılabilir kalitede alçı taşı oluşmaktadır. Arıtkan akışkana demir bazlı EDTA-

Chelate'leri yerleştirmek suretiyle kirli gazdaki SOx ve NOx'lerin etken ve verimli bir biçimde arıtılması amaçlanmaktadır. Bu yöntemde NO sülfit iyonları yardımıyla elementer azota dönüştürülmekte ve sülfatlar oluşturulmaktadır (Baykan, 2004).

Birleşik Amonyak Yöntemi (Walther Yöntemi): Yenilenemeyen arıtıcı akışkanın diğer SO_2 yaş yıkama yöntemi amonyak çözeltisinin arıtıcı akışkan olarak kullanıldığı yöntemdir. Bu yöntemde SO_2 ile birlikte NOx arıtılmaktadır. Baca gazındaki SO_2 arıtıcı akışkan olarak verilen amonyak ile amonyum tuzlarına dönüştürülmekte, yan ürün olarak "amonyaklı gübre" üretilmektedir. Bu işlemin başlıca avantajı yan ürün olarak tarımsal üretim için gerekli gübre üretilmesi, atık yok etme sorununun bulunmamasıdır. Dezavantajı ise yatırım maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır (Schmitt, 1990).

- Yenilenebilen Arıtma Akışkanlı Yaş SO_2 Arıtma Yöntemleri

Yenilenebilen arıtma akışkanlığı yaş yıkama yöntemlerinde, arıtıcı akışkan kapalı devre dolaştırılmaktadır. Arıtıcı akışkanın baca gazı ile temasta olduğu sürece SO_2'yi emmekte (SO_2 yükleme, absorbsiyon fazı), yenileme fazında ise absorbe ettiği SO_2'yi vermektedir. Yenilenebilir arıtıcı akışkanlığı yaş yıkama prosesleri arasında sanayide uygulama aşamasına gelmiş yöntemlerin başında Wellman-Lord yöntemi gelmektedir. Bu yöntemde arıtıcı akışkan olarak NaOH kullanılmakta, rejenerasyon sürecinde ayrışan ara SO_2 gazından; amorf kükürt, sıvı SO_2 ve sülfürik asit oluşturmaktadır. Soğutma-ısıtma bölümünde bir ısı değiştirgeci ile baca gazı sıcaklığı arıtıcı akışkan yıkama sıcaklığına (150-50^oC) düşürülmektedir. İşlemin absorbsiyon bölümünde, SO_2 ön yıkamaya tabi tutulur, benzeri diğer işlemlerde SO_2 absorbsiyonunda nitrat ve fosfat tuzları kullanılmaktadır. Rejenerasyon bölümünde SO_2 buharlaştırıcı katalizörler içerisinde ısıl ayrışmaya uğramakta ve taşıyıcı çözeltide ayrılmaktadır. SO_2 işleme bölümleri diğer bölümlerden tamamen ayrı ve bağımsız olarak düzenlenebilmektedir. Wellman-Lord yönteminde SO_2 emisyonu 200 mg/Nm^3 düzeyine, ek bir absorbsiyon birimi ile ise 100 mg/Nm^3 düzeyine düşürülmektedir (Baykan, 2004).

c. Kuru SO_2 Tutma Yöntemleri

- Püskürtmeli kurutma prosesleri,
- Alkali enjeksiyon prosesleri,

Kalsiyum içeren alkali prosesler, sodyum içeren alkali prosesler ve nemlendirmeli alkali enjeksiyon prosesi.

- Aktif kömür ile adsorbsiyon prosesi,
- Katalitik oksidasyon prosesi,
- Elektronla ışıma prosesi (Karatepe ve Ark., 1998a).

NOx Arıtma Yöntemleri

Uygun yakma sistemi tasarım ve yakma kontrolü ile azot oksitlerin (NOx) yanma odasında oluşumu azaltılabilir. Günümüzde uygulanmakta olan sıkı emisyon sınırlandırmalarında, öngörülen sınırlara düşürülmesi genelde mümkün olmamaktadır. Bu durumda baca gazı NOx arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Baca gazı NOx arıtma yöntemleri üç ana grupta toplanmaktadır. Bunlar; Kuru NOx Arıtma Yöntemleri, Yaş NOx Arıtma Yöntemi, Birleşik NOx/SO_2 Arıtma Yöntemleridir (Baykan, 2004).

a. Kuru NOx Arıtma Yöntemleri**:** Azot oksitlerin genelde çözülme özelliğinin zayıf olması nedeni ile, günümüzde baca gazlarından NOx arıtımı için en çok kuru yüzeysel tutma yöntemleri kullanılmaktadır.

Bu yöntemler; katalizörlü yöntemler ve katalizörsüz yöntemler olmak üzere iki ana guruba ayrılmaktadır.

b. Yaş NOx Arıtma Yöntemi: Baca gazlarında çoğunlukta olan azot monoksit (NO), azot dioksite (NO_2) kıyasla daha az çözülebilme özelliğine sahiptir. NO_2 ise SO_2'den daha az çözülmektedir. Yaş NO_2 arıtma yönteminde esas sorun, NO'nun arıtma çözeltisinde çözülebilme sorunudur (Baykan, 2004).

c. Birleşik NOx/ SO_2 Arıtma Yöntemleri:

Birleşik kuru yöntemler şunlardır:

- Bakır oksit yöntemi,
- NOx/ SO_2 absorbsiyon yöntemi,
- Karbon yüzeysel tutma yöntemi,
- Sodyum karbonat yöntemi,
- Katalizör birleşik tutma yöntemi,
- Diğer yöntemler (Baykan, 2004).

3.2.5.2. Toz Emisyonlarının Arıtımı

Atık kontrol teknolojisi yoluyla azaltılabilecek emisyonların başında partikül maddeler gelmektedir. Kömürün yanması sonucu oluşan partikül maddelerin kimyasal bileşimindeki başlıca maddeler; karbon, silika, alüminyum ve demir oksitler olup, bunlar uçucu kül içinde atmosfere atılacaktır. Oluşan partikül madde emisyonunun miktarı, fiziksel ve kimyasal bileşimi, kullanılan yakma sisteminin türüne, kullanım koşullarına ve kömürün özelliklerine bağlı olmakla birlikte, büyük enerji üretim tesislerinde yaygınlıkla kullanılan çeşitli filtre ve benzeri düzenekler, söz konusu partikül madde emisyonlarını önemli düzeyde azaltabilmektedir (Kayın, 1998).

Tanecik yayınımını kontrol etmek için kullanılan sistemler;

Siklonlar: Gaz akımına bir dönme hareketi vererek, santrifüj ve yer çekimi kuvvetleri yardımıyla taneciklerin ayrılmasını sağlarlar. Ucuz, basit, güvenilir, enerji kaybı az ve çok miktarda tanecik yüklenmesini kaldırabilen cihazlardır. Genellikle, büyük boyutlu taneciklerin tutulması için ön tutucu olarak kullanılırlar. Tanecik boyutu 5-10 mikrometreye kadar olan katı partikülleri tutabilirler ve toplam tutma etkinlikleri %80-90 arasında değişir.

Islak gaz temizleyiciler: Sprey halinde su kullanılarak, tane boyutu 2 mikrometreden büyük olan taneciklerin %99'unu tutabilen cihazlardır. Ancak gaz ve sudaki basınç kayıpları nedeniyle enerji tüketimleri oldukça yüksektir. Su içindeki taneciklerin alınabilmesi için, su temizleme ünitesi gerekmektedir. Tanecikleri sıyırmak için kullanılan su, sistemde korozyon ve sis oluşumu gibi olumsuz etkiler yaratabilmektedir.

Elektrostatik toz tutucular: Toz tanecikler elektrikle yüklenerek, bu taneciklerin metal plakalara yapışması sağlanır. Belirli zamanlarda katman halinde toplanan bu tozların plakaları titreşim uygulayarak düşmesi sağlanır. Bu tutucuların enerji tüketimleri oldukça düşüktür ve basınç kayıpları çok azdır. Genellikle, toz tutulmasında en son aşama olarak kullanılırlar ve toplam tutma etkinlikleri %99,5 değerinin üzerine çıkabilmektedir (Gibson, 1979).

Torba filtreler: Bu teknik toz toplamada en etkin olanıdır. Büyük bir tesis için torba filtre ile toz toplama ünitesi, tipik olarak, her biri 30 cm çapında ve 10 metre uzunluğunda olan bilerce torba içerir. Bu sistemlerin ilk yatırım masrafı elektrostatik toz tutma sisteminkiyle yaklaşık aynı olmasına rağmen işletme masrafı yaklaşık iki katıdır. Her iki teknik de, 0,1-0,3 mikrometre boyutuna kadar olan taneciklerin tutulmasında daha etkindir (Gibson, 1979).

4. MATERYAL VE METOD

4.1. Materyal

Uçucu küllerin liç karakteristiklerinin ve çevresel etkilerinin araştırılması için 8 adet Termik Santral'den (Afşin Elbistan-A, Su gözü, Yatağan, Soma, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalağzı ve Çan Termik Santralleri) uçucu kül örnekleri alınmıştır. Pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan termik santralinden çevre topraklarına ve yer altı sularına bir kirlilik aktarımının olup olmadığının anlaşılması için de santral çevresinden toprak örnekleri ve yer altı su örnekleri alınmıştır.

Uçucu kül örneklerinin, farklı karakterdeki uçucu küllerin liç çözeltilerinin, toprak örneklerinin ve su örneklerinin ağır metal içerikleri; XRF, Flame AAS, Grafit Fırınlı AAS ve ICP-OES Spektrometresi kullanılarak belirlenmiştir. Tüm örneklerde izlenen ağır metaller, toprakta ve suda kirliliğe neden olan; Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn'dir.

4.1.1. Araziden Alınan Toprak ve Su Örnekleri

Pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan-A Termik Santrali'nde 30.11.2005 ile 02.12.2005 tarihleri arasında örnekler alınmıştır. Toprak örnekleri santral çevresinden, 4 farklı yönden; 1, 5 ve 10 km mesafelerden, 3'er farklı derinlikten alınmıştır. Örnekleme; 25 cm boyundaki kürekle yapılmış olup, ilk 5 cm, 5–15 cm ve 15–25 cm olmak üzere üç katman ayrı ayrı örnek poşetlerine aktarılmıştır. Su örnekleri ise derinlikleri 50 ile 170 m arasında değişen 6 adet kuyudan alınmıştır.

Uçucu küller önce kül stok havuzuna boşaltılmakta, oradan da taşıma bantları ile atık depolama alanına götürülmektedir. Küller burada gidya, kazı toprağı ve kireç taşı ile karıştırılarak gömülmektedir. Bu nedenle kül depolama sahasından örnek alınamamış, bunun yerine kül stok havuzundan örnekleme yapılmıştır.

Analizi yapılan toprak örnekleri, incelenen parametreler ve kullanılan cihazlar Çizelge 4.1'de; analizi yapılan su örnekleri, incelenen parametreler ve kullanılan cihazlar Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Analizi yapılan toprak örnekleri, parametreler ve kullanılan cihazlar

No	Örnek Adı	İncelenen Parametreler	Cihazlar
101,102 ve 103	Kuzey Doğu 1 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
104,105 ve 106	Kuzey Doğu 3 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
107,108 ve 109	Kuzey Doğu 7 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
201,202 ve 203	Güney Batı 1 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
204,205 ve 206	Güney Batı 5 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
207,208 ve 209	Güney Batı 10 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
301,302 ve 303	Kuzey 1 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
304,305 ve 306	Kuzey 5 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
307,308 ve 309	Kuzey 10 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
401,402 ve 403	Güney Doğu 1 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
404,405 ve 406	Güney Doğu 5 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
407,408 ve 409	Güney Doğu 10 km 0-5, 5-15, 15-25 cm	O – U arasındaki elementler, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS

Çizelge 4.2. Analizi yapılan su örnekleri, analiz parametreleri ve kullanılan cihazlar

No	Örnek Adı	İncelenen Parametreler	Cihazlar
1	Kışlaköy suyu	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, ICP OES
2	Gidya suyu	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, ICP OES
3	Çaykuyu suyu	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, ICP OES
4	Dış döküm suyu	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, ICP OES
5	Orman suyu	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, ICP OES
6	İşletme suyu	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, ICP OES

Toprak örneklemesi yapılırken çekilen fotoğraflar Şekil 4.1-4.4'te, su örneklemesi yapılırken çekilen fotoğraflar ise Şekil 4.5-4.8'de verilmiştir. Toprak örneklerine ve su örneklerine ait detaylı bilgiler Çizelge 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.1. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (GB 1 km)



Şekil 4.2. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (GD 5 km)



Şekil 4.3. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (Kuzey 10 km)



Şekil 4.4. Santral yakın çevresinden toprak örneklemesi yapılırken (KD 1 km)



Şekil 4.5. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Gidya suyu)



Şekil 4.6. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Kışlaköy suyu)



Şekil 4.7. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Dış döküm suyu)



Şekil 4.8. Santral yakın çevresinden su örneklemesi yapılırken (Orman suyu)

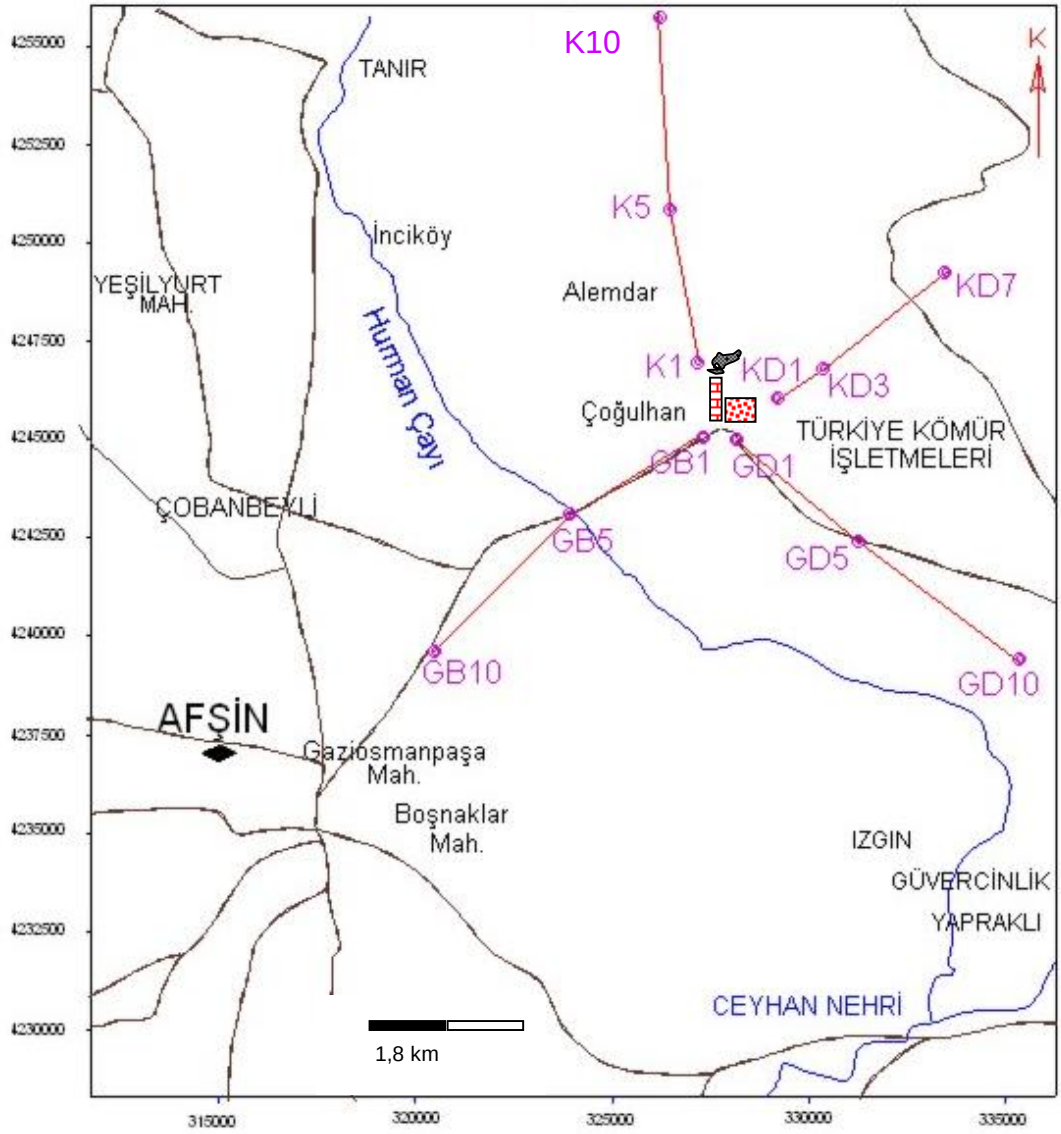
Çizelge 4.3. Toprak örneklerine ait detaylı bilgiler

Örnek No	Alındığı yön	Santrala Uzaklık	Derinlik	Koordinatlar	
				Y	X
101,102 ve 103	Kuzey Doğu	1 km	0-25 cm	329133	4246014
104, 105 ve 106	Kuzey Doğu	3 km	0-25 cm	330304	4246829
107, 108 ve 109	Kuzey Doğu	7 km	0-25 cm	333472	4249309
201, 202 ve 203	Güney Batı	1 km	0-25 cm	327159	4245034
204, 205 ve 206	Güney Batı	5 km	0-25 cm	323905	4243053
207, 208 ve 209	Güney Batı	10 km	0-25 cm	320284	4239592
301, 302 ve 303	Kuzey	1 km	0-25 cm	327134	4246960
304, 305 ve 306	Kuzey	5 km	0-25 cm	326409	4250876
307, 308 ve 309	Kuzey	10 km	0-25 cm	326080	4255856
401, 402 ve 403	Güney Doğu	1 km	0-25 cm	328073	4244999
404, 405 ve 406	Güney Doğu	5 km	0-25 cm	331211	4242401
407, 408 ve 409	Güney Doğu	10 km	0-25 cm	335321	4239367

Çizelge 4.4. Su örneklerine ait detaylı bilgiler

Örnek No	Örnek Adı	Derinlik	Koordinatlar	
			Y	X
1	Kışlaköy suyu (2 kuyu)	170 m	334070	4246838
2	Gidya suyu (5 kuyu)	50 m	331283	4245337
3	Çaykuyu suyu (7 kuyu)	160-180 m	331702	4249506
4	Dış döküm suyu (1 kuyu)	50 m	329608	4250361
5	Orman suyu (4 kuyu)	50-60 m	327421	4252369
6	İşleme Suyu (10 kuyu)	170 m	329045	4245506

Afşin Elbistan-A Termik Santrali'nin yakın çevresinden alınan toprak örneklerinin konumlarını gösteren vaziyet planı Şekil 4.9'da verilmiştir.



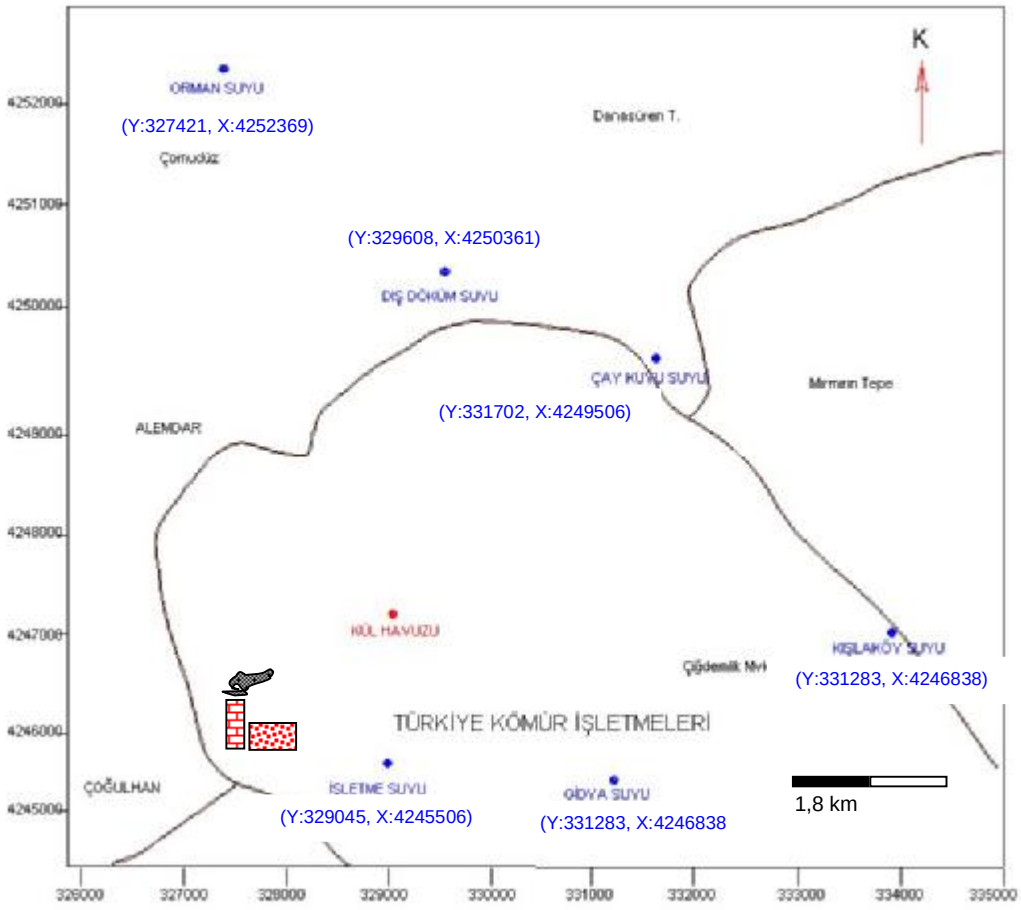
	KD1	KD3	KD7	GB1	GB5	GB10
Y	329133	330304	333472	327159	323905	320284
X	4246014	4246829	4249309	4245034	4243053	4239592

	K1	K5	K10	GD1	GD5	GD10
Y	327134	326409	326080	328073	331211	335321
X	4246960	4250876	4255856	4244999	4242401	4239367

Şekil 4.9. Afşin Elbistan-A Termik Santrali'nin yakın çevresinden alınan toprak örneklerinin yerlerini gösteren vaziyet planı

Afşin Elbistan-A termik santrali çevresinden 4 yönden alınan toprak örneklerinin araziden alındığı noktalar harita üzerinde işaretlenmiştir. Kuzeydoğu yönünde 5. km kömür kazı alanına, 10. km ise çok engebeli bir bölgeye geldiği için; bu yöndeki örnekler 1., 3. ve 7. km'lerden alınmıştır.

Afşin Elbistan-A termik santrali çevresinden farklı derinliklerden, 6 noktadan alınan yer altı suyu örnekleri ile uçucu kül ve taban külü örneklerinin araziden alındığı noktalar harita üzerinde işaretlenmiştir. Kül ve su örneklerinin konumlarını gösteren vaziyet planı Şekil 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Afşin Elbistan-A Termik Santrali'nin yakın çevresinden alınan kül ve su örneklerinin yerlerini gösteren vaziyet planı

4.1.2. Termik Santrallerden Alınan Kül Örnekleri

Tez kapsamında toplam 8 adet Termik Santral'den kül örneği alınmıştır. Kül örneği alınan Termik Santrallerin yer bulduru haritası Şekil 4.11'de verilmiştir.



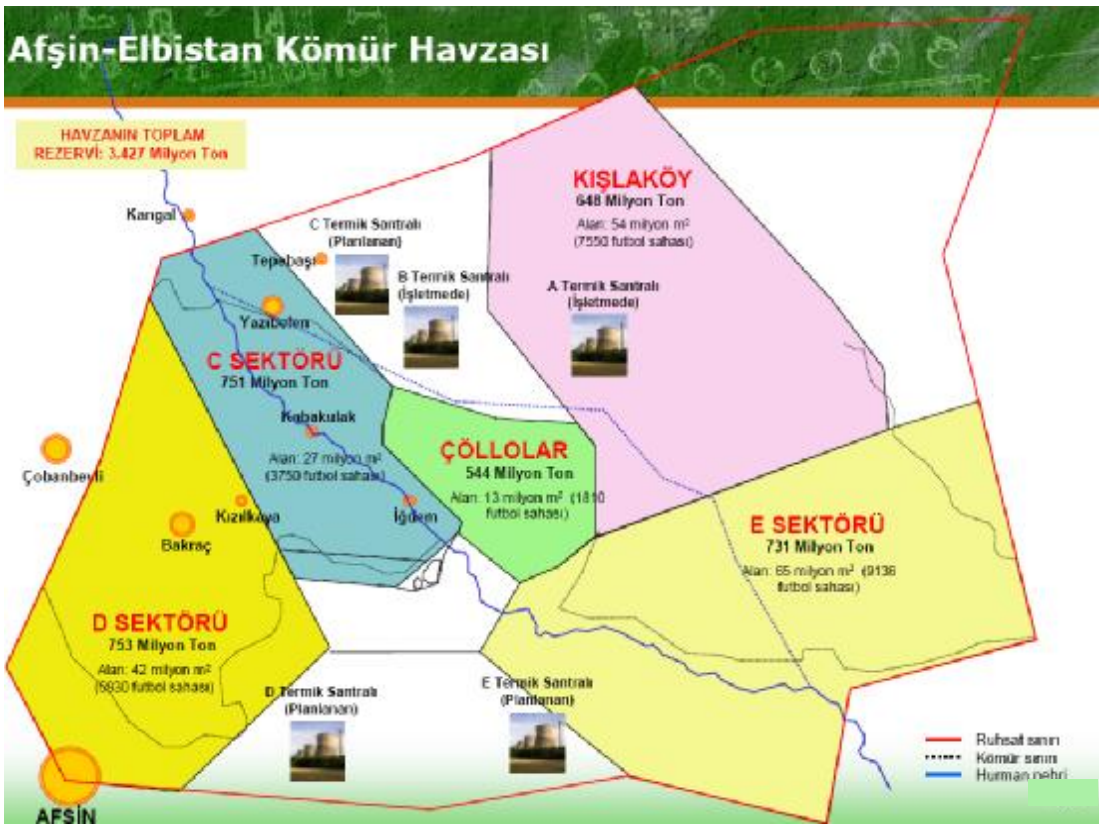
Şekil 4.11. Kül örneği alınan termik santrallerin yer bulduru haritası (www.grafikerler.net)

4.1.2.1. Uçucu Kül Alınan Termik Santraller

4.1.2.1.(1). Afşin Elbistan-A Termik Santrali

Kahramanmaraş İlinin Afşin ve Elbistan ilçeleri arasında kurulan Afşin Elbistan-A termik santralinin yapımına 1973 yılında başlanmıştır. Kışlaköy İşletmesi'nde kurulan 4x344 MW gücündeki üniteler 1984, 1992, 1993 ve 1994 yıllarında devreye alınmıştır (www.euas.gov.tr).

Afşin Elbistan havzasında TKİ ve MTA'nın yaptığı çalışmalar sonucunda düşük kaliteli, bol miktarda linyit rezervi bulunduğu tespit edilmiştir. İşletilebilir toplam 3,4 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. Afşin Elbistan B santrali 2004 yılında işletmeye alınmıştır. C, D ve E santralleri de planlanmaktadır. Havzanın son durumu Şekil 4.12'de, Termik Santral'e ait resim ise Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.12. Afşin Elbistan Kömür Havzasının son durumu (www.euas.gov.tr)



Şekil 4.13. Afşin-Elbistan-A Termik Santrali (www.euas.gov.tr)

4.1.2.1.(2). İsken Su Gözü Termik Santrali

Türkiye'nin ithal taş kömürüne dayalı ilk termik santrali olan Yumurtalık İlçesi'ndeki Sugözü Termik Santrali'nin (Şekil 4.14) temeli 4 Kasım 2000'de atılmıştır. Yaklaşık 1,5 milyar dolara mal olan termik santralin yapımı, kısa adı İSKEN olan İskenderun Enerji Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi tarafından gerçekleştirilmiştir.

İSKEN'in yüzde 75'lik hissesi 60 yıldır kendi ülkesinde santraller kuran Alman STEAK'a, yüzde 25'i ise yine Alman firması olan RWE'ye aittir. Yapımcı konsorsiyumda ise Alman Siemens liderliğinde Babcock Borsig Power (Almanya), Gama-Tekfen-Siemens A.Ş. yer almıştır. Santralin resmi açılış töreni 24.02.2004 tarihinde yapılmıştır.

İSKEN Sugözü Enerji Santrali her biri 660 MW'lık iki üniteden oluşmaktadır. Üretilen yıllık 9 milyar kWh enerji, ülke ihtiyacının %7'sini karşılamaktadır (www.isken.com.tr).



Şekil 4.14. İsken Sugözü Termik Santrali (www.isken.com.tr)

4.1.2.1.(3). Yatağan Termik Santrali

Yatağan Termik Santrali (Şekil 4.15), sanayide başka amaçla kullanılamayan Muğla-Yatağan linyit havzasındaki düşük kalorili kömürün değerlendirilmesi ve artan enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla 1975 yılında yatırım programına alınmıştır. Santral bu amaçla Yatağan İlçesine 3 km uzaklıktaki 1.163.000 m² lik bir alan üzerine kurulmuştur.

Yatağan Termik Santralinde kullanılan kömür; açık ocaklardan Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) Genel Müdürlüğü'ne bağlı Güney Ege Linyitleri İşletmesi tarafından çıkarılarak 0-200 mm tane iriliğinde santrale verilmektedir.

Muğla yöresindeki kömür havzalarında, TKİ ve MTA tarafından 800 milyon tonluk kullanılabilir kömür rezervi tespit edilmiştir. Yörede mevcut linyit kömürünün alt ısıl değeri 1750-2100 kcal/kg olduğundan Termik Santralde elektrik üretiminden başka herhangi bir sanayide kullanılmaya elverişli değildir. Santral 210 MW'lık 3 üniteden oluşmaktadır Ünitelerin devreye alınış tarihleri; 1982, 1983 ve 1984'tür (www.yatagan.gov.tr).



Şekil 4.15. Yatağan Termik Santrali (www.yatagan.gov.tr)

4.1.2.1.(4). Soma-B Termik Santrali

Soma ve çevresindeki mevcut linyit kömürlerinin 2500 kcal/kg ısıl değerden düşük kısımlarının kömür üretiminden arta kalan ve açığa çıkan ısıl değeri haiz artıkların ısısından elektrik üretmek, düşük karakterli linyitleri ve az miktarda ısıya sahip artıkları taşınmaya gerek olmadan mahallinde değerlendirmek amacıyla Soma Termik Santrali kurulmuştur.

Santralin amacı Batı ve Kuzeybatı Anadolu'nun ihtiyacı olan elektrik enerjisini en kısa mesafeden karşılayabilmek, yörenin ekonomik ve sosyal kalkınmasını sağlamaktır. Santralin kömür ihtiyacı TKİ Genel Müdürlüğü'ne bağlı ELİ Müessesesi'nin Soma'daki kömür ocaklarından sağlanmaktadır.

Kömür kaynakları yörede muhtelif şekilde yayılmıştır. 2500 kcal/kg'den yüksek karakterli linyitler teshin ve sanayinin ihtiyacına ayrılmaktadır. Daha düşük kalitelerdeki kömürler Termik Santralde tüketilmektedir. 8 üniteden oluşan ve toplam kapasitesi 1034 MW (165x6 ve 22x2) olan Soma-B Termik Santraline ait resim Şekil 4.16'da verilmiştir (www.seas. gov.tr).



Şekil 4.16. Soma-B Termik Santrali (www.seas. gov.tr)

4.1.2.1.(5). Seyitömer Termik Santrali

Seyitömer Termik Santrali (Şekil 4.17) Kütahya'nın Seyitömer ilçesinde, bölgedeki linyit yataklarının değerlendirilmesi için Türkiye Elektrik Kurumu'nun uyguladığı proje uyarınca yapılmıştır. Santral yılda 5,5 milyon ton linyit yakarak 4x150 MW elektrik enerjisi üretecek şekilde planlanmıştır. Santral, Kütahya ilinin 28 km kuzey doğusunda yer almaktadır. Termik santral toplam dört birimden oluşmaktadır. Bu birimler sırasıyla 1973, 1974, 1977 ve 1989 yıllarında faaliyete geçmiştir.

Seyitömer Linyit havzası Pliosen yaşlı olup, bir göl teşekkülüdür. Havzanın temeli serpantinleşmiş ultrabazik kayaçlardan (Gabro, diorit) oluşmuştur. Sedimanlar tabanda konglemera ile başlar, daha sonra mavi-yeşil taban killeri gelir. Bunun üzerinde (B) damarı olarak adlandırılan ana damar vardır. Ana damarın tavanında killi marnlardan ibaret tavan serisi bulunur. Daha sonra kil ve marnlarla birlikte (A) üst damarı oluşmuştur. En üstte ise 0,5-1 metre kalınlığında bitkisel örtü bulunmaktadır (www.sli.gov.tr).



Şekil 4.17. Seyitömer Termik Santrali (www.sli.gov.tr)

4.1.2.1.(6). Tunçbilek Termik Santrali

Tunçbilek Termik Santrali (Şekil 4.18), 204.924 m^2 alanda, Tavşanlı ilçesinin Tunçbilek Köyü yakınlarında kurulmuştur. Toplam gücü 365 MW'tır (1x65 ve 2x150) ve esas yakıtı yörede bulunan düşük kalorili linyit kömürüdür. Günlük linyit tüketimi 7000 ton olup bu miktar santral birimlerinin yıllık çalışma sürelerine ve linyitin kalorisine göre değişebilmektedir. Tunçbilek Termik Santrali'nde linyite ek olarak fuel oil ve mazot da yakıt olarak kullanılabilmektedir. Santralde 2000 yılında 1,9 milyar kwh üretimde bulunulmuş ve bunun 2 milyar kwh'a çıkarılması hedeflenmiştir.

Tunçbilek kömürleri, parlak sert linyit türünde bir kömürdür. Yapılan bilimsel araştırmalarda, Tunçbilek kömürünün linyitle taşkömürü sınırında yer aldığı tespit edilmiştir. Garp Linyit İşletmeleri, Tunçbilek'te iki adet yeraltından ve çeşitli açık ocak panolarından üretim gerçekleştirmektedir. Üretilen kömürlerin ısıl değerleri, tâbi tutuldukları yıkama ve kriblaj işlemlerinden sonra yaklaşık iki katına çıkmaktadır (www.gli.gov.tr).



Şekil 4.18. Tunçbilek Termik Santrali (www.gli.gov.tr)

4.1.2.1.(7). Çatalağzı Termik Santrali

ÇATES-B Termik Santrali (Şekil 4.19), Zonguldak ilinin merkez ilçesine bağlı ve Zonguldak'ın 15 km doğusunda bulunan Kazköy ile Doğancılar köyü arasında ve Zonguldak-Ankara yolu üzerinde kurulmuştur. Santral Zonguldak'a 17 km, Kilimli nahiyesine 7 km uzaklıkta olup, adını 2 km uzağındaki Çatalağzı kasabasından almıştır.

ÇATES hakkında özet bilgiler şunlardır;

Yeri: Zonguldak İli Merkez İlçeye bağlı Çatalağzı kasabası Işıkveren mevkii

Yüklenici Firmalar: Kutlutaş, Trans Elektro, Siemens, Mitsubishi

Kapasite: 2 x 150 MW (2x150.000 kW)

Projenin: a) Temel atma: B1 Nisan 1978, B2 Mayıs 1987

b) Ticari işletmesi: B1 19.10.1990, B2 05.07.1991

Ana Yakıt: Lavuar artığı Mikst (Hu; 3300 kcal/kg) 1.600.000 ton /yıl

Fuel-oil; 7200 ton/yıl ve Motorin; 480 ton/yıl

Santral Sahası Alanı Toplam: 1.211.000 m^2 (www.catestermik.com).



Şekil 4.19. Çatalağzı Termik Santrali (www.catestermik.com)

4.1.2.1.(8). Çan Termik Santrali

Çan Termik Santrali (Şekil 4.20), Çanakkale'nin Çan ilçesinde; Çanakkale, Balıkesir ve Bursa illerinin kesişim noktasında bulunmaktadır. Çan ilçesine bağlı Kulfa ve Yaya köyleri arasında, Çan-Çanakkale karayolu üzerinde, Çan'a 12 km mesafede yer almaktadır.

Çanakkale - Çan havzasındaki kömür oluşumu 1940 yılında tespit edilmiş ve 1979 yılında yürürlüğe giren 2172 sayılı yasa ile devletleştirilinceye kadar özel sektör tarafından işletilmiştir. Son yıllarda oluşan çevre bilincine istinaden yüksek kükürt içeriği nedeniyle (%1-8) cazibesini yitiren Çan kömürü, 7. beş yıllık kalkınma planı çerçevesinde 2000 yılı Haziran ayında kurulmaya başlanan ve 2x160 MW gücünde, Türkiye'deki akışkan yataklı yakma sistemli ilk termik santral olan Çan termik santralinin devreye girmesiyle tekrar kullanılmaya başlanmıştır.

Çan havzasında genel olarak tek bir linyit damarı oluşumu gözlenmekte olup kalınlık 0-35 m arasında değişmektedir. Havzada yapılan genel değerlendirme sonucunda ortalama linyit damarı kalınlığın 19,29 metre bulunmuştur. Örtü tabakasının kalınlığı ise 30-300 m arasında değişmektedir (www.cli.gov.tr).



Şekil 4.20. Çan Termik Santrali (www.cli.gov.tr)

4.2. Metod

Afşin Elbistan Termik Santrali'nde toprak, su ve uçucu kül örneklemesi yapılırken; örneklemelerle ilgili Türk standartları belirlenmiş ve bu standartlara uygun örnekleme yapılmaya çalışılmıştır. Tüm örnekler Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuarı'nda analiz edilmiştir. Araziden örnekleme yapılırken kullanılan standartların numaraları ve adları Çizelge 4.5'te, Analizler yapılırken kullanılan standartlar ve adları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Araziden örnekleme yapılırken kullanılan standartların numaraları ve adları

No	Örnek	Standart No	Standart Adı
1	Toprak	TS 9923 Mart 1992	Toprak kalitesi-Yüzey topraktan numune alma, numunelerin taşınma ve muhafaza kuralları
2	Su	TS ISO 5667-18 Nisan 2004	Su kalitesi-Numune alma-Bölüm 18: Kirlenmiş sahalardaki yer altı suyundan numune alma kılavuzu
3	Uçucu Kül	TS 12090 Ekim 1996	Katı atıklardan numune alma kuralları

Çizelge 4.6. Analizler yapılırken kullanılan standartlar ve adları

No	Örnek	Standart	Yöntem
1	Toprak Analizleri	TS ISO/DIS 11047 Nisan 1997	Toprak kalitesi Cd, Cr, Co, Cu, Pb, Mn, Ni ve Zn muhtevası tayini-Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometrik Metotlar
2	Su Analizleri	TS EN ISO 15586 Ocak 2004	Su kalitesi-Grafit fırınlı Atomik Absorbsiyon Spektrometresi kullanılarak eser elementlerin tayini
3	Uçucu Kül Analizleri	TS 12088 Ekim 1996	Katı atıklar-Ağır metal tayini-Atomik Absorbsiyon spektrofotometrik metot
4	Uçucu Küllerin Liçi	TS EN 12457-3 Ocak 2004	Atıkların nitelendirilmesi-Katıdan özütleme analizi-granül katı atıkların ve çamurların katı özütlemesi deneyi:Bölüm3
5	Liç Çözelti Analizleri	TS EN ISO 15586 Ocak 2004	Su kalitesi-Grafit fırınlı Atomik Absorbsiyon Spektrometresi kullanılarak eser elementlerin tayini

Afşin Elbistan külü araziden, İsken Su gözü termik santrali İnşaat Müh. Bölümü'nden, diğer Termik Santrallerin uçucu külleri ise, Termik Santral uçucu küllerinin beton katkı maddesi olarak kullanımını araştıran Doğa Koruma Tekn. Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir. Analizi yapılan uçucu kül örnekleri, incelenen parametreler ve kullanılan cihazlar Çizelge 4.7'de verilmiştir. Bu uçucu kül örneklerine uygulanan liç deneyleri Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Analizi yapılan uçucu kül örnekleri, parametreler ve kullanılan cihazlar

No	Örnek Adı	İncelenen Parametreler	Cihazlar
1	Afşin Elbistan TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
2	Su gözü TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
3	Yatağan TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
4	Soma TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
5	Seyitömer TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
6	Tunçbilek TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
7	Çatalağzı TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS
8	Çan TS Külü	O – U arasındaki elementler Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	XRF-AAS

Çizelge 4.8. Termik santrallerden alınan kül örneklerine uygulanan liç deneyleri

Liç İşlemi	Kül/Çözücü Oranı	Süre	Karıştırma hızı	Kullanılan Reaktif
Seri Liç (5 gün)	10 g / litre	24 saat	10 devir/dk	Deiyonize Su

4.2.1. Toprak Analizleri

Toprak örneklerinin içeriklerinin belirlenmesi için örnekler öncelikle TS EN 13650 Ocak 2004 standardında belirtilen işlemlerden geçirilmiştir. Bu standardın prensibi kuru toprak numunesinin çok ince (< 500 µm) boyuta öğütüldükten sonra kral suyunda (3 hacim HCl+1 hacim HNO_3) oda sıcaklığında 16 saat bekletilmesi ve daha sonra 2 saat süreyle geri soğutucu altında kaynatılmasıdır. Özütleme tamamlanınca çözeltiler mavi bant süzgeç kâğıdından süzülmüştür. Atomik Absorbsiyon Spektrometresi'nde çözeltiler okutularak örneklerin ağır metal içerikleri belirlenmiştir. Çözeltilerde yapılan ağır metal analizleri 3 farklı cihaz kullanılarak kontrol edilmiştir. Bu cihazlar aşağıda listelenmiştir;

1. Perkin Elmer 3100 (Flame) Atomik Absorbsiyon Spektrometresi,
2. Perkin Elmer Aanaliyst 800 (Grafit Fırınlı) AAS,
3. Perkin Elmer ICP-OES (Inductively Coupled Plasma- Optical Emission Spectrometer) Optima 2100 DV.

4.2.2. Su Analizleri

Su analizleri alevli ve grafit fırınlı Atomik Absorbsiyon Spektrometresi ve ICP-OES Spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. AAS'lerin alevli olanında örnek direkt olarak alev üzerine püskürtülürken, diğerinde grafit fırının içerisine enjekte edilmektedir. Her ikisinde de örnek önce kurumakta, daha sonra atomlaşmaktadır. Işık kaynağından yani katot lambasından gelen belli dalga boyundaki spesifik ışık, atomlaşmış haldeki analizi yapılan element tarafından absorblanmaktadır. Detektör ışık şiddetindeki azalmayı absorbans olarak ölçmekte, absorbans miktarı kullanılarak konsantrasyon hesaplanmaktadır.

ICP-OES cihazında AAS'den farklı olarak örnek atomlaştırılmak için plazma üzerine püskürtülmektedir. Öncelikle kalibrasyon çözeltileri cihaza okutularak kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Örnekler cihazlara okutulmadan önce örneklere uygulanan tüm işlemlerden geçmiş olan fakat örnek içermeyen tanık deney numunesi okutulmuştur. Daha sonra bilinmeyen örnekler analiz edilmiştir.

4.2.3. Uçucu Kül Analizleri

Uçucu küllerin analizleri toprak ve su kirliliğine neden olabilecek 8 çeşit ağır metalin belirlenmesi amacıyla AAS, FAAS ve ICP-OES cihazlarıyla Ağır metaller açısından analiz edilmiştir. Uçucu küllerin tüm kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla da XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca uçucu küllerin mineralojik yapısının belirlenmesi için TÜBİTAK MAM'da XRF, XRD ve SEM analizleri yaptırılmıştır.

XRF'in çalışma prensibi temel olarak şu şekildedir; atom üzerine yüksek enerjili bir X-ışını fotonu düşürülmesi sonucunda atomdan foto elektronlar koparılmaktadır. Bu sayede atomun yörüngelerinde oluşan bir ya da daha fazla elektron boşluğu kararsız olan atom dış yörüngelerdeki elektronlarca doldurulmakta ve atom kararlı duruma gelmektedir. Her bir elektron boşluğu doldurulurken atom, orbital enerji farkı ile orantılı bir foton yayınlamaktadır. Bu karakteristik foton XRF dedektörü tarafından algılanarak kimyasal içerik nitel veya nicel olarak belirlenebilmektedir.

Laboratuarda gerçekleştirilen AAS analizlerinden önce; tüm cam malzemeler sırayla; deterjan, su, nitrik asit (1/1), su, hidroklorik asit (1/1) ve damıtık sudan geçirilmiş ve etüvde kurutulmuştur. Kullanılan tüm reaktifler analitik saflıktadır ve deiyonize su kullanılmıştır.

Uçucu kül örnekleri etüvde kurutulduktan sonra, hassas terazide yaklaşık 1 gramlık kül tartımı alınmıştır. Numune üzerine 1/1'lik 10 ml HNO_3 ilave edilip kaynama noktasının hemen altına kadar ısıtılmıştır. 5 ml daha nitrik asit ilave edilerek yarım saat daha ısıtılmıştır. Çözünme tamamlanıncaya kadar aynı işlem tekrarlanmıştır. Daha sonra çözelti hacmi 5 ml oluncaya kadar kaynatılmadan buharlaştırılmıştır. Çözelti soğutulduktan sonra 2 ml deiyonize su ve 3 ml %30'luk hidrojen peroksit, köpürme bitinceye kadar ilave edilmiştir. Çözünmemiş katının alınması için mavi bant süzgeç kâğıdından süzülmüştür.

4.2.4. Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Uçucu kül örneklerinin liç karakteristiklerinin belirlenmesi için, kül örneklerine atıkların özütlenmesi için kullanılan TS EN 12457-3'te belirtilen işlemler uygulanmıştır.

En az 2 kg ağırlığında, 10 mm'nin altındaki partikül boyutuna sahip olan uçucu kül örnekleri 40°C'yi geçmeyen ortamda havada kurutulmuş ve örneğin bir kısmı etüvde 105°C'de kurutularak nem içeriği belirlenmiştir. 10 litre/kg oranını koruyacak şekilde örneğin nem içeriği göz önünde tutularak, 10 g kuru maddeye tekabül eden kül miktarı hesaplanmış, hassas terazide tartılmış ve üzerine 100 ml deiyonize su eklenmiştir. Karıştırıcının devri 10 d/dk'ya ayarlanmış ve 24 saat boyunca karıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Herhangi bir ısıtma işlemi yapılmamış, deneyler oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Süre sonunda katı fazın çökmesi için 15±5 dakika beklenmiş ve mavi bant süzgeç kâğıdından süzülmüştür. Tüm işlemler şahit numune için tekrarlanmıştır.

Deiyonize su ile eluatlaştırma işlemleri yapılırken; 1. gün sonunda süzgeç kağıdında biriken kalıntı tekrar kapaklı plastik kap içersine alınmış, sıvı katı oranı 10 l/kg olacak şekilde deiyonize su eklenmiş ve tekrar 10 rpm çalkalama hızında karıştırılmıştır. 24 saat sonunda süzme ve diğer işlemler yapılarak seri liç işlemi 5 kez tekrarlanmıştır. Elde edilen tüm çözeltiler AAS'de analiz edilmiştir.

4.2.5. Liç Çözeltilerinin Analizleri

Liç çözeltilerinin analizleri su örnekleri gibi; Alevli ve grafit fırınlı AAS'de ve ICP-OES Spektrometresinde gerçekleştirilmiştir. Liç çözeltilerinde incelenen parametreler ve kullanılan cihazlar Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Atomik Absorbsiyon Spektrometresi'nde öncelikle kalibrasyon çözeltileri cihazda okutularak kalibrasyon grafiği çizilmiştir. Örnekler okutulmadan önce örneklere uygulanan tüm işlemlerden geçmiş olan fakat örnek içermeyen tanık deney numunesi cihazda okutulmuştur. Tüm okumalar standartta belirtildiği gibi ikişer kez tekrarlanmış ve ortalamaları alınmıştır.

Çizelge 4.9. Liç çözeltilerinde incelenen parametreler ve kullanılan cihazlar

No	Örnek Adı	İncelenen Parametreler	Kullanılan Cihazlar
1	Afşin Elbistan TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES
2	Su gözü TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES
3	Yatağan TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES
4	Soma TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES
5	Seyitömer TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES
6	Tunçbilek TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES
7	Çatalağzı TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES
8	Çan TS Külü	Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co, Mn	AAS, FAAS, ICP OES

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında, pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan Termik Santrali çevresinden alınan toprak ve su örneklerindeki ağır metal miktarları belirlenmiştir. Bulunan değerler 31.05.2005 tarihli ve 25831 sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği ve 13.02.2008 tarihli ve 26786 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, 8 farklı Termik Santralden alınan uçucu kül örneklerinin ve bir adet taban külünün liç karakteristikleri incelenmiştir. Bu sayede, farklı karakterdeki uçucu küllerden, depolandıkları alan çevresindeki toprağa ve yeraltı suyuna ağır metal taşınımının olup olmayacağı öngörülmeye çalışılmıştır.

5.1. Araziden Alınan Toprak ve Su Örneklerine Ait Analiz Sonuçları

Pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan-A Termik Santrali çevresinden toprak örnekleri ve su örnekleri alınmıştır. Toprak örnekleri, TS EN 13650 Ocak 2004 "Toprak ıslah edici ve gelişme düzenleyicileri – Kral suyunda çözünebilir elementlerin özütlenmesi" standardında belirtilen ön işlemlerden geçirilmiştir. 500 mikronun altına öğütülen ve kurutulan toprak örneği, kral suyunda ve oda sıcaklığında 16 saat bekletilmiş, daha sonra 2 saat süreyle geri soğutucu altında kaynatılmıştır. Süzülen çözeltide TS ISO/DIS 11047 Nisan 1997 "Toprak kalitesi-Kadmiyum, krom, kobalt, bakır, kurşun, mangan, nikel ve çinko muhtevası tayini-Alevli ve elektrotermal AAS metotlar" standardına göre analiz edilmiştir. Bulunan sonuçlar, TKKY Ek 1-A'da verilen, "Toprak kirlilik parametreleri sınır değerleri a bendi; topraktaki ağır metal sınır değerleri" ile kıyaslanmıştır.

Santralin kuzey doğusundan alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için yönetmelikte belirtilen sınır değerler Çizelge 5.1-5.4'te, Santralin güney batısından alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri Çizelge 5.5-5.8'de, Santralin kuzeyinden alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri Çizelge 5.9-5.12'de ve Santralin güney doğusundan alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri Çizelge 5.13-5.16'da verilmiştir.

Çizelge 5.1. Santralin kuzey doğusundan (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey Doğu 1 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	35,8	35,7	35,6	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,49	2,09	1,93	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	267	260	241	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	34,8	34,6	32,7	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	200	179	178	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	72,1	71,6	69,0	**300**	**70**
Co (mg/kg)	37,8	37,6	34,7	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	882	874	871	**-**	**800**

Çizelge 5.2. Santralin kuzey doğusundan (3 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey Doğu 3 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	35,6	35,4	34,0	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,13	2,13	2,04	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	234	206	187	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	33,5	32,7	32,3	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	178	177	170	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	65,0	64,1	58,9	**300**	**70**
Co (mg/kg)	38,4	35,6	34,0	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	865	862	855	**-**	**800**

Çizelge 5.3. Santralin kuzey doğusundan (7 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey Doğu 7 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	26,0	19,9	16,1	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	1,04	0,97	0,96	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	217	202	199	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	33,7	31,9	31,3	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	152	141	140	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	59,0	53,2	51,6	**300**	**70**
Co (mg/kg)	31,8	29,6	29,2	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	864	860	817	**-**	**800**

Çizelge 5.4. Santralin kuzey doğusundan (1, 3, 7 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey Doğu Ortalama			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	1 km	3 km	7 km		
Pb (mg/kg)	35,7	35,0	20,7	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,17	2,10	0,99	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	256	209	206	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	34,0	32,8	32,3	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	186	175	144	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	70,9	62,7	54,6	**300**	**70**
Co (mg/kg)	36,7	36,0	30,2	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	876	861	847	**-**	**800**

Çizelge 5.5. Santralin güney batısından (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Batı 1 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	35,0	32,2	30,9	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,45	2,37	2,05	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	262	258	247	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	39,5	38,8	38,2	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	200	198	197	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	71,1	71,1	70,5	**300**	**70**
Co (mg/kg)	39,5	38,8	38,2	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	867	840	804	**-**	**800**

Çizelge 5.6. Santralin güney batısından (5 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Batı 5 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	33,8	32,9	31,3	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,37	2,19	1,97	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	211	206	196	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	34,3	34,1	32,7	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	169	164	157	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	58,6	54,8	51,2	**300**	**70**
Co (mg/kg)	36,3	36,1	34,7	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	822	814	779	**-**	**800**

Çizelge 5.7. Santralin güney batısından (10 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Batı			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	10 km				
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	26,9	18,0	17,8	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	1,44	1,43	1,42	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	207	201	190	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	33,0	32,9	31,7	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	158	157	156	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	56,0	55,3	53,2	**300**	**70**
Co (mg/kg)	33,0	32,9	31,7	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	818	799	795	**-**	**800**

Çizelge 5.8. Santralin güney batısından (1, 5, 10 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Batı			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	Ortalama				
	1 km	5 km	10 km		
Pb (mg/kg)	32,7	32,7	20,9	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,29	2,18	1,43	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	256	204	199	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	38,8	33,7	32,5	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	198	163	157	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	70,9	54,9	54,8	**300**	**70**
Co (mg/kg)	38,8	35,7	32,5	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	837	805	804	**-**	**800**

Afşin Elbistan termik santralinin kuzey doğusundan alınan toprak örneklerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde; tüm örneklerdeki kurşun miktarının Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen 300 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altında (16,1-35,8) olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum miktarları ise 0,96 ile 2,49 mg/kg arasında değişmektedir. Bu değerler de 3 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altındadır. Aynı şekilde topraklardaki bakır miktarları (31,3-34,8) 140 mg/kg sınır değerinin, çinko miktarları (51,6-72,1) da 300 mg/kg sınır değerinin altında yer almaktadır.

Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde sınır değer verilmeyen kobalt ve mangan miktarları; kobalt için 29,2 ile 38,4 mg/kg kuru toprak değerleri arasında, mangan içinse 817 ile 882 mg/kg kuru toprak değerleri arasında değişmektedir.

Kuzeydoğu yönünden alınan tüm toprak örneklerinin (9 adet), nikel miktarları pH>6 topraklar için sınır değer olan 75 mg/kg kuru toprak değerinden yüksek çıkmıştır (140-200). Aynı şekilde toprak örneklerinin krom içerikleri de (187-267) sınır değer olarak belirtilen 100 mg/kg kuru toprak değerinden yüksektir.

Afşin Elbistan termik santralinin güney batısından alınan toprak örneklerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde; tüm örneklerdeki kurşun miktarının Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen 300 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altında (17,8-35,0) olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum miktarları ise 1,42 ile 2,45 mg/kg arasında değişmektedir. Bu değerler de 3 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altındadır. Aynı şekilde topraklardaki bakır miktarları (31,7-39,5) 140 mg/kg sınır değerinin, çinko miktarları (51,2-71,1) da 300 mg/kg sınır değerinin altında yer almaktadır.

Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde sınır değer verilmeyen kobalt ve mangan miktarları; kobalt için 31,7 ile 39,5 mg/kg kuru toprak değerleri arasında, mangan içinse 779 ile 867 mg/kg kuru toprak değerleri arasında değişmektedir.

Güney batı yönünden alınan tüm toprak örneklerinin (9 adet), nikel miktarları pH>6 topraklar için sınır değer olan 75 mg/kg kuru toprak değerinden yüksek çıkmıştır (156-200). Aynı şekilde toprak örneklerinin krom içerikleri de (190-262) sınır değer olarak belirtilen 100 mg/kg kuru toprak değerinden yüksek olarak belirlenmiştir.

Çizelge 5.9. Santralin kuzeyinden (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey 1 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	30,6	26,4	25,5	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,45	2,11	2,04	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	246	245	238	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	33,1	31,2	29,3	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	229	208	182	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	70,0	69,1	66,8	**300**	**70**
Co (mg/kg)	42,1	42,0	41,0	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	932	930	913	**-**	**800**

Çizelge 5.10. Santralin kuzeyinden (5 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey 5 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	30,5	26,4	25,0	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	1,69	1,38	1,16	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	237	236	235	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	30,9	30,5	30,4	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	208	197	195	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	66,9	66,5	65,0	**300**	**70**
Co (mg/kg)	41,6	41,4	40,4	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	898	883	879	**-**	**800**

Çizelge 5.11. Santralin kuzeyinden (10 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	10 km				
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	17,3	13,4	13,3	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	1,39	1,38	1,36	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	235	234	229	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	30,9	30,7	30,3	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	218	195	176	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	58,0	57,5	56,5	**300**	**70**
Co (mg/kg)	40,6	40,4	38,1	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	752	720	704	**-**	**800**

Çizelge 5.12. Santralin kuzeyinden (1, 5, 10 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Kuzey			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	Ortalama				
	1 km	5 km	10 km		
Pb (mg/kg)	27,5	27,3	14,7	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,20	1,41	1,37	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	243	236	233	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	31,2	30,6	30,6	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	206	200	196	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	68,6	66,1	57,3	**300**	**70**
Co (mg/kg)	41,7	41,1	39,7	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	925	887	725	**-**	**800**

Çizelge 5.13. Santralin güney doğusundan (1 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Doğu 1 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	31,4	31,3	30,3	300	15
Cd (mg/kg)	2,51	2,18	2,15	3	0,10
Cr (mg/kg)	243	235	233	100	80
Cu (mg/kg)	32,9	31,8	31,6	140	35
Ni (mg/kg)	213	189	183	75	45
Zn (mg/kg)	71,8	67,9	67,0	300	70
Co (mg/kg)	41,9	41,7	40,4	-	18
Mn (mg/kg)	895	865	863	-	800

Çizelge 5.14. Santralin güney doğusundan (5 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Doğu 5 km			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	27,1	22,4	22,0	300	15
Cd (mg/kg)	2,17	1,80	1,76	3	0,10
Cr (mg/kg)	232	230	225	100	80
Cu (mg/kg)	32,1	31,9	31,3	140	35
Ni (mg/kg)	203	202	176	75	45
Zn (mg/kg)	68,7	68,2	66,9	300	70
Co (mg/kg)	39,1	35,9	32,3	-	18
Mn (mg/kg)	883	862	857	-	800

Çizelge 5.15. Santralin güney doğusundan (10 km) alınan toprak örneklerinin ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Doğu			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	10 km				
	0-5 cm	5-10 cm	15-25 cm		
Pb (mg/kg)	22,2	17,1	16,5	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	1,78	1,03	0,99	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	237	228	220	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	32,1	31,4	30,6	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	200	193	165	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	67,4	63,9	59,5	**300**	**70**
Co (mg/kg)	35,5	34,1	32,8	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	866	831	799	**-**	**800**

Çizelge 5.16. Santralin güney doğusundan (1, 5, 10 km) alınan toprak örneklerinin ortalama ağır metal içerikleri ve pH>6 topraklar için sınır değerler

Parametre	Güney Doğu			TKKY Sınır Değerler	Yer Kabuğunda Ortalama
	Ortalama				
	1 km	5 km	10 km		
Pb (mg/kg)	31,0	23,8	18,6	**300**	**15**
Cd (mg/kg)	2,28	1,91	1,27	**3**	**0,10**
Cr (mg/kg)	237	229	228	**100**	**80**
Cu (mg/kg)	32,1	31,8	31,4	**140**	**35**
Ni (mg/kg)	195	194	186	**75**	**45**
Zn (mg/kg)	68,9	67,9	63,6	**300**	**70**
Co (mg/kg)	41,3	35,8	34,1	**-**	**18**
Mn (mg/kg)	874	867	832	**-**	**800**

Afşin Elbistan termik santralinin kuzeyinden alınan toprak örneklerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde; tüm örneklerdeki kurşun miktarının Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen 300 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altında (13,3-30,6) olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum miktarları ise 1,16 ile 2,45 mg/kg arasında değişmektedir. Bu değerler de 3 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altındadır. Aynı şekilde topraklardaki bakır miktarları (29,3-33,1) 140 mg/kg sınır değerinin, çinko miktarları (56,5-70,0) da 300 mg/kg sınır değerinin altında yer almaktadır.

Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde sınır değer verilmeyen kobalt ve mangan miktarları; kobalt için 38,1 ile 42,1 mg/kg kuru toprak değerleri arasında, mangan içinse 704 ile 932 mg/kg kuru toprak değerleri arasında değişmektedir.

Kuzey yönünden alınan tüm toprak örneklerinin (9 adet), nikel miktarları pH>6 topraklar için sınır değer olan 75 mg/kg kuru toprak değerinden yüksek çıkmıştır (176-229). Aynı şekilde toprak örneklerinin krom içerikleri de (229-246) sınır değer olarak belirtilen 100 mg/kg kuru toprak değerinden yüksektir.

Afşin Elbistan termik santralinin güney doğusundan alınan toprak örneklerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde; tüm örneklerdeki kurşun miktarının Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen 300 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altında (16,5-31,4) olduğu belirlenmiştir. Kadmiyum miktarları ise 0,99 ile 2,51 mg/kg arasında değişmektedir. Bu değerler de 3 mg/kg kuru toprak sınır değerinin altındadır. Aynı şekilde topraklardaki bakır miktarları (32,9-30,6) 140 mg/kg sınır değerinin, çinko miktarları (59,5-71,8) da 300 mg/kg sınır değerinin altında yer almaktadır.

Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde sınır değer verilmeyen kobalt ve mangan miktarları; kobalt için 32,3 ile 41,9 mg/kg kuru toprak değerleri arasında, mangan içinse 799 ile 895 mg/kg kuru toprak değerleri arasında değişmektedir.

Güney doğu yönünden alınan tüm toprak örneklerinin (9 adet), nikel miktarları pH>6 topraklar için sınır değer olan 75 mg/kg kuru toprak değerinden yüksek çıkmıştır (165-213). Aynı şekilde toprak örneklerinin krom içerikleri de (220-243) sınır değer olarak belirtilen 100 mg/kg kuru toprak değerinden yüksek olarak belirlenmiştir.

Toprak bünyesi, dinamik olup son derece yüksek tamponlama gücüne sahip bir sistemdir. Yani toprağa giren bir kirletici koloidal yüzeyler adı verilen kuvvetler tarafından çok sıkı bir şekilde tutulmaktadır. Böylece zararlının etkisi ve sistemin tepkisi çok uzun bir süreç içinde ortaya çıkmakta ve hatta bazen herhangi bir etki görülmemektedir. (Türkoğlu, 2006). Kayaçlarda ve kirlenmemiş toprak örneklerinde mikro elementlerin ve potansiyel toksik elementlerin ortalama içerikleri Çizelge 5.17'de gösterilmiştir. Tablonun tamamı Ek 1'de verilmiştir.

Çizelge 5.17. Kayaçlarda ve kirlenmemiş toprak örneklerinde mikro elementlerin ve potansiyel toksik elementlerin ortalama içerikleri (mg/kg) (Schachtschabel ve ark., 1989)

	Pb (mg/kg)	**Cd (mg/kg)**	**Cr (mg/kg)**	**Cu (mg/kg)**	**Ni (mg/kg)**	**Zn (mg/kg)**	**Co (mg/kg)**	**Mn (mg/kg)**
Yer kabuğunda	15	0,10	80	35	45	70	18	800
Ultra bazik kayaçlarda	1	0,05	1600	10	2000	50	150	1600
Bazalt/ Gabro	4	0,10	170	90	130	100	50	1400
Gnays/ Mika	16	0,10	75	25	25	65	13	600
Granit	32	0,09	12	13	7	50	4	325
Kil taşı	22	0,13	90	45	70	95	20	850
Kum taşı	7	0,05	35	5	2	15	0,3	50
Kireç taşı	5	0,16	11	4	15	25	2	700
Lös	30	-	-	11	13	40	8	300
Marn	20	0,30	35	15	18	40	7	400

1975 ile 2009 yılları arasındaki meteorolojik veriler kullanılarak (www.dmi.gov.tr) elde edilen rüzgar güllerine göre, hakim rüzgar GGB (Güney-Güney batı) ile KKB (Kuzey-Kuzey batı) yönlerinden esmektedir (Ek 2). Termik santral çevresinden 4 yönden alınan topraklarda üç katmanda belirlenen ağır metallerin ortalama değerleri hesaplanmış ve bu ortalama değerler kullanılarak gauss dağılım grafikleri oluşturulmuştur (Ek 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ve 10).

Santral çevresinden alınan yer altı sularının analiz sonuçları ile YAS 1,YAS 2 ve YAS 3 için sınır değerler Çizelge 5.18'de ve Çizelge 5.19'da verilmiştir.

Çizelge 5.18. Santral çevresinden alınan yer altı sularının ağır metal analizleri ile YAS 1,YAS 2 ve YAS 3 için sınır değerler (µg/l)

Parametre	Örnek adı			SKKY Sınır Değerler		
	Kışlaköy	Gidya	Çaykuyu	YAS 1	YAS 2	YAS 3
Pb (µg/l)	-	-	-	10	20	50
Cd (µg/l)	1,89	1,95	1,30	3	5	10
Cr (µg/l)	4,72	4,88	3,25	20	50	200
Cu (µg/l)	2,62	2,71	-	20	50	200
Ni (µg/l)	11,8	24,4	8,12	20	50	200
Zn (µg/l)	2,52	123,6	1,30	200	500	2000
Co (µg/l)	-	8,13	-	10	20	200
Mn (µg/l)	-	3,90	-	100	500	3000

Çizelge 5.19. Santral çevresinden alınan yer altı sularının ağır metal analizleri ile YAS 1,YAS 2 ve YAS 3 için sınır değerler (µg/l)

Parametre	Örnek adı			SKKY Sınır Değerler		
	Dışdöküm	Orman	İşletme	YAS 1	YAS 2	YAS 3
Pb (µg/l)	8,33	-	-	10	20	50
Cd (µg/l)	1,33	1,64	0,51	3	5	10
Cr (µg/l)	3,33	5,48	2,56	20	50	200
Cu (µg/l)	1,85	3,04	1,42	20	50	200
Ni (µg/l)	8,33	13,7	6,41	20	50	200
Zn (µg/l)	1,33	2,56	6,84	200	500	2000
Co (µg/l)	5,56	4,57	-	10	20	200
Mn (µg/l)	14,67	1,10	-	100	500	3000

Santral yakın çevresindeki 6 adet kuyudan alınan su örneklerinin analizleri TS EN ISO 15586 Ocak 2004 "Su kalitesi – Grafit Fırınlı Atomik Absorbsiyon Spektrometresi kullanılarak eser elementlerin tayini" standardına göre yapılmıştır. Bulunan sonuçlar, 31.12.2004 tarih ve 25687 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği ile değişik 13.02.2008 tarih ve 26786 sayılı yönetmelik Tablo 1 "Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri" değerlerine göre sınıflandırılmıştır.

Santral çevresindeki yer altı sularının ağır metal içerikleri incelendiğinde; sadece dış döküm sahası civarında yer alan 50 metre derinliğindeki yer altı sularında 8,33 µg/l kurşun belirlenmiştir. Diğer kuyulardaki yer altı sularında kurşun belirlenmemiştir. Birinci sınıf yer altı sularında kurşun için verilen sınır değer ise 10 µg/litredir. Tüm su örneklerindeki kadmiyum oranları, YAS1 sınır değeri olan 3 µg/litreden düşük bulunmuştur. Aynı şekilde su örneklerinin krom ve bakır içerikleri de YAS1 sınır değerlerinin çok altında seyretmektedir.

Yer altı su örneklerinin nikel içerikleri incelendiğinde; gidya kuyularından alınan su örneklerinde 24,4 µg/l oranında nikel bulunduğu belirlenmiştir. Bu değer YAS1 sınıf sular için verilen 20 µg/litre değerinden yüksektir. Çinko miktarları tüm kuyularda 200 µg/litreden oldukça düşük bulunmuştur. Gidya kuyularında bir miktar yükseliş söz konusu olsa da (123,6 µg/l) yine de sınır değer aşılmamıştır. Kobalt içerikleri incelendiğinde YAS1 sınıf sular için belirtilen 10 µg/l oranının aşılmadığı anlaşılmıştır. Aynı şekilde mangan miktarları sınır değer olarak verilen 100 µg/litrenin oldukça altında seyretmiştir.

5.2. Termik Santrallerden Alınan Uçucu Küllere Ait Analiz Sonuçları

8 farklı termik santralden alınan uçucu kül örneklerinde; toprak ve su kirliliğine neden olabilecek 8 çeşit ağır metalin belirlenmesi amacıyla AAS, FAAS ve ICP-OES cihazlarıyla Ağır metal analizleri, küllerin tüm kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla XRF analizleri, küllerin hangi minerallerden oluştuğunun belirlenmesi için XRD analizleri ve küllerin elektron mikroskobu ile büyütülmüş resimlerinin incelenmesi için SEM analizleri yapılmıştır.

5.2.1. Uçucu Küllerin Ağır Metal Analizleri (AAS, FAAS, ICP-OES)

Termik Santrallerden alınan uçucu kül örnekleri içerdikleri ağır metal miktarlarının belirlenebilmesi için, TS 12088 Ekim 1996 "Katı Atıklar-Ağır Metal Tayini-Atomik Absorbsiyon Metot" standardına uygun olarak analiz edilmiştir.

Uçucu kül örnekleri etüvde kurutulduktan sonra 1-2 g tartım alınmış, üzerlerine 1/1'lik HNO_3 eklenerek ısıtılmıştır. 5 ml derişik nitrik asit ilavesinden sonra çözünme tamamlanıncaya kadar beklenmiştir. Çözelti hacmi 5 ml oluncaya kadar buharlaştırılıp, 2 ml saf su+3 ml H_2O_2 ilave edilmiştir. Peroksit reaksiyonu bitinceye kadar ekleme ve ısıtma işlemlerine devam edilmiştir. Grafit fırınlı AAS'de analiz edilecek örnekler çözelti hacmi yarıya düşene kadar buharlaştırılmış, soğutulmuş ve 100 ml'ye tamamlanmıştır. Toplam 8 farklı termik santralden (Afşin Elbistan, Su gözü, Yatağan, Soma, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalağzı ve Çan) alınan uçucu küllerin ve Afşin Elbistan termik santrali taban külünün ağır metal içerikleri mg/kg kuru kül olarak Çizelge 5.20'de ve Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.20. Termik Santrallerden alınan uçucu küllerin ve Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünün ağır metal (Pb, Cd, Cr ve Cu) içerikleri

Termik Santral	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)
Afşin Elbistan	65,7	4,93	290,7	37,1
Su Gözü	32,9	1,98	69,1	30,8
Yatağan	48,2	3,86	82,0	64,8
Soma	49,9	2,00	64,9	45,4
Seyitömer	49,8	2,01	417,5	99,4
Tunçbilek	16,4	1,95	296,7	34,8
Çatalağzı	16,3	1,96	39,6	28,5
Çan	33,3	3,02	29,4	58,9
Afşin taban külü	43,2	3,45	226,4	39,4
TKKY Sınır Değerler	**300**	**3**	**100**	**140**

Çizelge 5.21. Termik Santrallerden alınan uçucu küllerin ve Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünün ağır metal (Ni, Zn, Co ve Mn) içerikleri

Termik Santral	Ni (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)
Afşin Elb.	119,8	211,6	69,9	187,2
Su Gözü	49,0	219,7	39,2	269,7
Yatağan	98,6	488,8	49,3	320,3
Soma	69,5	405,1	39,7	186,2
Seyitömer	1292,3	524,9	89,5	546,7
Tunçbilek	515,0	262,2	46,8	690,6
Çatalağzı	70,7	131,5	29,9	273,9
Çan	49,5	404,1	58,9	784,7
Afşintaban	128,0	181,2	59,1	160,0
TKKY Sınır Değerler	**75**	**300**	**-**	**-**

Ağır metal (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn) analizleri; Alevli Atomik Absorbsiyon Spektrometresi, Grafit Fırınlı AAS ve ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) cihazı ile yapılan ölçümler ile belirlenmiştir. Üç cihazla da belirlenen ağır metal miktarları birbirine çok yakın değerlerde bulunmuştur. Bu nedenle, elde edilen üç ölçümün ortalaması alınmıştır.

5.2.2. Uçucu Küllerin XRF Analizleri

Uçucu küllerden 7 tanesinin XRF analizleri, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde Philips PW-2404 model ve dalga boyu dağılımlı XRF cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Çanakkale Çan Termik santrali uçucu külü ile Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünün analizleri ise bölümümüze yeni alınan PANalytical MiniPal 4 model XRF cihazı kullanılarak; Oksijen ve Uranyum arasındaki tüm elementler açısından analiz edilmiştir. Termik Santrallerden alınan uçucu kül örneklerinin ve Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünün XRF analiz sonuçları Çizelge 5.22 ile 5.30 arasındaki çizelgelerde topluca verilmiştir.

Çizelge 5.22. AfşinElbistan Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**V_2O_5**
Kül 1	0,065	2,013	5,219	9,396	0,378	21,172	0,351	56,672	0,366	0,602

RMS: 0,050	Sum before normalization: %94,1	Calibrated Concentration (%)							
Örnek Adı	**MnO_2**	**Fe_2O_3**	**NiO**	**ZnO**	**As_2O_3**	**Br**	**Rb**	**SrO**	**Y_2O_3**	**BaO**
Kül 1	0,034	3,572	0,017	0,009	0,004	0,005	0,002	0,056	0,048	0,062

Çizelge 5.23. Su gözü Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Cr_2O_3**
Kül 2	0,414	2,528	27,839	49,742	1,174	1,226	1,502	8,666	1,347	0,032

RMS: 0,009	Sum before normalization: %90,7	Calibrated Concentration (%)							
Örnek Adı	**MnO_2**	**Fe_2O_3**	**CoO**	**NiO**	**CuO**	**ZnO**	**Rb**	**SrO**	**BaO**	**PbO**
Kül 2	0,077	4,894	0,005	0,016	0,014	0,018	0,007	0,155	0,213	0,005

Çizelge 5.24. Yatağan Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Cr_2O_3**
Kül 3	0,296	3,082	24,130	43,294	0,198	4,055	2,617	14,901	0,862	0,021

RMS: 0,005	Sum before normalization: %98,5	Calibrated Concentration (%)							
Örnek Adı	**MnO_2**	**Fe_2O_3**	**NiO**	**CuO**	**ZnO**	**As_2O_3**	**Rb**	**SrO**	**ZrO_2**	**BaO**
Kül 3	0,059	6,240	0,016	0,013	0,023	0,019	0,016	0,032	0,022	0,213

Çizelge 5.25. Soma Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Cr_2O_3**
Kül 4	0,346	1,897	25,174	44,441	0,255	5,640	1,368	16,292	0,804	0,019

RMS: 0,002 Sum before normalization: %99,7 Calibrated Concentration (%)										
Örnek Adı	**MnO_2**	**Fe_2O_3**	**NiO**	**CuO**	**ZnO**	**As_2O_3**	**Rb**	**SrO**	**BaO**	**PbO**
Kül 4	0,031	3,401	0,013	0,016	0,019	0,020	0,012	0,043	0,139	0,010

Çizelge 5.26. Seyitömer Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Cr_2O_3**
Kül 5	0,298	6,432	21,104	50,901	0,117	1,867	2,241	4,484	0,819	0,115

RMS: 0,004 Sum before normalization: %103,0 Calibrated Concentration (%)										
Örnek Adı	**MnO_2**	**Fe_2O_3**	**CoO**	**NiO**	**CuO**	**ZnO**	**As_2O_3**	**SrO**	**BaO**	**PbO**
Kül 5	0,113	11,019	0,014	0,215	0,016	0,024	0,014	0,022	0,136	0,006

Çizelge 5.27. Tunçbilek Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Cr_2O_3**
Kül 6	0,132	5,382	22,251	56,323	0,365	0,871	1,738	2,047	0,857	0,135

RMS: 0,005 Sum before normalization: %101,8 Calibrated Concentration (%)										
Örnek Adı	**MnO_2**	**Fe_2O_3**	**CoO**	**NiO**	**CuO**	**ZnO**	**As_2O_3**	**SrO**	**BaO**	**PbO**
Kül 6	0,191	9,251	0,013	0,190	0,015	0,023	0,023	0,043	0,074	0,008

Çizelge 5.28. Çatalağzı Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**P_2O_5**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Cr_2O_3**
Kül 7	0,300	2,591	26,326	51,258	0,138	0,972	3,915	7,057	1,115	0,036

RMS: 0,003 Sum before normalization: %97,6 Calibrated Concentration (%)										
Örnek Adı	**MnO_2**	**Fe_2O_3**	**NiO**	**CuO**	**ZnO**	**As_2O_3**	**Rb**	**SrO**	**BaO**	**PbO**
Kül 7	0,089	5,904	0,017	0,013	0,015	0,002	0,022	0,035	0,112	0,009

Çizelge 5.29. Çan Termik Santrali uçucu küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler										
Örnek Adı	**Na_2O**	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**V_2O_5**	**Cr_2O_3**
Kül 8	0,60	0,39	20,0	40,6	13,3	0,30	11,59	0,931	0,12	0,012

Örnek Adı	**MnO**	**Fe_2O_3**	**Co_3O_4**	**CuO**	**ZnO**	**As_2O_3**	**SrO**	**CdO**	**HgO**	**PbO**
Kül 8	0,111	11,358	0,108	0,029	0,025	0,093	0,13	0,14	0,026	0,088

Çizelge 5.30. Afşin Elbistan Termik Santrali taban küllerine ait XRF analiz sonuçları

Elementler									
Örnek Adı	**MgO**	**Al_2O_3**	**SiO_2**	**SO_3**	**K_2O**	**CaO**	**TiO_2**	**Cr_2O_3**	**MnO**	**Fe_2O_3**
Kül 9	0,65	6,32	13,8	8,59	0,31	61,35	0,734	0,083	0,062	6,32

Örnek Adı	**Co_3O_4**	**NiO**	**CuO**	**ZnO**	**SrO**	**CdO**	**In_2O_3**	**BaO**	**HgO**	**PbO**
Kül 9	0,063	0,015	0,026	0,0096	0,19	0,25	0,81	0,18	0,049	0,037

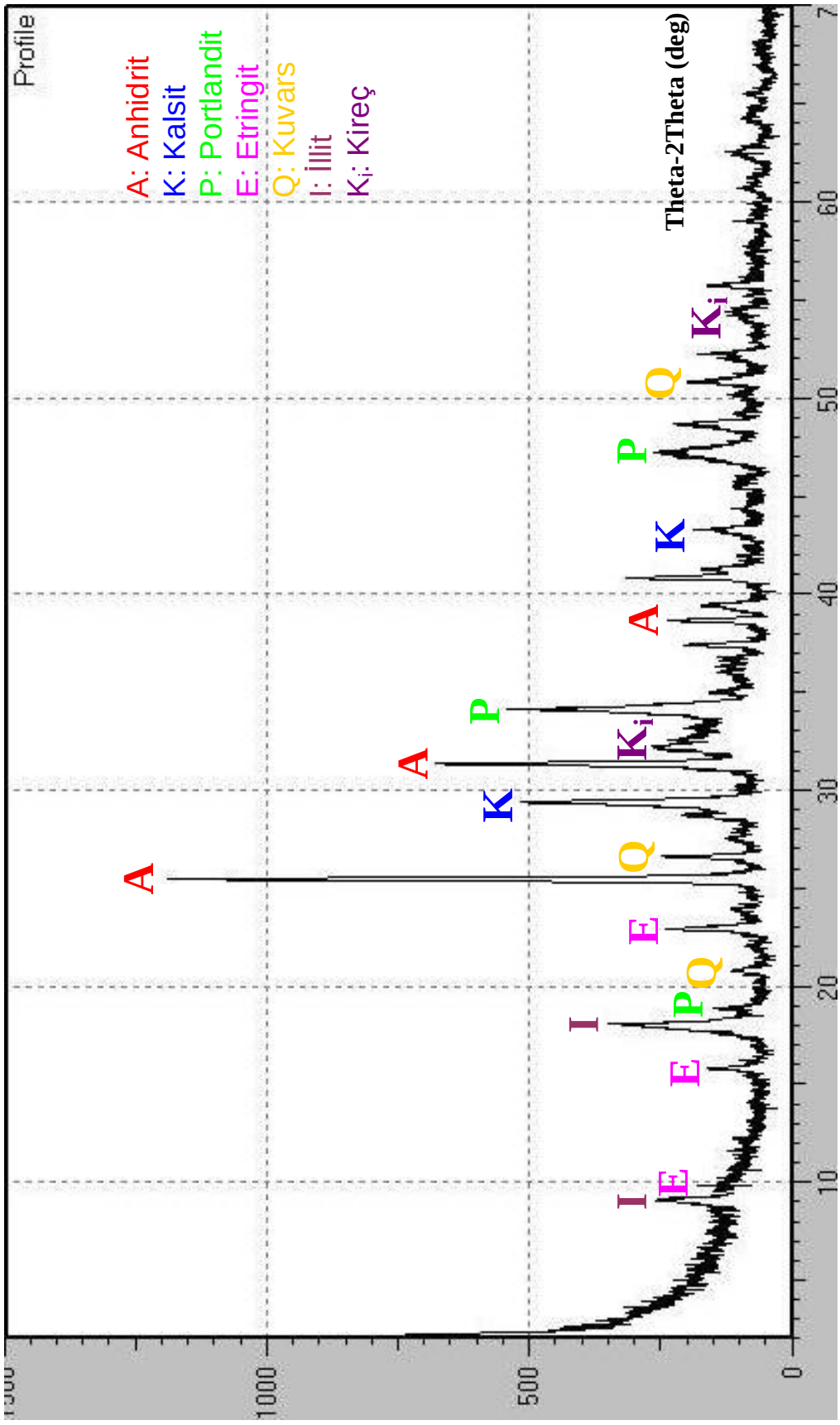
5.2.3. Uçucu Küllerin XRD Analizleri

Termik Santrallerden alınan 8 adet uçucu kül örneğinin ve 1 adet taban külünün mineralojik yapısının anlaşılması için TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezinde XRD (X-Ray Diffraction-X Işını Kırınımı) analizleri yaptırılmıştır. Yapılan XRD analizlerinden elde edilen 2 theta değerleri Uluslar arası Difraksiyon Veri Merkezinin (International Centre For Diffraction Data) JCPDS tabloları kullanılarak bunlara karşılık gelen dÅ (±0.02) değerleri ile mineral tespiti yapılmıştır.

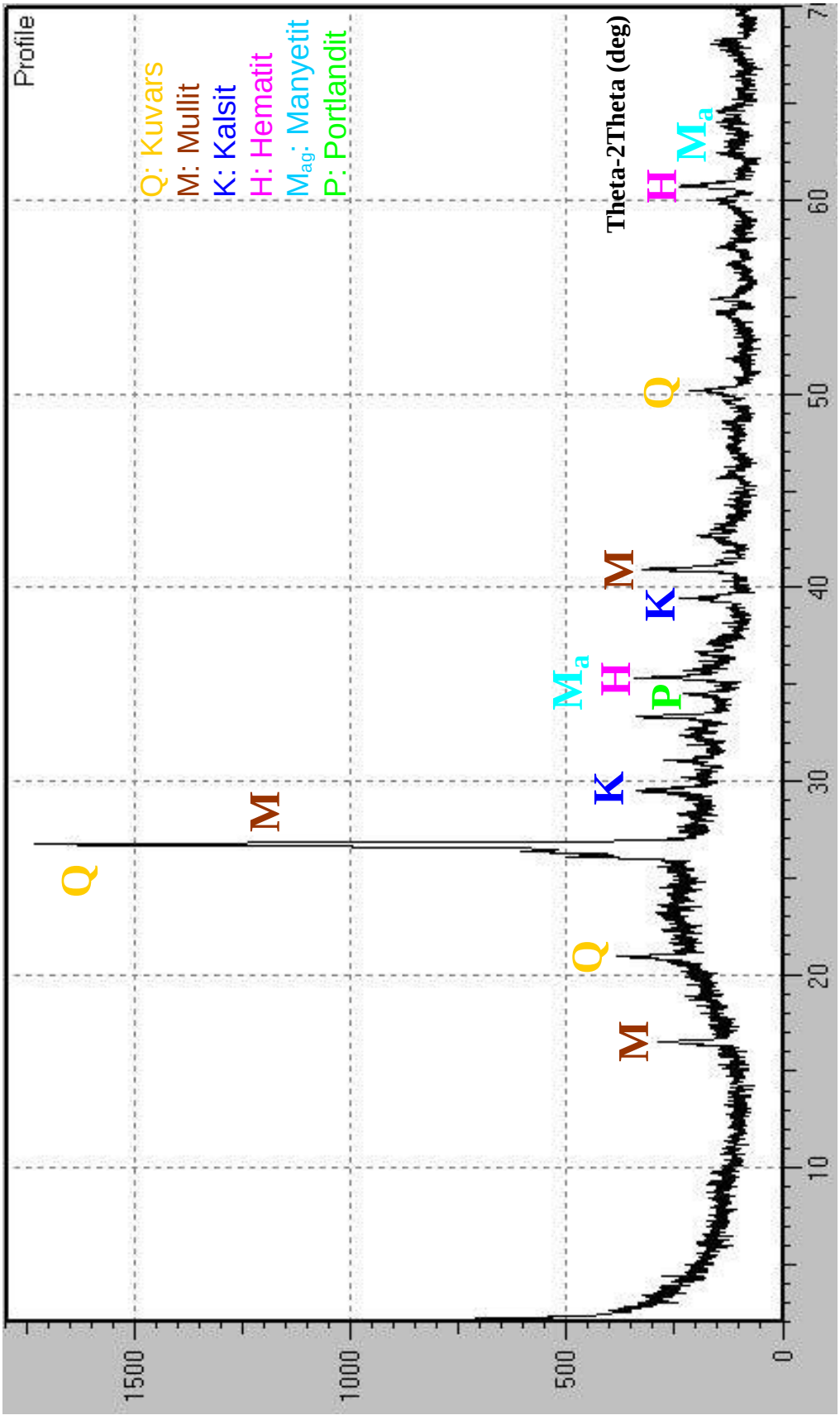
X-Ray Diffraction (XRD) spektroskopisi olarak bilinen X-Işını Difraksiyon Spektroskopisi, isminden de anlaşılacağı üzere X-ışını denilen Ultraviyole ışından daha kuvvetli fakat Gamma ışınından daha zayıf enerjili ışın kullanılarak yapılan analizi temel alır. Çalışma prensibi, örneğe X-ışınları gönderilerek kırılma ve dağılma verilerinin toplanmasıdır. XRD'yi çok kullanışlı yapan şey ise, kristal yapılardan parmak izi hassaslığında veri alınabilmesidir.

SHIMADZU marka XRD-6000 model cihaz; Bakır X ışını tüpüne sahip olup, analizlerde 1.5405 Å dalga boyuna sahip Cu-K α ışınları kullanılmaktadır. Cihaz maksimum 60 KV ve 50 mA'de çalıştırılmaktadır. Toz ve düzgün yüzeyli katı örneklerin kalitatif mineralojik veya faz analizleri ve kristal yapı tanımlaması yapılmaktadır. Kalitatif analizler, ICDD kartları ile karşılaştırma yapılarak gerçekleştirilmektedir. Her analiz için en az 10 gram numune gerekmektedir ve numune 100 mikron altına öğütülmelidir.

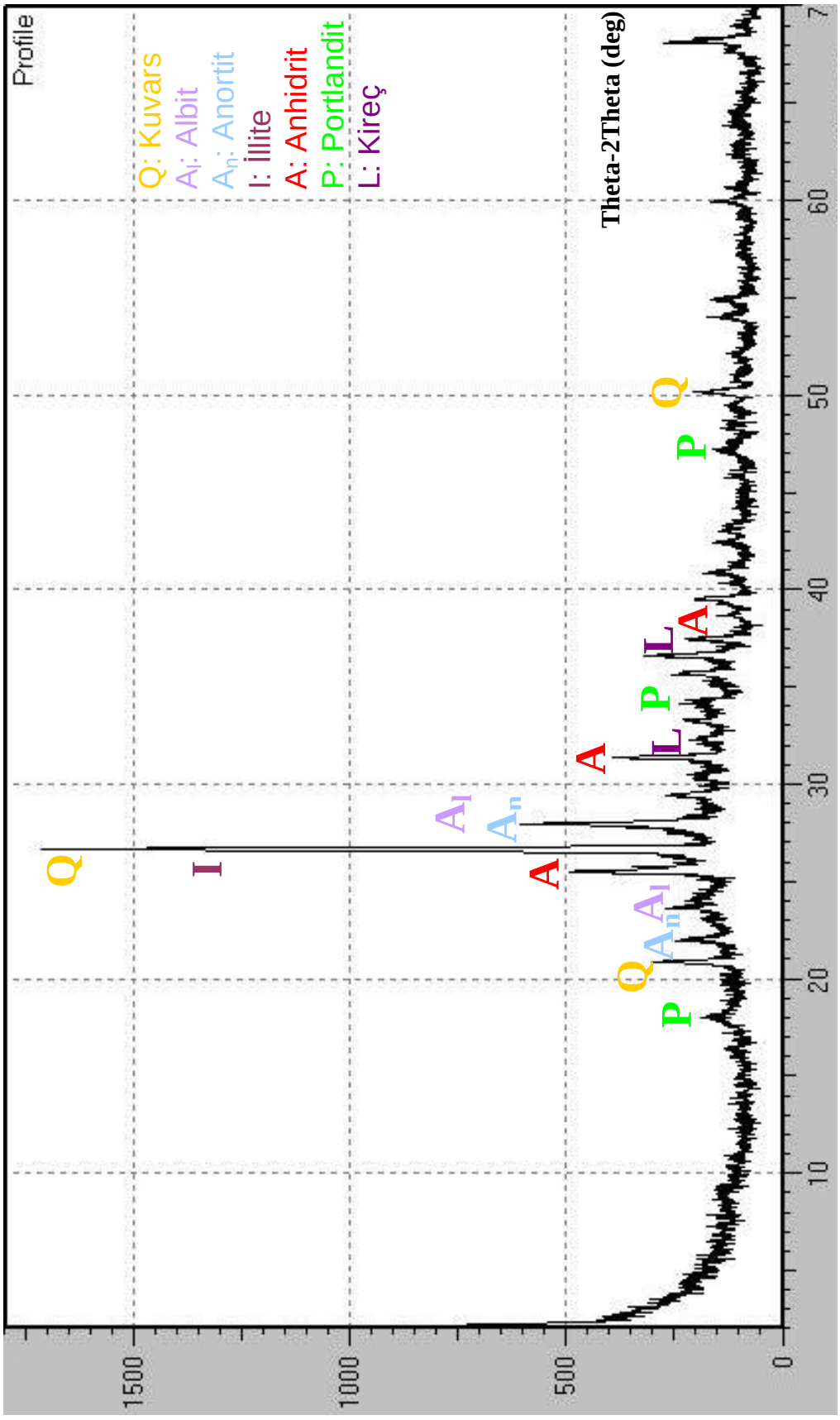
Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.1'de, Su gözü Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.2'de, Yatağan Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.3'te, Soma Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.4'te, Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.5'te, Tunçbilek Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.6'da, Çatalağzı Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.7'de, Çan Termik Santrali'nden alınan uçucu küle ait XRD grafiği Şekil 5.8'de ve AE Termik Santrali'nden alınan taban külüne ait XRD grafiği de Şekil 5.9'da verilmiştir.



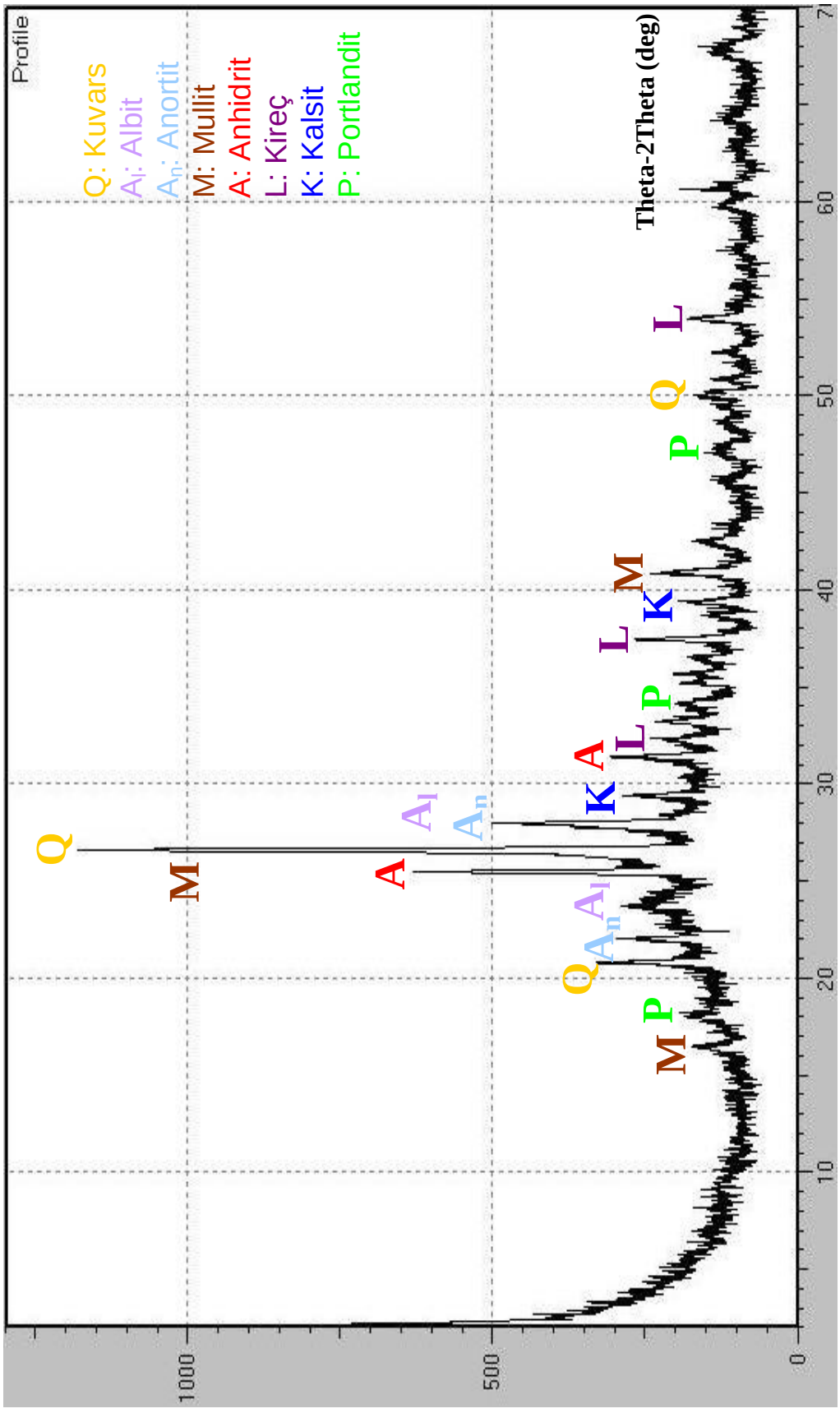
Şekil 5.1. Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



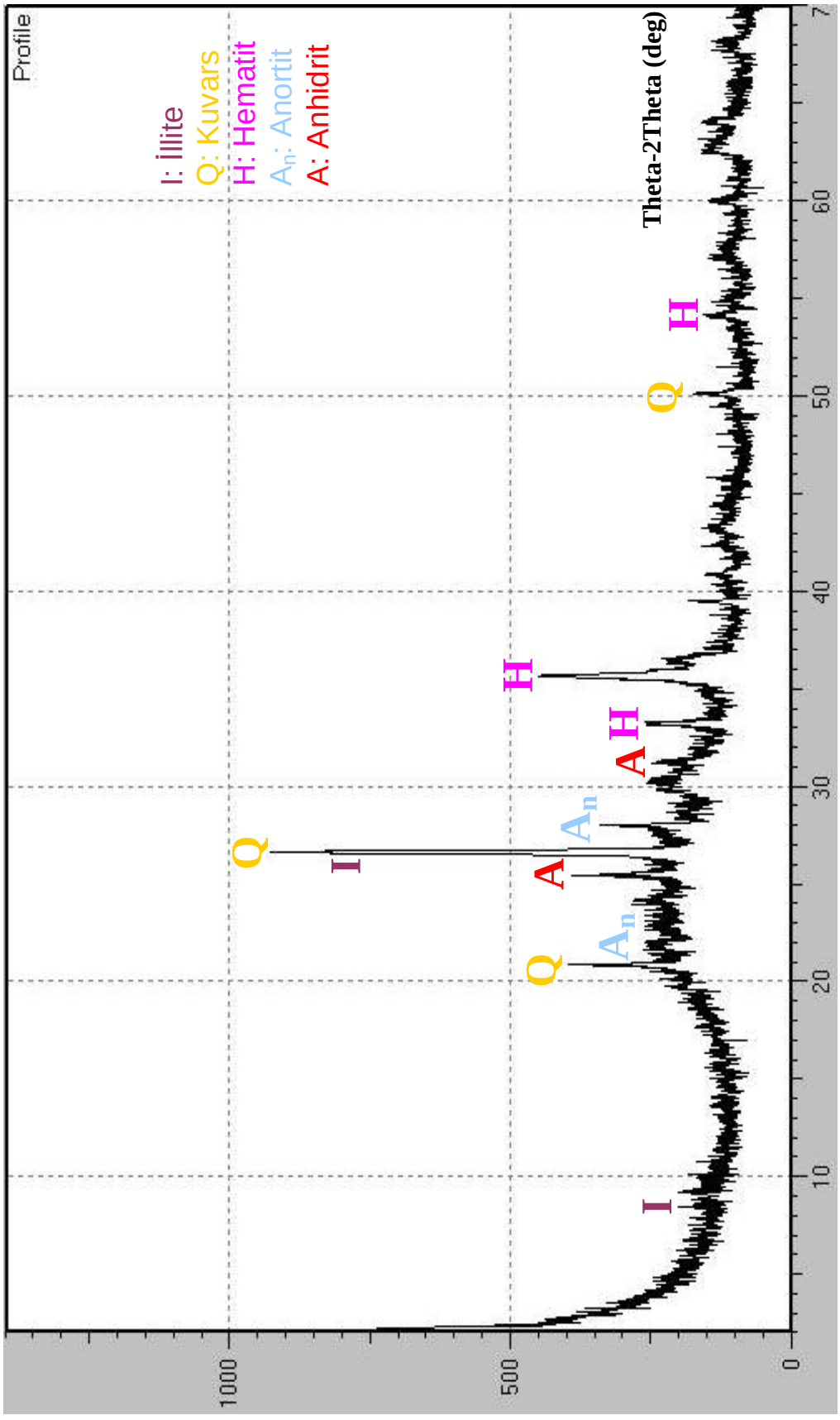
Şekil 5.2. Su Gözü Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



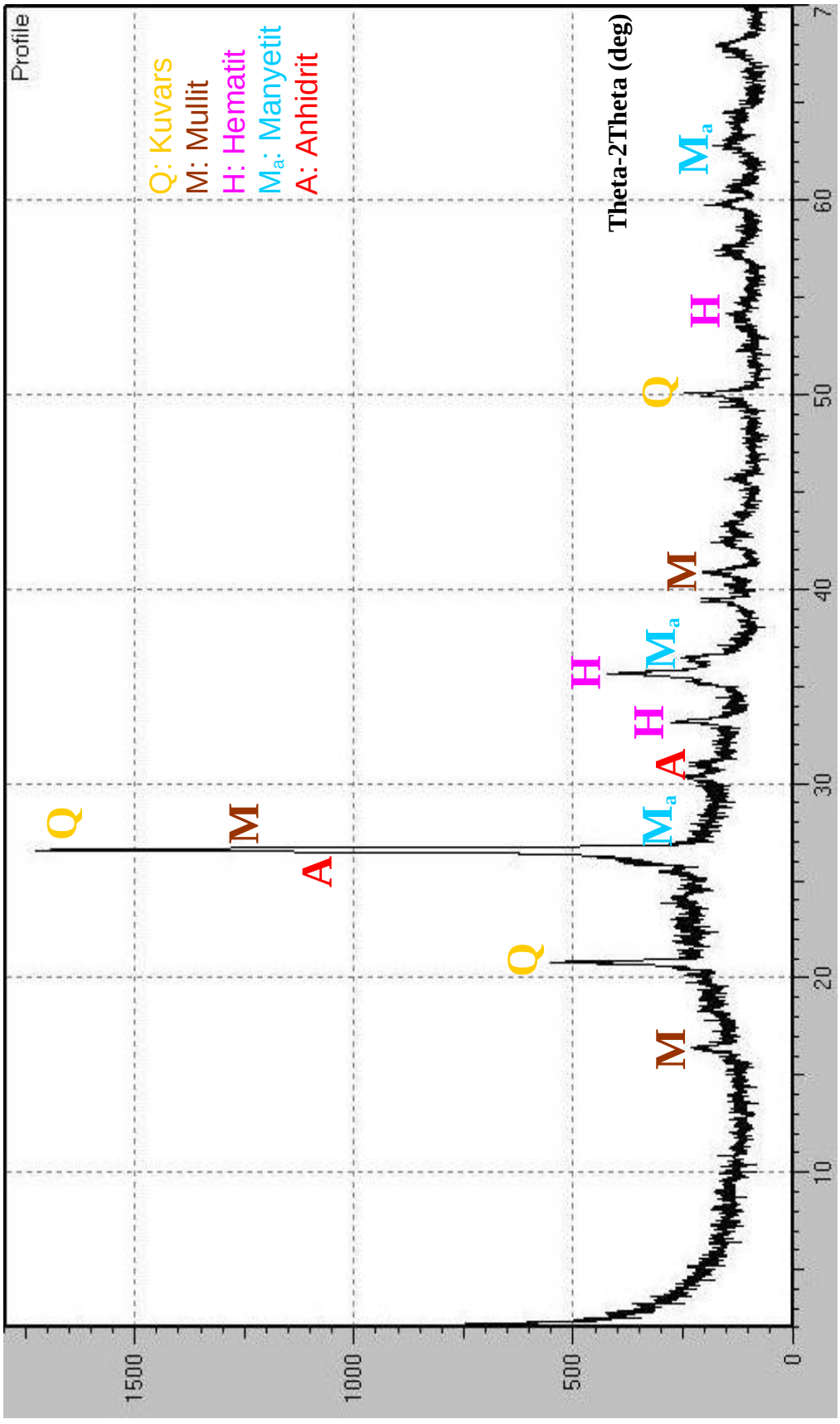
Şekil 5.3. Yatağan Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



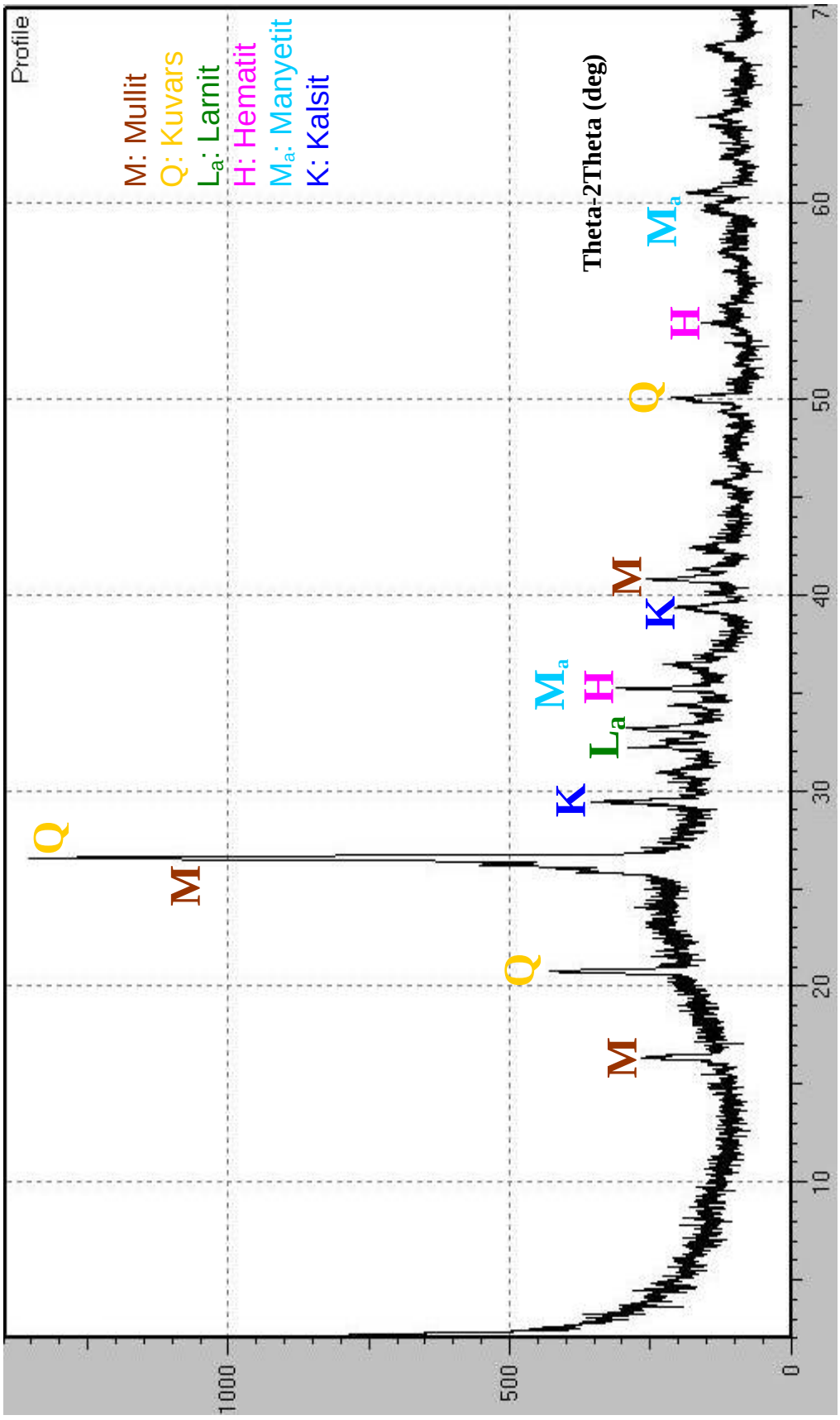
Şekil 5.4. Soma Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



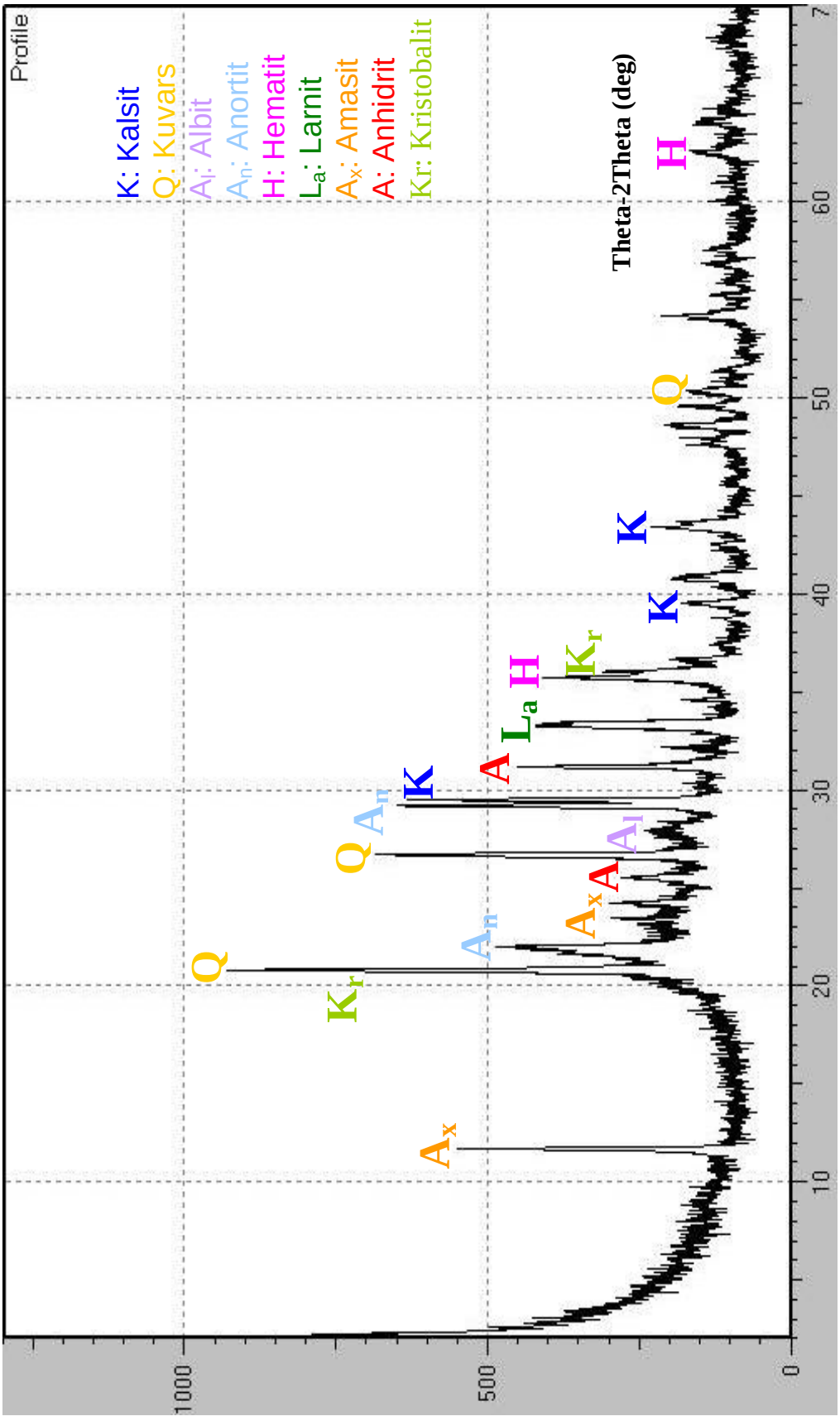
Şekil 5.5. Seyitömer Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



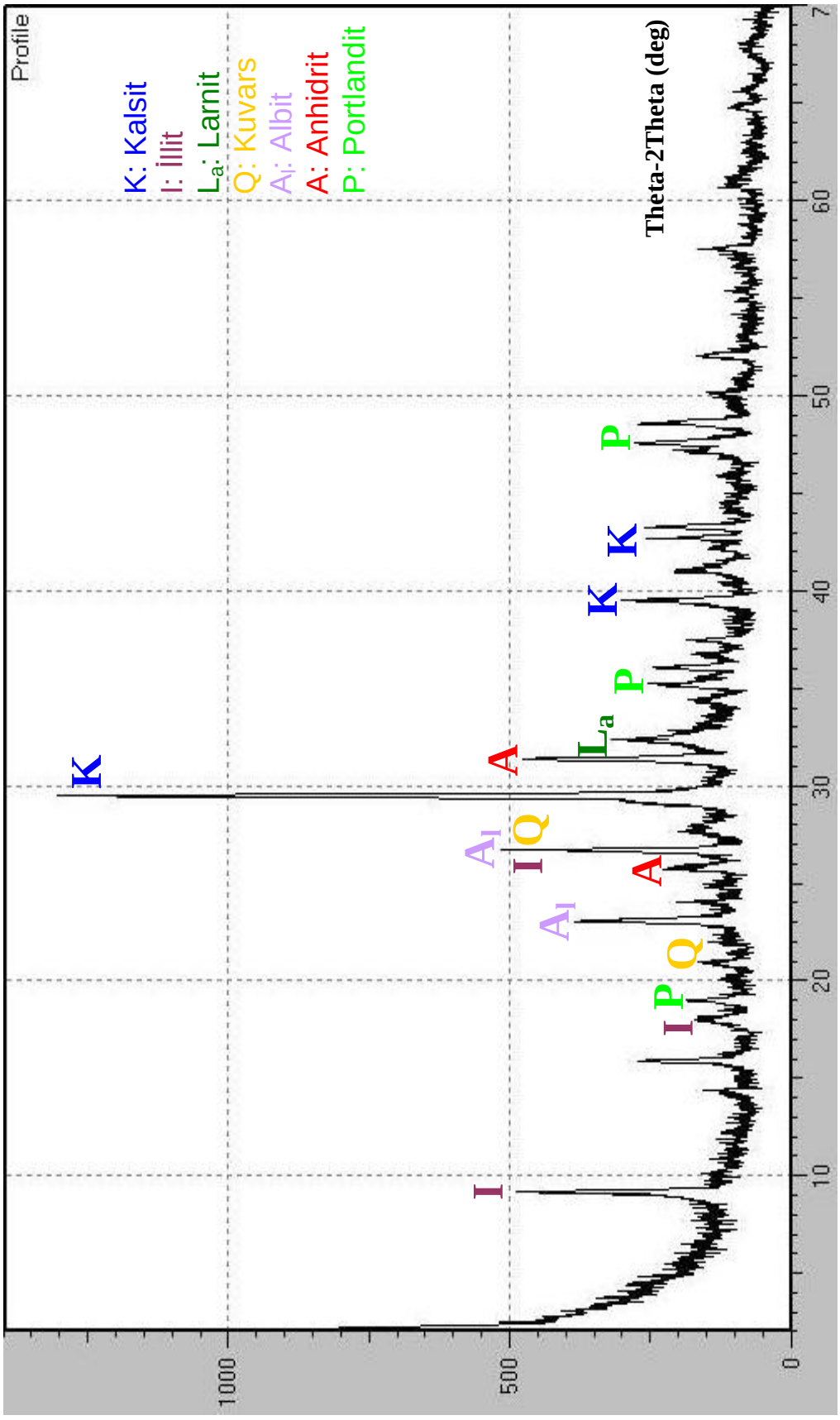
Şekil 5.6. Tunçbilek Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



Şekil 5.7. Çatalağzı Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



Şekil 5.8. Çan Termik Santrali uçucu külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller



Şekil 5.9. Afşin Elbistan Termik Santrali taban külünde yapılan XRD Analizi sonucunda belirlenen mineraller

Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde olarak dağılımı Çizelge 5.31'de, Su gözü Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.32'de verilmiştir.

Çizelge 5.31. Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Anhidrit	$CaSO_4$	A	33,5
2	Kalsit	$CaCO_3$	K	20,8
3	Portlandit	$Ca(OH)_2$	P	18,7
4	Etringit	$Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12}.26\ H_2O$	E	14,2
5	Kuvars	SiO_2	Q	5,3
6	İllit	$(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	I	4,3
7	Kireç	CaO	K_i	3,2

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Çizelge 5.32. Su gözü Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Kuvars	SiO_2	Q	40,3
2	Mullit	$Al_6Si_2O_{13}$	M	38,5
3	Kalsit	$CaCO_3$	K	7,9
4	Hematit	Fe_2O_3	H	6,6
5	Manyetit	Fe_3O_4	M_a	4,2
6	Portlandit	$Ca(OH)_2$	P	2,5

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Yatağan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.33'te, Soma Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.34'te verilmiştir.

Çizelge 5.33. Yatağan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Kuvars	SiO_2	Q	37,6
2	İllit	$(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	I	15,6
3	Feldspat (Anortit)	$CaAl_2Si_2O_8$	A_n	16,3
4	Feldspat (Albit)	$NaAlSi_3O_8$	A_l	12,6
5	Anhidrit	$CaSO_4$	A	12,6
6	Portlandit	$Ca(OH)_2$	P	2,7
7	Kireç	CaO	K_i	2,6

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Çizelge 5.34. Soma Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Kuvars	SiO_2	Q	25,3
2	Mullit	$Al_6Si_2O_{13}$	M	20,5
3	Feldspat (Anortit)	$CaAl_2Si_2O_8$	A_n	19,8
4	Feldspat (Albit)	$NaAlSi_3O_8$	A_l	11,2
5	Anhidrit	$CaSO_4$	A	13,6
6	Kireç	CaO	L	5,0
7	Kalsit	$CaCO_3$	K	2,8
8	Portlandit	$Ca(OH)_2$	P	1,8

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu küllerin içerisinde belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.35'te, Tunçbilek Termik Santrali'nden alınan uçucu küllerin içerisinde belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.36'da Çatalağzı Termik Santrali'nden alınan uçucu küllerin içerisinde belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.37'de verilmiştir.

Çizelge 5.35. Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	İllit	$(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	I	38,7
2	Kuvars	SiO_2	Q	22,5
3	Hematit	Fe_2O_3	H	19,8
4	Feldspat (Anortit)	$CaAl_2Si_2O_8$	A_n	12,9
5	Anhidrit	$CaSO_4$	A	6,1

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Çizelge 5.36. Tunçbilek Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Kuvars	SiO_2	Q	43,5
2	Mullit	$Al_6Si_2O_{13}$	M	29,4
3	Hematit	Fe_2O_3	H	14,5
4	Manyetit	Fe_3O_4	M_a	9,3
5	Anhidrit	$CaSO_4$	A	3,3

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Çizelge 5.37. Çatalağzı Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Mullit	$Al_6Si_2O_{13}$	M	46,3
2	Kuvars	SiO_2	Q	40,1
3	Larnit	Ca_2SiO_4	L_a	10,5
4	Hematit	Fe_2O_3	H	1,2
5	Manyetit	Fe_3O_4	M_a	1,1
6	Kalsit	$CaCO_3$	K	0,8

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Çan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.38'de, Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan taban külü içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı Çizelge 5.39'da verilmiştir.

Çizelge 5.38. Çan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Kalsit	$CaCO_3$	K	20,1
2	Kuvars	SiO_2	Q	17,0
3	Hematit	Fe_2O_3	H	25,3
4	Feldspat (Anortit)	$CaAl_2Si_2O_8$	A_n	10,4
5	Feldspat (Albit)	$NaAlSi_3O_8$	A_l	7,9
6	Anhidrit	$CaSO_4$	A	7,6
7	Kristobalit	SiO_2	K_r	6,5
8	Larnit	Ca_2SiO_4	L_a	4,7
9	Amesit	$Mg_4Al_2(OH)_{14}.3\ H_2O$	A_x	0,5

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

Çizelge 5.39. Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan taban külü içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

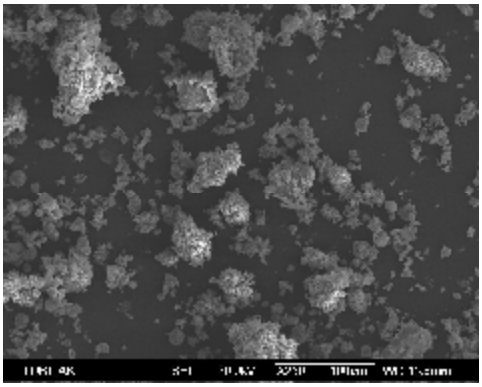
No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	Simge	% Miktarı
1	Kalsit	$CaCO_3$	K	44,9
2	Feldspat (Albit)	$NaAlSi_3O_8$	A_l	38,0
3	Larnit	Ca_2SiO_4	L_a	18,7
4	İllit	$(K,H_3O)Al_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$	I	16,0
5	Kuvars	SiO_2	Q	8,3
6	Anhidrit	$CaSO_4$	A	5,8
7	Portlandit	$Ca(OH)_2$	P	2,5

* Kristal formdaki mineral madde miktarı dağılımıdır, amorf madde hesaba katılmamıştır.

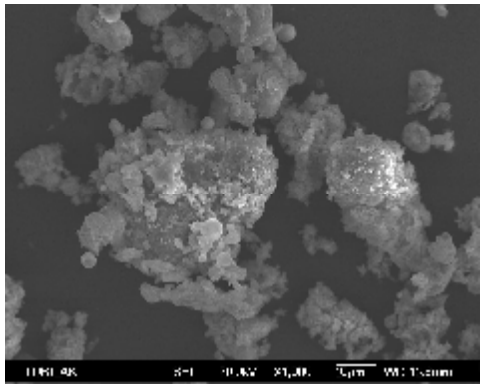
5.2.4. Uçucu Küllerin SEM Analizleri

8 farklı termik santralden alınan uçucu kül örneklerinde; JEO-JSM-6335 F SEM (Field Emission Scanning Electron Microscope-Taramalı Elektron Mikroskop) cihazı ile EDS (Electron Diffusion Spectrum-Elektron Yayma Spektrumu) yöntemi kullanılarak mikron bazında büyüklüğe sahip minerallerin elektron mikroskop resimleri çekilmiştir. SEM görüntüleri, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi'nde çekilmiştir.

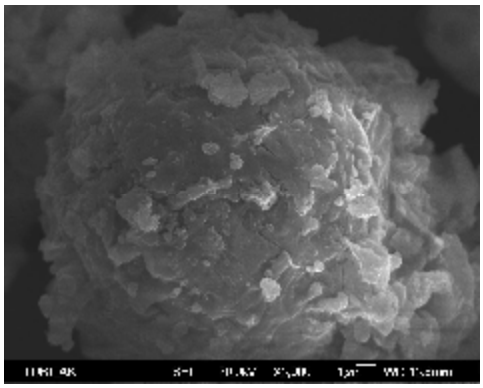
Afşin Elbistan Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.10'da, 1.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.11'de, 5.000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.12'de ve 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü ise Şekil 5.13'te verilmiştir.



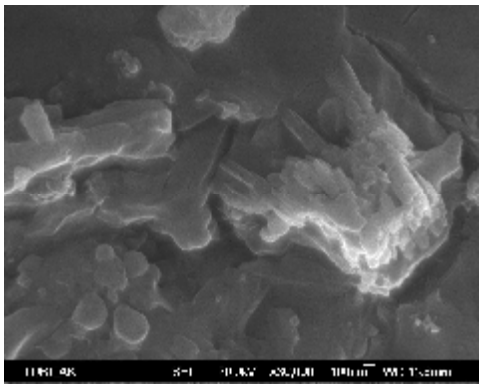
Şekil 5.10. Afşin Elbistan Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



Şekil 5.11. Afşin Elbistan Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)

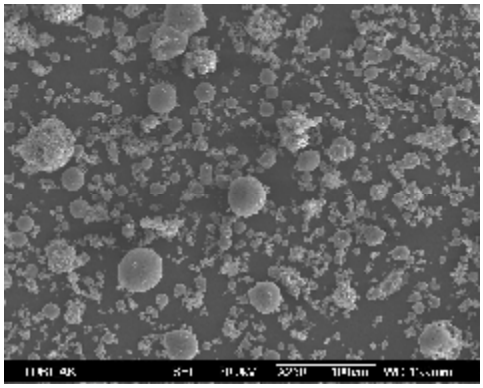


Şekil 5.12. Afşin Elbistan Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)

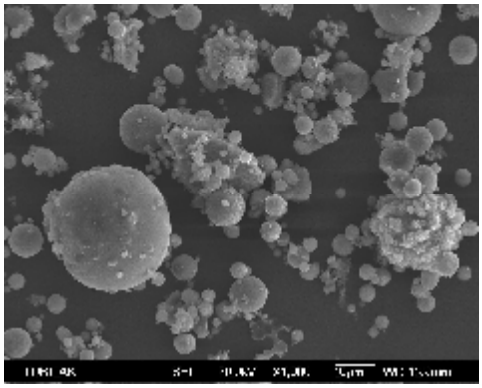


Şekil 5.13. Afşin Elbistan Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

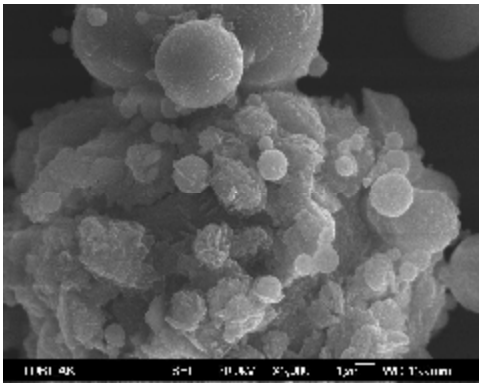
Su Gözü Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.14'te, 1.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.15'te, 5.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.16'da, 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri ise Şekil 5.17 ve 5.18'de verilmiştir.



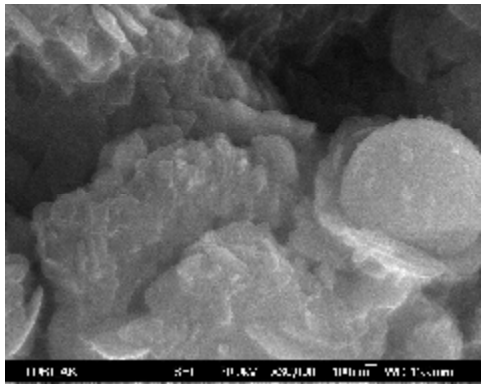
Şekil 5.14. Su Gözü TS Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



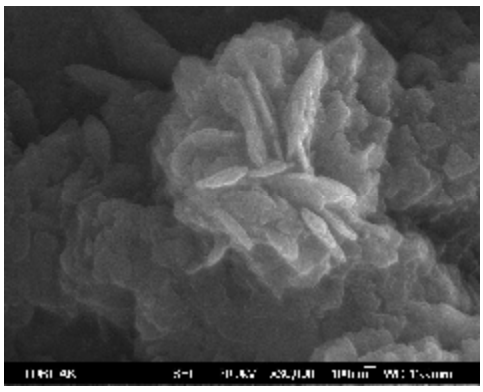
Şekil 5.15. Su Gözü TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.16. Su Gözü TS Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)

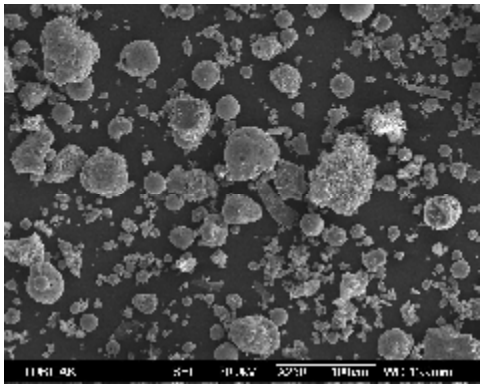


Şekil 5.17. Su Gözü TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

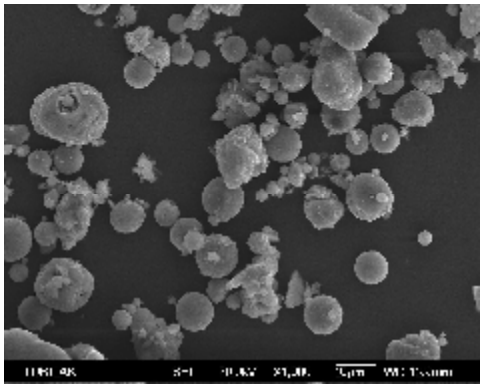


Şekil 5.18. Su Gözü TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

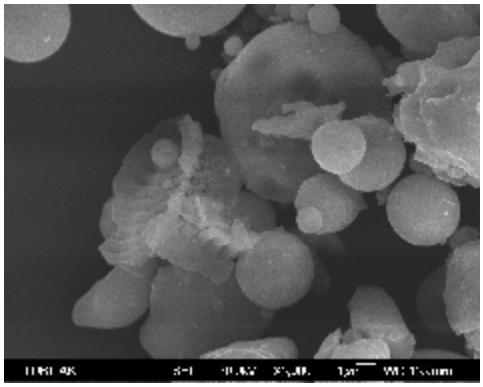
Yatağan Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.19'da,1000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.20'de,5000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.21'de, 10.000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri 5.22 ve 5.23'te, 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü ise Şekil 5.24'te verilmiştir.



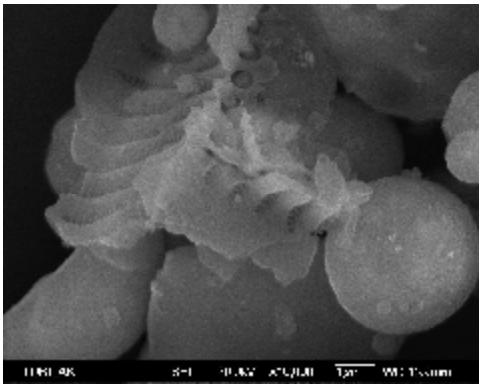
Şekil 5.19. Yatağan TS Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



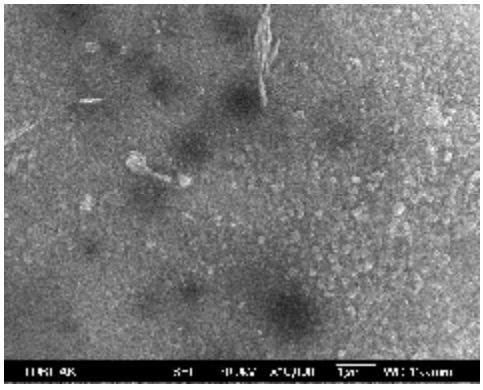
Şekil 5.20. Yatağan TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)



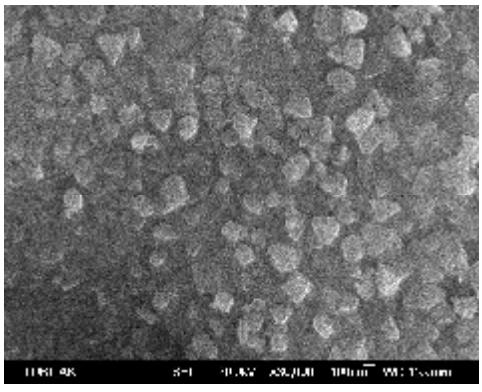
Şekil 5.21. Yatağan TS Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.22. Yatağan TS Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş)

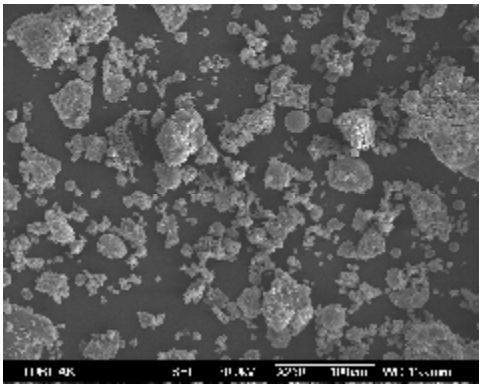


Şekil 5.23. Yatağan TS Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş)

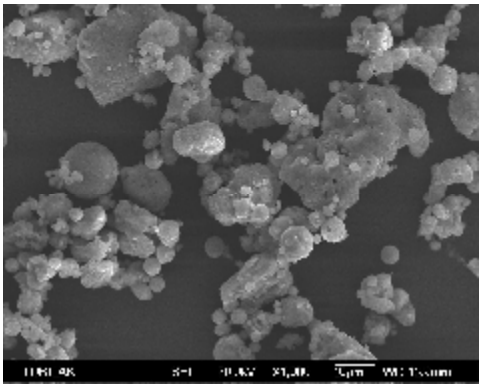


Şekil 5.24. Yatağan TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

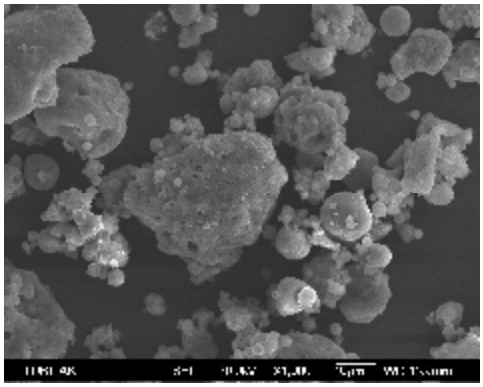
Soma Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.25'te, 1.000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.26 ve 5.27'de, 5.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.28'de, 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü ise Şekil 5.29'da verilmiştir.



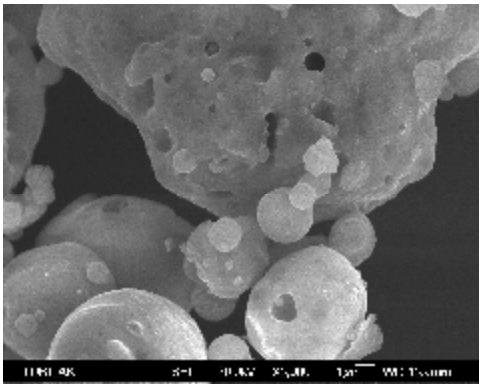
Şekil 5.25. Soma TS Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



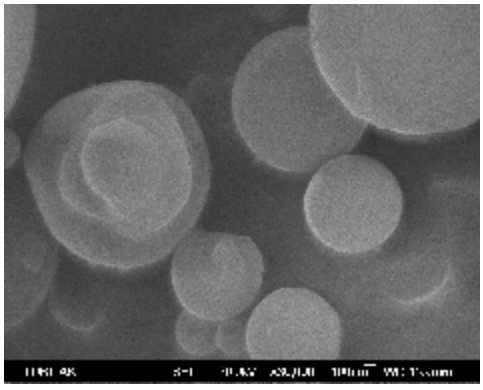
Şekil 5.26. Soma TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.27. Soma TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)

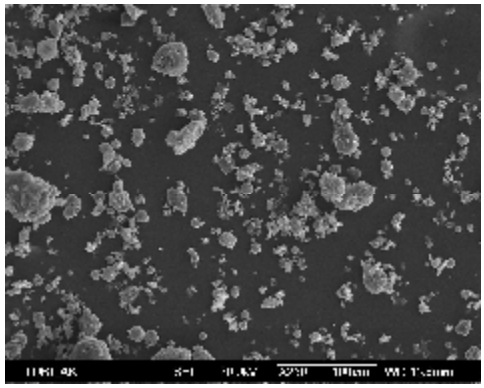


Şekil 5.28. Soma TS Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)

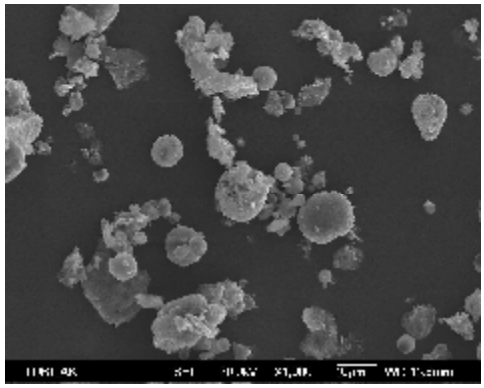


Şekil 5.29. Soma TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

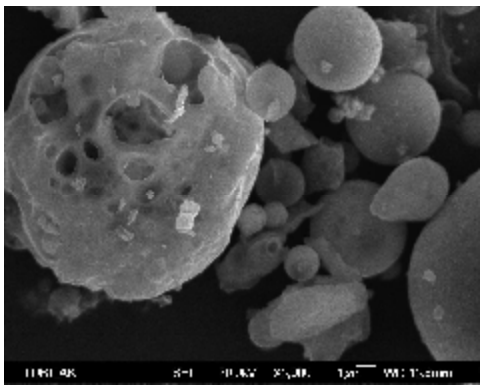
Seyitömer Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.30'da,1000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.31'de,5000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.32'de, 10.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.33'te, 30.000 kat büyütülmüş görüntüleri de Şekil 5.34 ve 5.35'te verilmiştir.



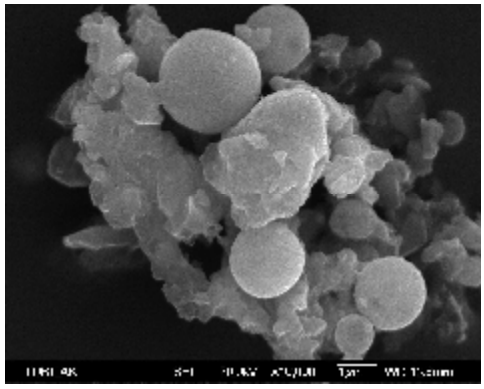
Şekil 5.30. Seyitömer TS Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



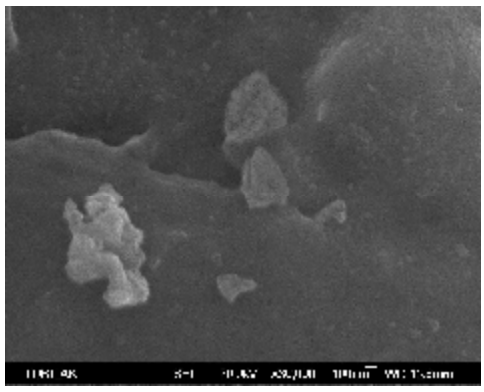
Şekil 5.31. Seyitömer TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)



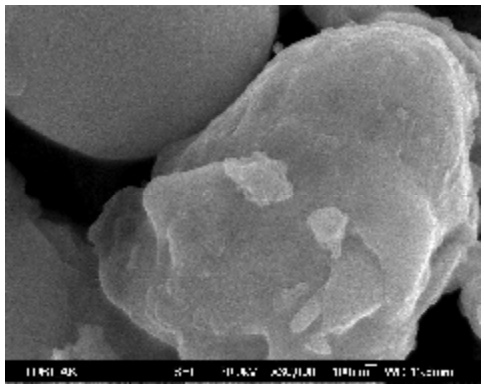
Şekil 5.32. Seyitömer TS Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.33. Seyitömer TS Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş)

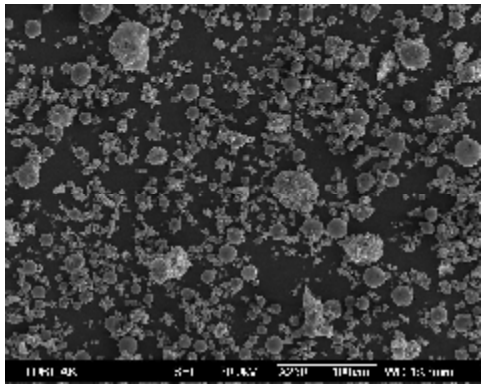


Şekil 5.34. Seyitömer TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

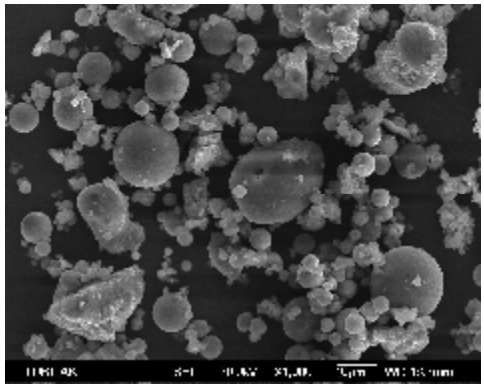


Şekil 5.35. Seyitömer TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

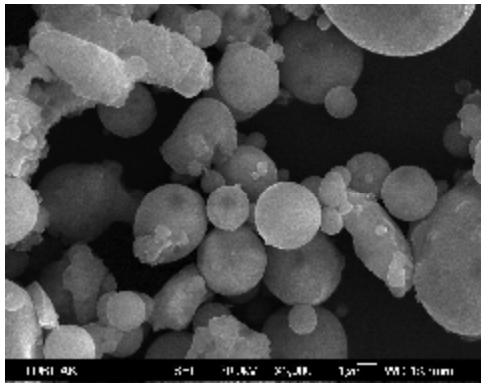
Tunçbilek Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.36'da, 1.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.37'de, 5.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.38'de,10000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.39'da, 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü ise Şekil 5.40'da verilmiştir.



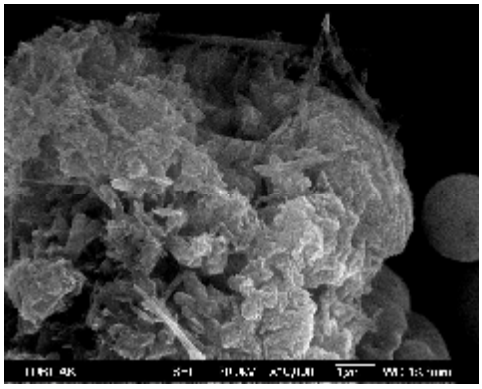
Şekil 5.36. Tunçbilek TS Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



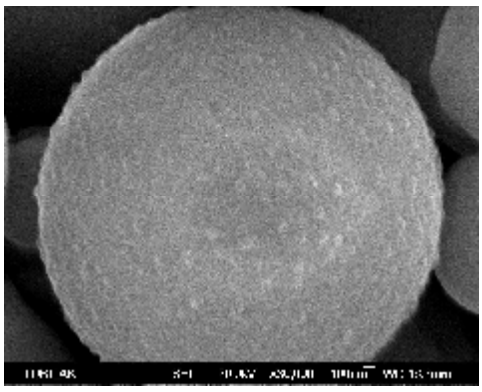
Şekil 5.37. Tunçbilek TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.38. Tunçbilek TS Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)

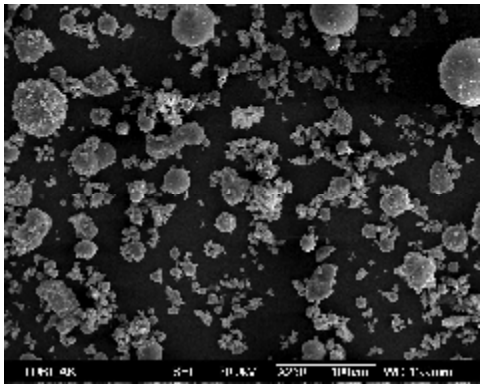


Şekil 5.39. Tunçbilek TS Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş)

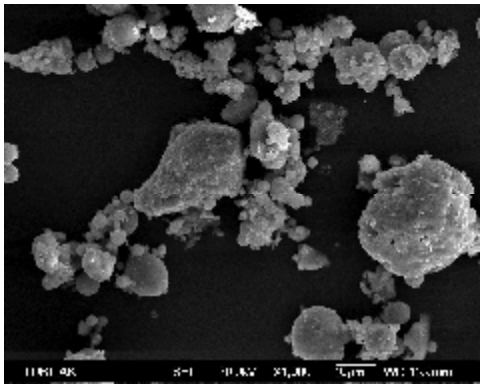


Şekil 5.40. Tunçbilek TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

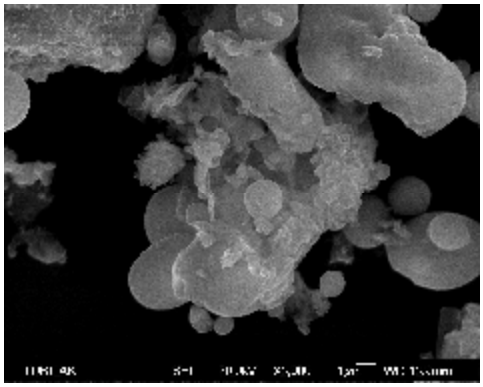
Çatalağzı Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.41'de,1000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.42'de,5000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.43'te, 10.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.44'te, 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü ise Şekil 5.45'te verilmiştir.



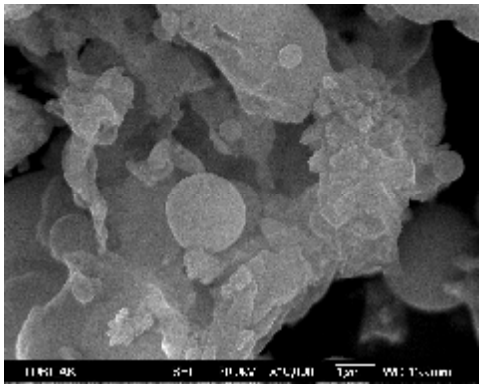
Şekil 5.41. Çatalağzı TS Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



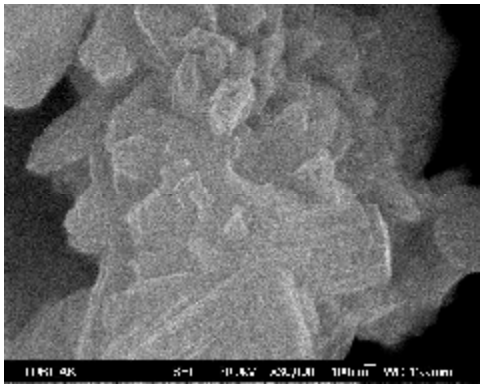
Şekil 5.42. Çatalağzı TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.43. Çatalağzı TS Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)

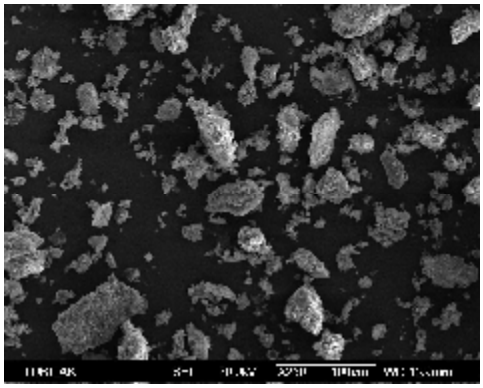


Şekil 5.44. Çatalağzı TS Uçucu Külü (10.000 kat büyütülmüş)

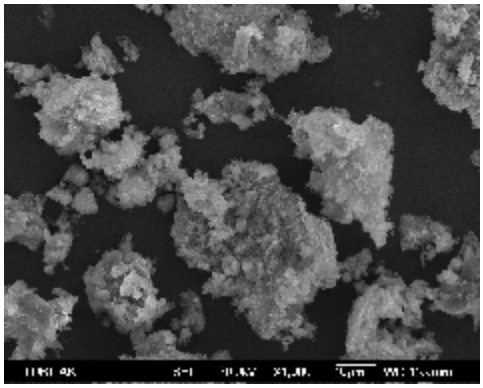


Şekil 5.45. Çatalağzı TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

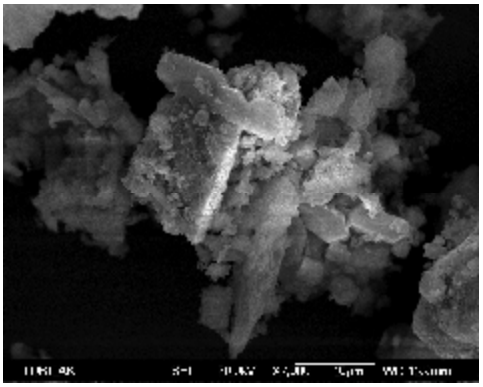
Çan Termik Santralinden alınan uçucu külün 250 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.46'da, 1.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.47'de, 2.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.48'de, 5.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.49'da, 30.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü ise Şekil 5.50'de verilmiştir.



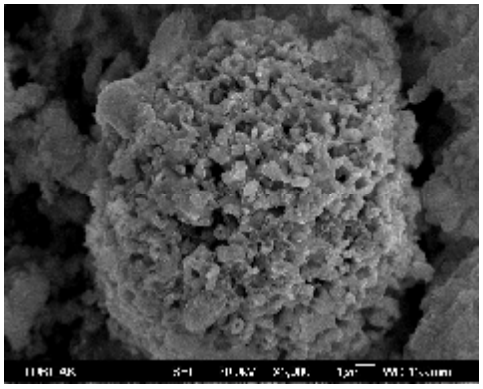
Şekil 5.46. Çan TS Uçucu Külü (250 kat büyütülmüş)



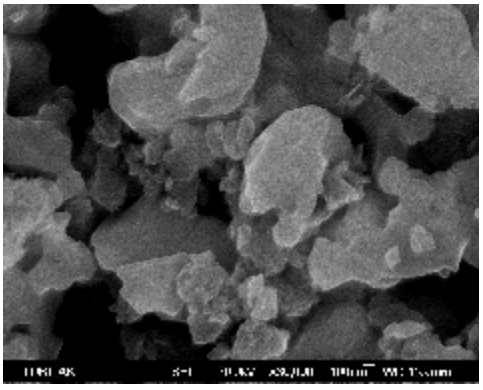
Şekil 5.47. Çan TS Uçucu Külü (1.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.48. Çan TS Uçucu Külü (2.000 kat büyütülmüş)

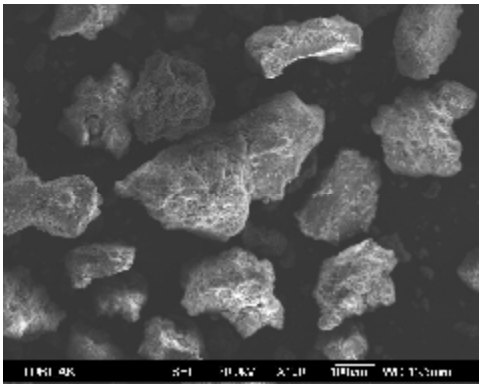


Şekil 5.49. Çan TS Uçucu Külü (5.000 kat büyütülmüş)

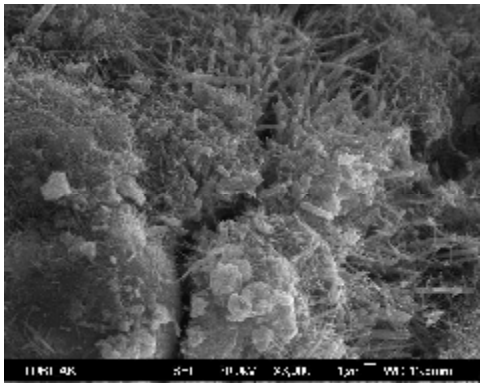


Şekil 5.50. Çan TS Uçucu Külü (30.000 kat büyütülmüş)

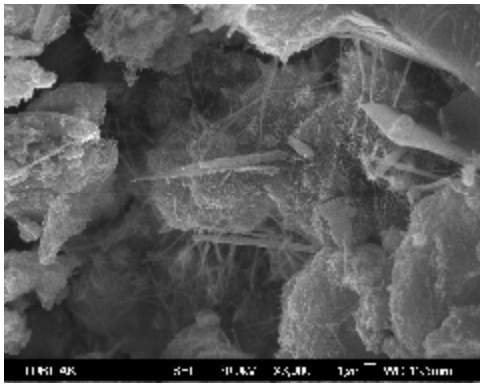
Afşin-Elbistan TS'den alınan taban külünün 100 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.51'de, 1.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.52'de, 3.000 kat büyütülmüş SEM görüntüleri Şekil 5.53 ve 5.54'te, 5.000 kat büyütülmüş SEM görüntüsü Şekil 5.55'te, 30.000 kat büyütülmüş görüntüsü Şekil 5.56'da verilmiştir.



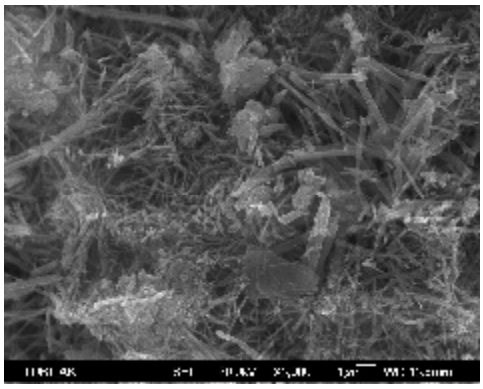
Şekil 5.51. Afşin Elbistan Taban Külü (100 kat büyütülmüş)



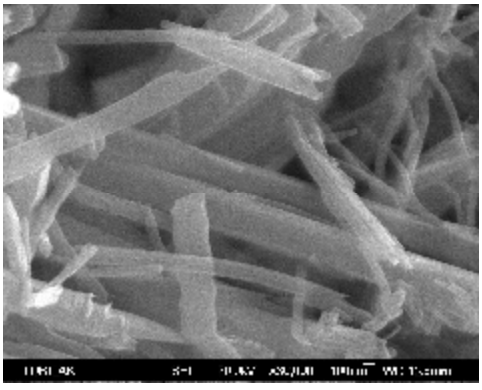
Şekil 5.52. Afşin Elbistan Taban Külü (3.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.53. Afşin Elbistan Taban Külü (3.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.54. Afşin Elbistan Taban Külü (5.000 kat büyütülmüş)



Şekil 5.55. Afşin Elbistan Taban Külü (30.000 kat büyütülmüş)

5.3. Uçucu Küllerin Liç Karakteristikleri

8 farklı termik santralden alınan uçucu kül örnekleri ve Afşin Elbistan Termik Santralinden alınan taban külü örneği, TS EN 12457-4 Ocak 2004 "Atıkların nitelendirilmesi - Katıdan özütleme analizi – Granül katı atıkların ve çamurların katı özütlemesi için uygunluk deneyi – Bölüm 3: Sıvı katı oranı 10 l/kg olan ve parçacık boyutu 4 mm'den küçük, yüksek katı madde muhtevalı malzemeler için tek aşamalı parti deneyi" standardına uygun olarak eluatlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Süzme işleminden sonra eluatlarda toprak ve su örneklerinde analizleri yapılan 8 çeşit ağır metalin konsantrasyonları belirlenmiştir.

Kül örneklerinden 90±5 gram tartım alınmış, aynı anda 105˚C±5˚C sıcaklıktaki etüvde kül örneklerinin nem tayini gerçekleştirilmiştir. Daha sonra, sıvı katı oranı 10 l/kg olacak şekilde; 24 saat (1 gün) süreyle deiyonize su içerisinde 10 rpm karıştırma hızında çalkalayıcıda liç işleminin gerçekleşmesi için karıştırılmıştır. 24±5 saat sonra çalkalayıcı kapatılmış ve asılı katıların çökmesi için çözelti 15 dakika bekletildikten ve süzüldükten sonra, Atomik Absorbsiyon Spektrometresi'nde ağır metal analizleri gerçekleştirilmiştir. Nem oranı (5.1), kuru madde oranı (5.2) ve eklenecek su miktarı (5.3) aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Nem Oranı} = 100 \times [(\text{Yaş tartım} - \text{Kuru tartım}) / \text{Kuru tartım}] \quad (5.1)$$

$$\% \text{ Kuru Madde Oranı} = 100 \times (\text{Kuru tartım} / \text{Yaş tartım}) \quad (5.2)$$

$$\text{Eklenecek su hacmi} = [10 - (\% \text{ Nem} / 100)] \times \text{Kuru tartım} \quad (5.3)$$

Liç işlemleri seri olarak gerçekleştirilmiştir. 1. gün sonunda süzgeç kağıdında biriken kalıntı tekrar kapaklı plastik kap içersine alınmış, sıvı katı oranı 10 l/kg olacak şekilde deiyonize su eklenmiş ve tekrar 10 rpm çalkalama hızında karıştırılmıştır. 24 saat sonunda süzme ve diğer işlemler tekrarlanarak seri liç işlemi 5 kez tekrarlanmıştır. 5 gün boyunca seri olarak gerçekleştirilen liç işlemleri sonucunda elde edilen çözeltilerin kurşun içerikleri Çizelge 5.40'ta, kadmiyum içerikleri Çizelge 5.41'de, krom içerikleri Çizelge 5.42'de, bakır içerikleri çizelge 5.43'de, nikel içerikleri Çizelge 5.44'te, çinko içerikleri Çizelge 5.45'te, kobalt içerikleri Çizelge 5.46'da ve mangan içerikleri Çizelge 5.47'de verilmiştir.

Çizelge 5.40. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Pb içerikleri

Pb (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	1,37	1,20	0,68	0,34	0	3,59
Su Gözü	0,33	0	0	0	0	0,33
Yatağan	1,17	0,67	0,17	0	0	2,01
Soma	1,50	1,00	0,50	0,17	0	3,17
Seyitömer	0,34	0,17	0	0	0	0,51
Tunçbilek	0,17	0	0	0	0	0,17
Çatalağzı	0,17	0	0	0	0	0,17
Çan	0,47	0,16	0	0	0	0,63
Afşintaban	0,17	0	0	0	0	0,17

Çizelge 5.41. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Cd içerikleri

Cd (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	0,15	0,13	0,10	0,06	0	0,44
Su Gözü	0,07	0,02	0,02	0	0	0,11
Yatağan	0,13	0,11	0,07	0	0	0,31
Soma	0,15	0,11	0,07	0	0	0,33
Seyitömer	0,05	0,02	0,02	0	0	0,09
Tunçbilek	0,03	0,02	0,01	0	0	0,06
Çatalağzı	0,03	0,03	0,02	0	0	0,08
Çan	0,07	0,06	0,04	0	0	0,17
Afşintaban	0,03	0,01	0	0	0	0,04

Çizelge 5.42. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Cr içerikleri

Cr (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	4,10	3,28	2,15	0,87	0,36	10,76
Su Gözü	2,91	1,10	0,70	0,30	0	5,01
Yatağan	1,00	0,90	0,80	0,35	0	3,05
Soma	2,81	1,60	1,30	0,45	0	6,16
Seyitömer	1,31	1,05	0,70	0,35	0	3,06
Tunçbilek	1,15	0,90	0,75	0,45	0	3,51
Çatalağzı	2,00	0,85	0,65	0,25	0	3,75
Çan	0,19	0	0	0	0	0,19
Afşintaban	0,59	0,20	0	0	0	0,79

Çizelge 5.43. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Cu içerikleri

Cu (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	0,21	0,15	0,10	0	0	0,46
Su Gözü	0,08	0,03	0	0	0	0,11
Yatağan	0,20	0,10	0,03	0	0	0,33
Soma	0,18	0,13	0,05	0	0	0,36
Seyitömer	0,05	0	0	0	0	0,05
Tunçbilek	0,05	0	0	0	0	0,05
Çatalağzı	0,05	0	0	0	0	0,05
Çan	0,09	0,05	0,02	0	0	0,16
Afşintaban	0,07	0,03	0	0	0	0,10

Çizelge 5.44. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Ni içerikleri

Ni (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	1,79	1,54	1,03	0,51	0	4,87
Su Gözü	0,75	0,38	0,25	0	0	1,38
Yatağan	1,63	1,00	0,38	0	0	3,01
Soma	1,63	1,38	0,88	0,38	0	4,48
Seyitömer	0,63	0,50	0,25	0	0	1,38
Tunçbilek	0,63	0,38	0	0	0	1,01
Çatalağzı	0,50	0,38	0	0	0	0,88
Çan	0,93	0,70	0,35	0	0	1,98
Afşintaban	0,62	0,25	0	0	0	0,87

Çizelge 5.45. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Zn içerikleri

Zn (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	0,12	0,10	0,05	0	0	0,27
Su Gözü	0,06	0,03	0,02	0	0	0,11
Yatağan	0,11	0,06	0,04	0,02	0	0,23
Soma	0,14	0,07	0,02	0	0	0,23
Seyitömer	0,07	0,02	0,02	0	0	0,11
Tunçbilek	0,03	0,02	0	0	0	0,05
Çatalağzı	0,04	0,02	0	0	0	0,06
Çan	0,11	0,09	0,05	0,02	0	0,27
Afşintaban	0,03	0,01	0	0	0	0,04

Çizelge 5.46. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Co içerikleri

Co (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	1,03	0,85	0,68	0,34	0,17	3,07
Su Gözü	0,50	0,17	0,17	0	0	0,84
Yatağan	0,92	0,67	0,25	0	0	1,84
Soma	1,00	0,75	0,33	0,17	0	2,25
Seyitömer	0,42	0,17	0	0	0	0,59
Tunçbilek	0,25	0,17	0	0	0	0,42
Çatalağzı	0,25	0,17	0	0	0	0,42
Çan	0,31	0,31	0,16	0	0	0,78
Afşintaban	0,17	0	0	0	0	0,17

Çizelge 5.47. Termik Santral uçucu küllerinin seri liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin Mn içerikleri

Mn (mg/kg)	1. gün	2. gün	3. gün	4. gün	5. gün	Toplam
Afşin Elb.	0,21	0,18	0,13	0	0	0,52
Su Gözü	0,08	0	0	0	0	0,08
Yatağan	0,20	0,13	0,08	0	0	0,41
Soma	0,25	0,18	0,08	0	0	0,51
Seyitömer	0,08	0,08	0	0	0	0,16
Tunçbilek	0,08	0,08	0	0	0	0,16
Çatalağzı	0,08	0	0	0	0	0,08
Çan	3,14	1,98	1,35	0,52	0,18	7,17
Afşintaban	0,08	0,08	0	0	0	0,16

Termik santrallerden alınan küllerin 5 günlük liç işlemleri sonucunda suya geçen ağır metal miktarlarının (Çizelge 5.40-5.47 arasındaki tablolar), küller içerisinde bulunan ağır metallere (Çizelge 5.20 ve 5.21) oranı hesaplanarak katıdan liç edebilme verimi hesaplanmıştır. Kül örneklerinden suya ağır metal liç verimi (%) Çizelge 5.48'de verilmiştir.

Çizelge 5.48. Kül örneklerinden suya ağır metal liç verimi (%)

Termik Santral	Pb (%)	Cd (%)	Cr (%)	Cu (%)	Ni (%)	Zn (%)	Co (%)	Mn (%)
AfşinElbistan	5,46	8,93	3,70	1,24	4,07	0,13	4,39	0,28
Su Gözü	1,00	5,56	7,25	0,36	2,82	0,05	2,14	0,03
Yatağan	4,17	8,03	3,72	0,51	3,05	0,05	3,73	0,13
Soma	6,35	16,50	9,49	0,79	6,45	0,06	5,67	0,27
Seyitömer	1,02	4,48	0,73	0,05	0,11	0,02	0,66	0,03
Tunçbilek	1,04	3,08	1,18	0,14	0,20	0,02	0,90	0,02
Çatalağzı	1,04	4,08	9,47	0,18	1,25	0,05	1,41	0,03
Çan	1,89	5,63	0,65	0,27	4,00	0,07	1,32	0,91
Afşin taban	0,39	1,16	0,35	0,25	0,68	0,02	0,29	0,10

Kül örneklerinden liç çözeltilerine ağır metal geçiş verimleri incelendiğinde; en düşük geçişin çinkoda olduğu, en yüksek oranların ise kadmiyum metalinde olduğu gözlenmiştir. Kurşun ve kadmiyum en çok Afşin Elbistan, Soma ve Yatağan TS uçucu küllerinden, kromun Soma, Çatalağzı ve Sugözü TS uçucu küllerinden, bakırın Afşin Elbistan TS'den, nikelin Soma TS'den, kobaltın Soma ve Afşin Elbistan TS'den, manganın Çan TS uçucu küllerinden yüzde olarak yüksek oranlarda suya geçtiği; Ayrıca, Soma TS uçucu küllerinden suya geçiş oranlarının genel olarak yüksek oranlarda seyrettiği, Seyitömer TS uçucu külünün yüksek miktarlarda ağır metalleri içermesine rağmen suya geçiş oranlarının düşük değerlerde kaldığı, Afşin Elbistan TS uçucu külüne yakın miktarlarda ağır metal içeren taban külünden suya geçiş yüzdelerinin bariz oranlarda düşük olduğu belirlenmiştir.

5 gün boyunca seri olarak gerçekleştirilen liç işlemleri sonucunda elde edilen liç çözeltilerinin analiz sonuçları toplanarak küllerden suya geçebilen toplam ağır metal miktarları belirlenmiştir. 5. gün sonunda hemen hemen tüm örneklerde ağır metal liçinin tamamlandığı görülmüştür. Son gün sadece Afşin Elbistan termik santrali külünde kobalt ve krom liçinin, Çan termik santralinde de mangan liçinin olduğu gözlenmiştir. Ancak, son gün suya geçen ağır metal konsantrasyonlarının çok düşük olması nedeniyle 6. gün liç deneylerinin yapılmasına gerek görülmemiştir.

Liç çözeltilerin tamamının izlenen 8 ağır metali de içerdiği belirlenmiştir. Bu, termik santral uçucu küllerinin depolandıkları alandaki toprağa, yüzey sularına veya yer altı sularına kirlilik aktarımı olasılığını kuvvetlendirmiştir. Bu nedenle, liç çözeltilerinin ağır metal içerikleri; 14 Mart 2005 tarihli ve 25755 sayılı, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11A'da verilen "Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri" tablosundaki (Ek 11) değerlerle kıyaslanmıştır.

Liç işlemleri sonucunda elde edilen çözeltilerin (1. gün) mg/l cinsinden ağır metal içerikleri Çizelge 5.49'da verilmiştir.

Çizelge 5.49. Liç işlemleri sonucunda (1. gün) elde edilen çözeltilerin ağır metal içerikleri

Termik Santral	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)	Co (mg/l)	Mn (mg/l)
AfşinElbistan	0,13	0,014	0,40	0,02	0,18	0,012	0,10	0,020
Su Gözü	0,03	0,007	0,29	0,01	0,08	0,006	0,05	0,008
Yatağan	0,12	0,013	0,10	0,02	0,16	0,011	0,09	0,020
Soma	0,15	0,014	0,28	0,02	0,16	0,014	0,10	0,025
Seyitömer	0,03	0,004	0,13	0,01	0,06	0,007	0,04	0,008
Tunçbilek	0,02	0,003	0,12	0,01	0,06	0,003	0,03	0,008
Çatalağzı	0,02	0,003	0,20	0,01	0,05	0,004	0,03	0,008
Çan	0,03	0,008	0,02	0,01	0,10	0,012	0,03	0,338
Afşin taban	0,02	0,003	0,06	0,01	0,06	0,003	0,02	0,008

Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre; Eluat konsantrasyonu tehlikeli atık için belirlenen değerler arasında olan atıklar, tehlikeli atık düzenli depolama sahasında depolanırlar. Eluat konsantrasyonu tehlikesiz atıklar için belirlenen değerler arasında olan atıklar, tehlikesiz atık olarak sınıflandırılacaktır. Bu atıklar evsel atık düzenli depo tesislerinde ayrı olarak (tek tür) depolanır.

Eluat konsantrasyonları inert atıklar için belirlenen değerin altında kalan atıklar, inert olarak sınıflandırılırlar. Bu atıklar evsel atık düzenli depo tesislerinde veya permeabilitenin k $\leq 10^{-7}$ ve en az 1 metre kile eşdeğer geçirimliliğin sağlandığının ve yer altı su seviyesine maksimum 1 metre olduğunun Bakanlığa belgelendiği alanlarda Bakanlığın uygun görüşü alınarak depolanır.

Analizleri yapılan termik santral küllerinin Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre hangi tür atık sınıfına girdiği Çizelge 5.50'de verilmiştir.

Çizelge 5.50. Analizi yapılan kül örneklerinin 1 günlük eluat konsantrasyonlarından TAKY'ye göre belirlenen atık sınıfları (**İnert - Tehlikesiz - Tehlikeli)**

Termik Santral	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)	Co (mg/l)	Mn (mg/l)
AfşinElbistan	0,13	0,014	0,40	0,02	0,18	0,012	0,10	0,020
Su Gözü	0,03	0,007	0,29	0,01	0,08	0,006	0,05	0,008
Yatağan	0,12	0,013	0,10	0,02	0,16	0,011	0,09	0,020
Soma	0,15	0,014	0,28	0,02	0,16	0,014	0,10	0,025
Seyitömer	0,03	0,004	0,13	0,01	0,06	0,007	0,04	0,008
Tunçbilek	0,02	0,003	0,12	0,01	0,06	0,003	0,03	0,008
Çatalağzı	0,02	0,003	0,20	0,01	0,05	0,004	0,03	0,008
Çan	0,03	0,008	0,02	0,01	0,10	0,012	0,03	0,338
Afşin taban	0,02	0,003	0,06	0,01	0,06	0,003	0,02	0,008
Sınır Değerler	≤ 0,05 0,05 - 1 □ 1 - 5	≤ 0,004 0,004 - 0,1 □ 0,1 - 0,5	≤ 0,05 0,05 - 1 □ 1 -7	≤ 0,2 0,2 - 5 □ 5 - 10	≤ 0,04 0,04 - 1 □ 1 - 4	≤ 0,4 0,4 - 5 □ 5 - 20	-	-

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma ile, Türkiye'deki çeşitli Termik Santrallerden çevreye yayılan uçucu küller nedeniyle santral çevresinde, özellikle ağır metaller açısından oluşması muhtemel çevresel etkilerin neler olduğu belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla; Afşin Elbistan, Sugözü, Seyitömer, Yatağan, Tunçbilek, Soma, Çatalağzı ve Çan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül örnekleri ile Afşin Elbistan Termik Santrali'nden alınan taban külünün Liç karakteristikleri incelenmiştir.

Pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan-A termik santralinin yakın çevresinden toprak ve yer altı suyu örnekleri alınarak ağır metaller (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn) açısından izlenmiştir. Araziden alınan örnekler üzerinde yapılan incelemeler ve analizler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

1- Afşin Elbistan-A termik santralinin kuzey doğusundan (1, 3 ve 7 km), güney batısından (1, 5 ve 10 km), kuzeyinden (1, 5 ve 10 km) ve güney doğusundan (1, 5 ve 10 km) alınan toprak örneklerinde yapılan ağır metal analiz sonuçları incelendiğinde; 0-25 cm kalınlığındaki katmanlardan alınan her üç katmanda da, kurşun miktarları, kadmiyum miktarları, bakır miktarları ve çinko miktarları Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde verilen sınır değerlerin altında seyrederken; nikel miktarlarının ve krom miktarlarının yönetmelikteki sınır değerlerin oldukça üzerinde olduğu belirlenmiştir.

2- Toprak kirliliğinin kontrolü yönetmeliğinde sınır değer verilmeyen kobalt ve mangan miktarları; kobalt için 34 ile 41,9 mg/kg, mangan içinse 513 ile 998 mg/kg değerleri arasında değişmektedir. Yer kabuğunda kobalt ortalama olarak 18 mg/kg oranında, manganın ise ortalama olarak 800 mg/kg oranında bulunmaktadır. Bu değerler bize termik santral çevresindeki topraklarda önemli miktarda kobalt ve yer yer mangan zenginleşmeleri olduğunu göstermektedir.

3- 1975 ile 2009 yılları arasındaki meteorolojik veriler ışığında, yönlere göre rüzgar esme sayıları ve yönlere göre ortalama rüzgar hızları verileri kullanılarak rüzgar gülleri elde edilmiş (Ek 2) ve rüzgar yönlerinin GGB (Güney-Güney batı) ile KKB (Kuzey-Kuzey batı) yönlerinden estiği görülmüştür.

Termik santral merkezli, 4 yönden alınan toprak bünyelerindeki 0-5 cm, 5-15 cm ve 15-25 cm derinliklerdeki üç katmanda belirlenen ağır metallerin ortalama değerleri hesaplanmış ve gauss yöntemi ile bu ortalama değerlerin dağılım grafikleri oluşturulmuştur. Ek 3 ile Ek 10 arasındaki grafiklerde; kurşun, kadmiyum ve bakır dağılımlarının KKB yönüne doğru; krom, nikel, çinko, kobalt ve mangan dağılımlarının ise GGB yönüne doğru olduğu net bir şekilde görülmektedir. Bu da, termik santral bacasından çıkan uçucu küllerin rüzgarın yönüne ve hızına göre santral çevresine dağıldığını ve santral yakın çevresindeki ağır metal miktarlarındaki artışların da santralden uzaklaştıkça azalma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

4- Afşin Elbistan Santrali yakın çevresindeki 6 adet kuyudan alınan su örneklerinde toprak örneklerinde olduğu gibi 8 adet ağır metal izlenmiştir. Sonuçlar, 13.02.2008 tarih ve 26786 sayılı Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği Tablo 1 "Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri" değerlerine göre incelenmiştir. Buna göre, gidya suları hariç tüm yeraltı sularının sadece ağır metaller açısından içme suyu olarak kullanımında bir sakınca görülmemektedir. Gidya suyu nikel içeriği (24,4 µg/l) nedeniyle sınıf 1 yüzeysel sulara ait kalite parametreleri ile aynı değerleri taşıyan ve yüksek kaliteli yer altı suları olan YAS 1 sınıf yer altı suyu değildir.

5- Su örneklerinde her ne kadar YAS 1 sınıf sular için verilen sınır değerler aşılmamış olsada; diğer kuyulardaki yer altı sularında kurşun belirlenmezken, dış döküm sahası civarında yer alan 50 metre derinliğindeki kuyudan alınan yer altı sularında sınır değere oldukça yakın miktarda (8,33 µg/l) kurşun belirlenmesi ve bu değerin, 10 µg/l olan sınır değere oldukça yakın olması, depolama alanı olarak kullanılıp üzeri örtülen ve ağaçlandırılan alandaki yeraltı suyuna alanda depolanan küllerden yağmur suları ile kurşun metalinin taşındığını göstermektedir. Ayrıca, kurşunla birlikte, yer altı sularında izlenen diğer 7 metalin de dış döküm sularında belirlenmesi dikkat çekicidir.

6- Sekiz farklı termik santralden alınan uçucu kül örneklerinde ve 1 adet taban külü örneğinde, toprak ve su kirliliğine neden olabilecek 8 çeşit ağır metalin belirlenmesi amacıyla metal analizleri gerçekleştirilmiş ve bulunan değerler, 31.05.2005 tarihli ve 25831 sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği'nde verilen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Uçucu kül örneklerinin Toprak Kirliliğinin

Kontrolü Yönetmeliği'ndeki kadmiyum, krom, nikel ve çinko miktarları açısından sınır değerlerden fazla miktarlarda ağır metal içermesi, bu uçucu küllerin direkt olarak toprağa gömülmesini veya toprak üzerinde depolanmasını imkânsız kılmaktadır. Ancak, başta pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan-A Termik Santrali'nde olmak üzere (Sugözü Termik Santrali hariç) termik santrallerin büyük çoğunluğunda uçucu küller herhangi bir önlem alınmadan direkt olarak toprak üzerinde veya toprağa gömülerek ya da atık barajlarında depolanmaktadır. Bu tarz (önlem alınmadan) yapılan depolama ile, depolama alanı civarındaki toprakların ve yer altı sularının olumsuz etkilenmemesi mümkün değildir.

7- Termik Santral uçucu küllerinin genel kimyasal içerikleri hakkında bilgi edinilmesi amacıyla uçucu kül örneklerinin XRF (X Ray Flouresance) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, küllerin büyük oranda SiO_2, Al_2O_3, CaO, MgO ve Fe_2O_3 gibi majör elementleri ve çok sayıda minör elementi içerdiğini göstermiştir. Kirlilik açısından izlenen ağır metallerin tamamı analizi yapılan tüm uçucu kül örneklerinde ve taban külünde belirlenmiştir.

8- Termik Santral uçucu küllerinin mineralojik yapısı hakkında bilgi edinilmesi amacıyla uçucu kül örneklerinin XRD (X Ray Diffraction) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, uçucu küllerin yakılan kömürün cinsine bağlı olarak farklı mineraller içerdiğini göstermiştir. Kömürün bünyesinde bulunup, yanma işleminden fazla etkilenmeden çıkan kil mineralleri, kuvars ve yanma sırasında oluşan kalsiyum oksit gibi bileşikler; yine uçucu küllerin bünyesinde bulunan ağır metalleri kimyasal olarak absorbe etmekte ve çevre kirliliğini azaltan bir etki yapmaktadır. Nitekim liç analiz sonuçları, kül örneklerinin kimyasal analizlerinde belirlenen ağır metallerin büyük ölçüde liç çözeltilerine geçmediklerini göstermiştir.

9- Sekiz farklı termik santralden alınan uçucu kül örneklerinde Taramalı Elektron Mikroskop cihazı ile 30.000 kata kadar büyütülmüş resimleri çekilmiştir. Bu sayede uçucu küllerdeki morfolojik yapılar gözlenmiş ve oldukça büyük yüzey alanına ve poroz bir yapıya sahip olan uçucu küllerin, kimyasal absorbsiyonun yanısıra fiziksel absorbsiyon da yapabilecekleri anlaşılmıştır. Liç işlemleri sonucunda elde edilen çözeltilerdeki ağır metal miktarlarının oldukça düşük çıkması bu kanıyı güçlendirmiştir.

10- Sekiz farklı termik santralden alınan uçucu kül örnekleri ve Afşin Elbistan Termik Santralinden alınan taban külü örneği, saf su ile eluatlaştırma işlemine tabi tutulmuştur. Termik santrallerden alınan küllerin 5 günlük liç işlemleri sonucunda suya geçen ağır metal miktarlarının küller içerisinde bulunan ağır metallere oranı hesaplanarak katıdan liç edebilme verimi hesaplanmıştır.

Kül örneklerinden liç çözeltilerine ağır metal geçiş verimleri incelendiğinde; en düşük geçişlerin çinkoda olduğu (% 0,02- % 0,07 arasında), en yüksek oranların ise kadmiyum metalinde (%1,16 ile % 16,50 arasında) olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, Soma Termik Santrali uçucu küllerinden suya geçiş oranlarının genel olarak yüksek oranlarda seyrettiği, Seyitömer Termik Santral uçucu külünün yüksek miktarlarda ağır metalleri içermesine rağmen suya geçiş oranlarının düşük değerlerde kaldığı, Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külüne yakın miktarlarda ağır metal içeren Afşin Elbistan taban külünden suya geçiş yüzdelerinin bariz oranlarda düşük olduğu belirlenmiştir.

11- Farklı yakma teknikleri kullanan, ayrıca birbirinden farklı kömürler yakan termik santrallerden yanma sonucu ortaya çıkan uçucu küller farklı kimyasal yapı ve özellikler göstermektedir. Seyitömer termik santrali uçucu küllerinde, ithal linyit kullanılan Sugözü termik santrali uçucu küllerine göre yaklaşık 6 kat daha fazla krom bulunmasına rağmen (417,5 mg/kg ve 69,1 mg/kg), laboratuarda gerçekleştirilen liç işlemleri sonucu, Sugözü termik santrali uçucu küllerinden, Seyitömer termik santrali uçucu küllerine oranla yaklaşık iki kat daha fazla krom liç çözeltisine geçmiştir (0,29 mg/kg ve 0,13 mg/kg). Bununla birlikte, her iki kül de Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği'ne göre tehlikesiz atık sınıfındadır. Yine farklı kömür yakan santrallerden Çan termik santrali uçucu külünün kobalt içeriği, Çatalağzı termik santrali uçucu külünün yaklaşık iki katıdır (58,9 mg/kg ve 29,9 mg/kg). Fakat her iki külden de liç çözeltisine geçen kobalt miktarı aynıdır (0,03 mg/kg). Soma termik santrali uçucu külü ile Seyitömer termik santrali uçucu külü eşit oranda kurşun içerirken (49,9 mg/kg ve 49,8 mg/kg), Soma termik santrali uçucu külünden suya 6 kat daha fazla kurşun geçmektedir (6,35 mg/kg ve 1,02 mg/kg). Bu sonuçlar, uçucu küllerin ağır metal içerikleri ile liç karakteristiklerinin birbirinden farklı olabileceğini göstermiştir.

12- Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11 A'da verilen tablodaki değerlere göre; 1 günlük liç işlemi sonucunda elde edilen eluatların ağır metal içerikleri açısından tüm kül örnekleri; bazı metaller açısından inert özellik göstermelerine rağmen, tehlikesiz atık sınıfında yer almaktadır. Bu nedenle bu atıklar, evsel atık düzenli depo tesislerinde ayrı olarak (tek tür) depolanmalıdır.

13- Afşin-Elbistan bölgesinde yüzeyleyen Üst kretase yaşlı bazik ve ultrabazik kayaçlardan oluşan ofiyolitlerin bünyesinde öteki kayaçlara göre daha yüksek oranlarda krom, nikel, kobalt ve demir bulunmaktadır. Yine aynı seriye ait gabrolar bünyesindeki feldispatların alterasyonu sonucu meydana gelen killerle bölgeye krom, nikel, kobalt ve demir taşınmış olması muhtemel olduğundan, ağır metal konsantrasyonlarını artırmış olabilirler. Afşin Elbistan-A termik santralinin ve kömür alanının etrafının ofiyolitik birimler de bulunduran yüksek dağlarla çevrili bir eski basen olması, bu kirliliği artırmıştır. Kömürleşme sırasında organik madde arasında ara kesme olarak bu inorganik birimlerin yataklanması, Afşin Elbistan-A termik santralinin kuzey doğusundan ve güney batısından alınan toprak örneklerindeki element kirlenmesinin ve kömürdeki yüksek kül oranının sebebidir.

14- Tüm uçucu kül örneklerinde izlenen 8 ağır metal de belirlenmiştir. Uçucu küllerde belirlenen ağır metal miktarları, 31.05.2005 tarihli ve 25831 sayılı Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği Ek 1-A'da verilen sınır değerlerin çok üstündedir. Ancak, bu kadar yüksek miktarlarda ağır metal içeren uçucu küller, 14 Mart 2005 tarihli ve 25755 sayılı, Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11A'da verilen "Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri" tablosundaki eluat kriterlerine göre değerlendirilmekte ve bu uçucu küller tehlikesiz atık sınıfına girmektedir. Yönetmelikler arasında değerlendirme farklılığı nedeniyle oluşan bu tür çelişkilerin giderilmesi gerekmektedir.

15- Afşin Elbistan termik santrali kurulduğu günden bu yana etkin baca gazı ve tozu önleme sistemleri ile çalıştırılmadığı için, özellikle yakın çevresindeki topraklarda partikül kirliliğine neden olmuştur. Bu partiküllerdeki ağır metallerin suya taşınabilirliği oldukça düşüktür ve partiküller rüzgar yönüne göre santral çevresindeki topraklar üzerinde birikmiştir. Günümüzde baca gazı filtre sistemlerinin aktif hale getirilmesi toz emisyonlarını azaltmış olsa da, her gün oluşan tonlarca

uçucu külün ve taban külünün stok sahasında depolanması ile ilgili sıkıntılar devam etmektedir. İç döküm sahasında küllerin bantlarla taşınması ve toprağa gömülmesi esnasında oluşan toz bulutlarının, fıskiyelerle sulama gibi toz bastırma sistemleri ile minimuma düşürülmesi gerekmektedir. Küllerle hafriyat toprağının karıştırılarak gömülmesinin dış döküm sahasındaki yer altı sularını olumsuz etkilediği açıktır. Bu nedenle, şu anda kül stoklaması yapılan iç döküm sahasında sızdırmaz zemin uygulamalarının yapılarak yeraltı sularının olumsuz etkilenmesi önlenmelidir.

16- Her gün binlerce ton uçucu kül oluştuğu göz önüne alınacak olursa, bu külleri toprak üstünde depolayarak ya da toprağın altına gömerek bertaraf edilmesi yerine; yüzey alanının oldukça azaldığı ve küllerdeki istenmeyen bileşenlerin hapsolduğu inşaat sektöründeki dolgu malzemesi ya da çimento katkı maddesi gibi uygulama alanlarının yaygınlaştırılması, ayrıca endüstriyel atıkların uçucu kül kullanılarak arıtımı konularının daha kapsamlı araştırılması gerekmektedir.

17- Pilot bölge olarak seçilen Afşin Elbistan-A termik santrali yakın çevresinden alınan toprak örnekleri ve su örnekleri ile tüm termik santrallerden alınan uçucu küllerin ve liç işlemleri sonucu elde edilen çözeltilerin analiz sonuçları; tüm termik santrallerin baca gazı ve baca tozu filtreleme sistemlerini kullanmaları gerektiğini ve termik santral yakın çevresindeki toprakların ve yüzey suları ile yer altı sularının olumsuz etkilenmemesi için kömür ve kül stok sahalarında, taşıma bantlarında gerekli önlemlerin alınmasının önemini ortaya koymuştur.

18- Termik Santraller etrafa yaydıkları karbondioksit, karbonmonoksit, kükürtdioksit, azot oksitleri, hidrokarbonlar, ağır metaller, radyoaktif elementler, partikül maddeler ve atık ısı ile, yakın çevrelerindeki atmosfer ve toprak üzerinde, yeraltı ve yüzey suları üzerinde, insanlar ve hayvanlar üzerinde, bitki örtüsü ve tarımsal ürünler üzerinde, eşyalar ve binalar üzerinde çok çeşitli olumsuz etkiler yaratmaktadır. Günlük yaşamımızda çok gerekli olan elektrik enerjisini doğayı en az etkileyecek şekilde üretmenin yollarını bulmalıyız ya da mevcut yöntemlerin olumsuz etkilerini minimuma indirmek için gereken tüm önlemleri almalıyız.

KAYNAKLAR

ABALI, S., ŞAHİN, Ş., 2006. Termik Santral Uçucu Atıklarının Yer Karosu İmalatında Kullanım Olanaklarının Araştırılması. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı: 144, Sayfa: 21-25, Ankara.

ABRAHAMSON, D.E., 1989. Global Warming; The Issue, Impacts, Responses. The Challenge of global Warming, Island Press, Wahington D.C.

AKAR, G., 2001. Kömür Külü Atık Sahalarından Oluşacak Olan Ağır Metal Kirlenmesinin Belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

ASTM, 1981. ASTM D 388-05: Standard Classification of Coals by Rank.

AVCI, S., 2005. Türkiye'de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Coğrafya Bölümü Coğrafya Dergisi, Sayı: 13, Sayfa: 1-26, İstanbul.

BABA, A., 2001. Yatağan (Muğla) Termik Santrali Atık Depolama Sahasının Yer altı Sularına Etkisi. Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Dergisi Araştırma Makalesi, cilt 25, no 2, sayfa 1-19.

BABA, A., GÜRDAL, G. ve ŞENGÜNALP, F., 2007. Sıcaklık ve pH'ın Kömür Yakıtlı Termik Santrallerden Kaynaklanan Atıklardaki Ağır Metallerin Suya Geçişi Üzerindeki Etkisi. 60. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özeti, p 70, Ankara.

BARBİR, F., VEZİROĞLU, T.N., 1992. Assessment of Environmental Damage by Fossil Fuels. Cean Utilization of Coal, NATO ASI Series, Series:C, Mathematical and Physical Sciences, Vol 370, Kluwer Acedemic Publishers, Netherlands.

BAYAT, G.,1998. Characterisation of Turkish Fly Ashes. Fuel Vol. 77, No. 9/10, pp 1056-1066.

BAYKAN, A. R., 2004. Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Bşk., Ankara.

BENTLİ, İ., UYANIK, A.O., DEMİR, U., ŞAHBAZ, O., 2005. Seyitömer Termik Santrali Uçucu Küllerinin Tuğla Katkı Hammaddesi Olarak Kullanımı. Türkiye 19. Uluslar arası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir.

BİNGÖL, D., 2001. Uçucu Küllerin Liçing ve (Liç Çözeltilerini) Katı-Faz Özütleme Tekniği İle Eser Element Analizine Hazırlanması. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Sivas.

BURNET. G., 1986, "Never Technologies for Resource Recovery from Coal Combustion Solid Wastes" Energy Vol. 11, No 11/12 pp. 1363-1375.

CALVERT, S., ENGLUND, H.M., 1984. Hendbook of Air Pollution Technology. A Wiley-İnterscience Publication, pp 65-97.

CHOİ, S.K., LEE, S., SONG, Y.K., MOON, H.S., 2002. Leaching characteristics of selected Korean fly ashes and its implications for the groundwater copsition near the ash disposal mound. Elsevier, Fuel 81 (2002) 1083-1090.

DURMAZ, A., 1998. Kömürün Yanması. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.

FISCHER, G.L. ve NATUSCH, D.F.S., 1978. Size Dependence of the Physical and Chemical Properties of Coal Fly Ash. Anal. Mtd. Coal Prod., 3: 489- 541.

FONER, H.A., ROBL, T.L., HOWER, J.C., GRAHAM, U.M., 1998. Characterization of Fly Ash from İsrael with Reference to It's Possible Utilization. Fuel Vol. 78, pp 215-223.

GİBSON, J., 1979. Coal and the Environment, Institution ofm Environmental Sciences, Designed and Produced by Science Reviews.

GONCALOĞLU, B. İ., ERTÜRK, F., EKDAL, A., 2000. Termik Santrallerle Nükleer Santrallerin Çevresel Etki Değerlendirmesi Açısından Karşılaştırılması. ÇEVKOR, Cilt 9, Sayı 34, 9-14.

GÖKMEN, V., MEMİKOĞLU, O., DAĞLI, M., ÖZ, D., TUNCALI, E., 1993. Türkiye Linyit Envanteri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

GÜREL, C., 2005. Çevre Kirliliğinde Değer Biçme. Ziraatci.com. Tarımsal Bilgi Paylaşma Sitesi, Tarım Ekonomisi Editör Yazıları.

HİÇSÖNMEZ, Ü., 1991. Uçucu Külün Eksraksiyonunda Rol Oynayan Parametrelerin İncelenmesi. Ege Üniversitesi Nükleer Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

http://termiksantral.sitemynet.com

http://www.baktabul.com

http://www.catestermik.com

http://www.bli.gov.tr

http://www.cli.gov.tr

http://www.dmi.gov.tr

http://www.eli.gov.tr

http://www.ili.gov.tr

http://www.euas.gov.tr

http://www.isken.com.tr

http://www.geli.gov.tr

http://www.gli.gov.tr

http://www.grafikerler.net

http://www.maden.org.tr

http://www.seas.gov.tr

http://www.sli.gov.tr

http://www.ssto.org.tr

http://www.tki.gov.tr

http://www.yatagan.gov.tr

KARACA, A., 1997. Afşin-Elbistan Termik Santrali Emisyonlarının Çevre Topraklarının Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ziraat Mühendisliği Toprak Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.

KARACA, A., TÜRKMEN, C., ARCAK, S., HAKTANIR, K., TOPÇUOĞLU, B., YILDIZ, H. 2009. Çayırhan Termik Santralı Emisyonlarının Yöre Topraklarının Bazı Ağır Metal ve Kükürt Kapsamlarına Etkilerinin Belirlenmesi. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 1 (1): 17-25.

KARAHAN, O., ATIŞ, C.D., 2007. Sugözü Uçucu Külünün Beton Katkısı Olarak Kullanılabilirliği. 7. Ulusal Beton Kongresi, 405-415, İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul.

KARATEPE, N., MERİÇBOYU, A.E., KÜÇÜKBAYRAK, S., 1998a. Baca Gazlarındaki Kükürtdioksidin Giderilmesi. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.

KARATEPE, N., YAVUZ, R., MERİÇBOYU, A.E., ÖZTÜRK, M., 1998b. Kömürün Yakılmasından Kaynaklanan Kirleticiler ve Emisyon Değerleri. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.

KARAYİĞİT, A.İ., 1998. Kömür Petrografisi. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.

KARAYİĞİT, A.İ., GAYER, R.A., 2000. Characterization of Fly Ash from the Kangal Power Plant, Eastern Turkey. Fly Ash Library Home.

KARAYİĞİT, A.İ., KÖKSOY, M., 1997. Kömürün Oluşumu ve Sınıflandırılması. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.

KİM, A.G., 2005. Preferential Acidic, Alkaline and Neutral Solubility of Metallic Elements in Fly Ash. World of Coal Ash.

KAYIN, S., 1998. Kömür Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri. 1998, İstanbul.

LEDİNEGG, M., 1966. Dampferzeugung, Dampfkessel, Fuerungen, Band2, Springer Verlag, Wien, New York.

MAKİNECİ, E., SEVGİ, O., 2005. Seyitömer Termik Santrali Kuruma Alanlarındaki Karaçam (Pinus nigra Arnold.) Yıllık Halkalarına Etkisinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A, Sayı: 2, ISSN: 1302-7085, Sayfa: 11-22.

MASTERS, G.M., 1991. Introduction to Environmental Engineering and Science. pp. 270-294, Prentice-Hall International Inc., London.

MERİÇBOYU, A.E., BEKER, Ü.G., KÜÇÜKBAYRAK, S., 1998. Kömürün Kullanımını Belirleyen Önemli özellikleri. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul.

MÜEZZİNOĞLU, A., 1987. Hava Kirliliğinin ve Kontrolünün Esasları. Dokuz Eylül üniversitesi Yayınları, S.1-290.

NAKOMAN, E., 1971. Kömür. Maden Tekik ve Arama Enstitüsü Yayınlarından Eğitim serisi No:8, Ankara.

ONACAK, T., 1999. Türkiye'deki Termik Santrallere Beslenen Kömürlerin ve Yanma Sonucu Oluşan Katı Atıkların Çevresel Etkileri. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Ankara.

ÖZDOĞAN, S. ve ÜNVER, Ö., 1998. Türkiye'nin Taşkömürü ve Linyit Envanteri İle İlgili Ekonomik Değerlendirme. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul.

PAINTER, D.E., 1974. Air Pollution Technology. Pitt. Technical İnstitute, Greenville, reston Publishing Company, pp. 258-259.

SALEEM, A., 1972.Flue Gas Scrubbing With Limestone Slurry. Journal of Air Pollution Control Assoc. Vol. 22, No.3, pp 172-176.

SAWYER, R.F., 1971. Combustion Generated Air Pollution. Sarkman, E.S., Ed., Plenum Press, New York.

SCHACHTSCHABEL, P., BLUME, H. P., BÜRÜMMER, G., HARTGE, K. H. ve SCHWERTMANN, U., 1989. Çevirenler; ÖZBEK. H., KAYA, Z., GÖK, M. ve KAPTAN, H., 1993. Toprak Bilimi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi, Genel Yayınları, No:73, Ders kitabı No:16, Adana.

SCHMITT, R.L., 1990. Simultane Trockene Schwefeldioxidsorption und Katalytische Stickoxid; Reduction in Einem Wirbelschicht Reaktor. Dissertation Fakultaet für Chemie der Technischen Universitaet Karlsrruhe, BRD, s 178.

SEVİM, H., NASUF, E., KUZU, C., 1998. Kömür Atıklarının Depolanması. Kural, O., Ed., Kömür: Özellikleri, Teknolojisi ve Çevre İlişkileri, İstanbul.

SHEN, T.T., 1980. The Environmental Impact of Conventional Fossil Fuel Sourcess. Energy and the Environment İnteractions, Theodore L.; Buonicore, A.J., Eds., Vol 1, Chapter 2, CRC Press Inc., Florida.

ŞENGÜL, Ü., 1999. Kangal Termik Santrali Uçucu Küllerinin Analitik ve Çevresel Olarak İncelenmesi ve Değerlendirilmesi. Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Ana Bilim Dalı Doktora Tezi, Sivas.

TAŞKIN, Ö., 1998. Uçucu Kül Ve Bazı Organik Materyallerin Toprak Biyolojik Aktivitesi Üzerine Etkileri. Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

TOPRAK, S., 2009. MTA Genel Müdürlüğü Maden Analizleri ve Teknolojisi Dairesi, Ankara.

TUNCALI, E., ÇİFTCİ, B., YAVUZ, N., TOPRAK, S., KÖKER, A., GENCER, Z., AYÇIK, H., ŞAHİN, N., 2002. Türkiye Tersiyer Kömürlerinin Kimyasal ve Teknolojik Özellikleri. MTA, Ankara.

TÜRKOĞLU, 2006. Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Adana.

URAL, S., 2005. Comparison of fly ash properties from Afsin - Elbistan coal basin, Turkey. Journal of Hazardous Materials, (119) 85-92.

ÜNAL, O., UYGUNOĞLU, T., 2004. Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak.

WATSON, J.S., 1985. Potentional Resources from Coal Fly Ash. Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 43: 151-161.

ÖZGEÇMİŞ

1977 yılında Kadirli Osmaniye'de doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini İskenderun'da tamamladı. 1994 yılında Çukurova Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nü kazandı. 1 yıl süreyle YADİM'de İngilizce hazırlık okudu. 1999 yılında Ç.Ü. Kimya Bölümü'nden mezun oldu. Aynı yıl Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimine başladı. 20 Ekim 2000'de Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2002 yılında Yüksek Lisans eğitimini tamamladı ve Ç.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü'nde Doktora eğitimine başladı. Halen aynı bölümde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir kız çocuğu babasıdır.

EK - 1 : Kayaçlarda ve kirlenmemiş toprak örneklerinde mikro elementlerin ve potansiyel toksik elementlerin ortalama içerikleri (mg/kg) (Schachtschabel ve ark., 1989)

	Mn (mg/kg)	**Cu** (mg/kg)	**Zn** (mg/kg)	**Mo** (mg/kg)	**B** (mg/kg)	**Co** (mg/kg)	**Cr** (mg/kg)
Yer kabuğunda	800	35	70	1,5	10	18	80
Ultra bazik kayaçlarda	1600	10	50	0,3	3	150	1600
Bazalt/ Gabro	1400	90	100	1,0	5	50	170
Gnays/ Mika	600	25	65	1,5	9	13	75
Granit	325	13	50	1,8	9	4	12
Kil taşı	850	45	95	1,3	100	20	90
Kum taşı	50	5	15	0,2	35	0,3	35
Kireç taşı	700	4	25	0,4	20	2	11
Lös	300	11	40	-	-	8	-
Marn	400	15	40	-	-	7	35

	Ni (mg/kg)	**Pb** (mg/kg)	**Cd** (mg/kg)	**Co** (mg/kg)	**Ni** (mg/kg)	**Pb** (mg/kg)
Yer kabuğunda	45	15	0,10	18	45	15
Ultra bazik kayaçlarda	2000	1	0,05	150	2000	1
Bazalt/ Gabro	130	4	0,10	50	130	4
Gnays/ Mika	25	16	0,10	13	25	16
Granit	7	32	0,09	4	7	32
Kil taşı	70	22	0,13	20	70	22
Kum taşı	2	7	0,05	0,3	2	7
Kireç taşı	15	5	0,16	2	15	5
Lös	13	30	-	8	13	30
Marn	18	20	0,30	7	18	20

EK - 2 : Afşin Bölgesi Meteorolojik Verileri (1975-2009) (www.dmi.gov.tr)

(TC ÇEVRE ve ORMAN BAKANLIĞI DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ)

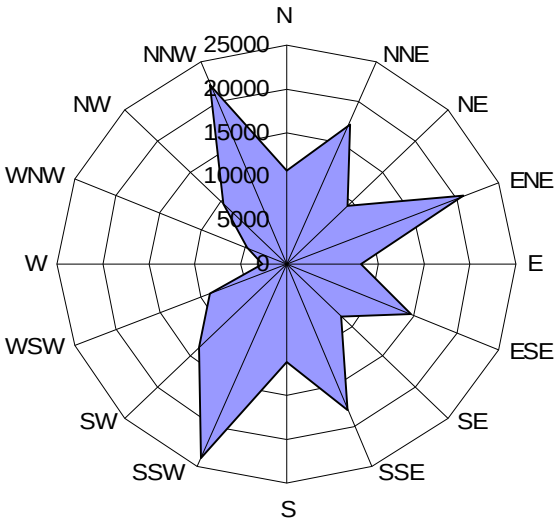
Enlem	38,15													
Boylam	36,55			17868- AFŞİN						1975-2009				
Yükseklik	1180													
PARAMETRE		RasatS (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
K Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	710	609	753	528	663	1206	1773	1337	934	602	699	788
KKD Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	1815	1262	1160	804	1071	1803	1838	2045	1423	1297	1360	1512
KD Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	996	765	669	440	655	761	1001	890	781	739	788	945
DKD Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	2029	1893	1429	1046	1484	1608	1477	1862	1763	1971	1960	2258
D Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	1133	902	766	428	518	416	417	484	466	515	907	1083
DGD Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	1871	1448	1269	980	1030	665	519	643	760	1518	2119	2053
GD Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	887	1000	923	804	553	397	334	289	474	612	994	1230
GGD Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	2060	1733	1886	1790	1535	909	700	846	1097	1764	1539	2000
G Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	1106	977	967	1036	1073	612	615	644	843	1199	1166	1033
GGB Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	1133	1487	2209	2859	2635	1676	1408	1721	2674	2847	2059	1146
GB Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	343	728	1518	1832	1612	1056	866	1129	1577	1332	846	514
BGB Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	401	403	869	1184	1034	738	685	806	888	897	595	557
B Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	157	128	224	291	315	258	264	204	223	345	128	154
BKB Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	241	278	367	517	534	553	380	402	486	492	301	298
KB Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	510	598	626	670	864	1163	1592	1269	912	548	512	415
KKB Yönünde Rüzgarın Esme Sayıları Toplamı		35	1431	1186	1440	1240	1438	2725	3738	3252	1939	1161	1261	1384

Afşin Bölgesi Meteorolojik Verileri (1975-2009) (www.dmi.gov.tr)

(TC ÇEVRE ve ORMAN BAKANLIĞI DEVLET METEOROLOJİ İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ)

Enlem	38,15														
Boylam	36,55		17868- AFŞİN						1975-2009						
Yükseklik	1180														
PARAMETRE		RasatS (YIL)	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	
K Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	2,2	2,4	2,7	2,7	2,1	2,6	2,7	2,4	2,3	2,0	2,4	2,0	
KKD Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,4	1,7	1,8	1,7	1,5	1,9	2,1	1,8	1,6	1,3	1,5	1,4	
KD Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,5	1,7	1,9	1,8	1,7	1,9	2,0	1,8	1,6	1,4	1,5	1,3	
DKD Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,2	1,3	1,5	1,6	1,5	1,5	1,6	1,6	1,5	1,3	1,2	1,1	
D Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,1	1,3	1,6	1,5	1,6	1,4	1,4	1,5	1,4	1,3	1,1	1,1	
DGD Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,2	1,4	1,8	1,8	1,6	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,2	1,3	
GD Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	2,0	2,2	2,5	2,7	2,1	1,8	1,9	1,9	1,7	1,9	1,6	1,9	
GGD Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,5	1,6	1,9	2,2	1,8	1,8	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,5	
G Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,6	1,8	2,2	2,6	2,3	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,7	
GGB Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,8	2,1	2,4	2,7	2,5	2,3	2,1	2,2	2,0	1,8	1,9	1,9	
GB Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	2,4	2,7	2,9	3,4	3,1	3,1	2,9	3,1	2,8	2,2	2,2	2,3	
BGB Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,6	1,8	2,0	2,1	1,9	1,9	1,8	1,8	1,8	1,5	1,7	1,7	
B Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,3	1,4	1,8	2,3	2,0	2,0	1,6	1,5	1,6	1,4	1,2	1,4	
BKB Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	1,6	1,2	1,9	1,9	1,9	1,7	1,7	1,6	1,4	1,2	1,3	1,3	
KB Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	2,8	2,7	3,0	3,0	2,7	2,9	3,0	2,7	2,4	2,2	2,8	2,3	
KKB Yönünde Rüzgarın Ortalama Hızı (m/sec)		35	2,0	2,0	2,5	2,4	2,2	2,6	2,7	2,4	2,1	1,7	2,0	1,9	

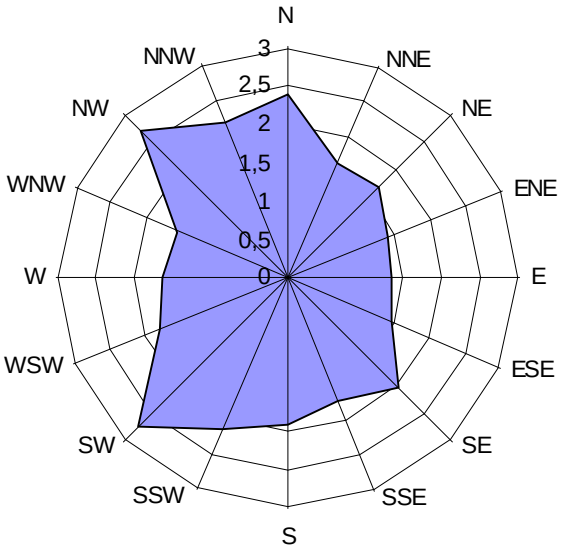
Yönlere Göre Esme Sayıları Toplamı



Yönler	Yönlere Göre Esme Sayıları Toplamı
N	10602
NNE	17390
NE	9430
ENE	20780
E	8035
ESE	14875
SE	8497
SSE	17859
S	11271
SSW	24154
SW	13353
WSW	9057
W	2591
WNW	4849
NW	9679
NNW	22195

(www.dmi.gov.tr)

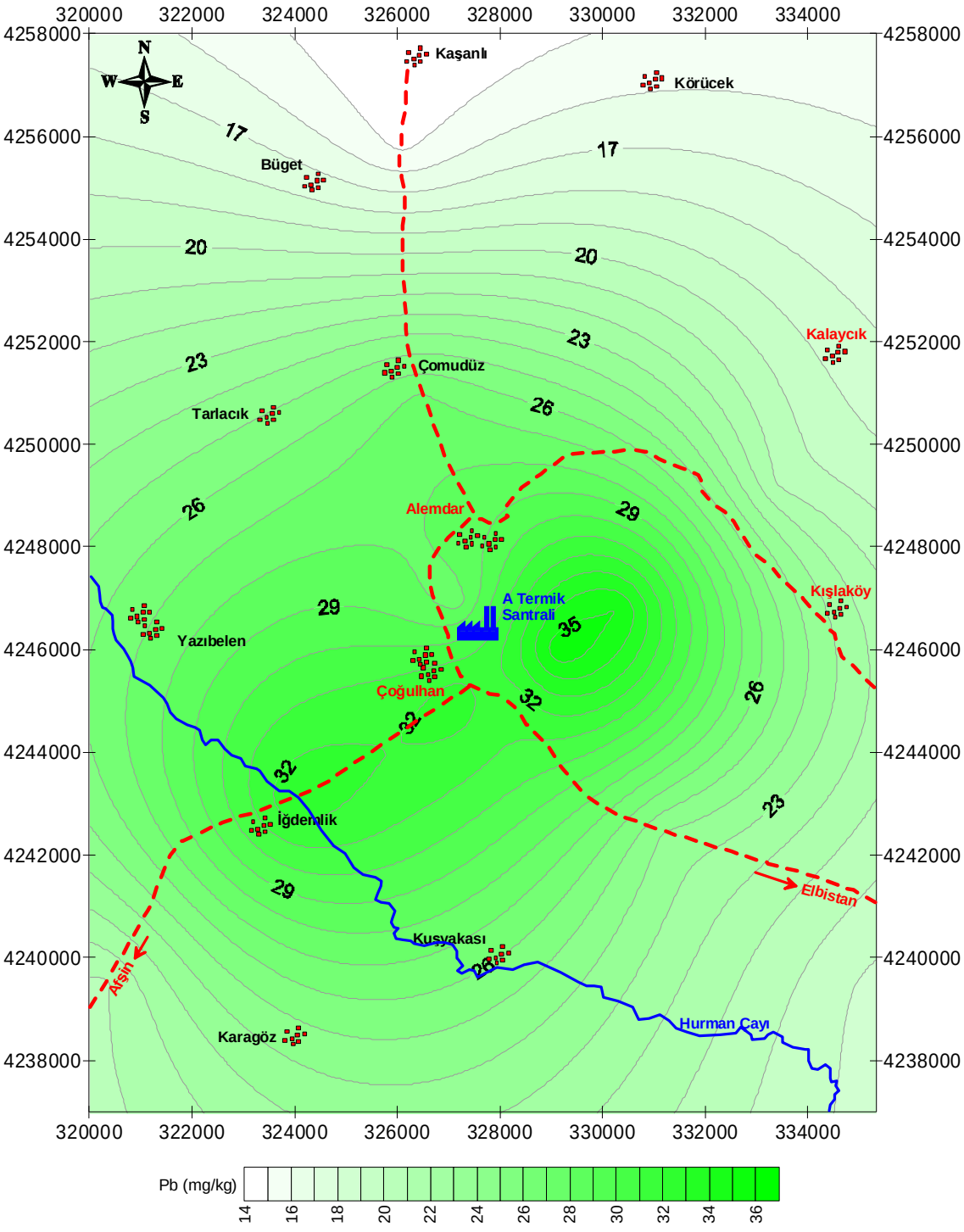
Yönlere Göre Ortalama Rüzgar Hızı



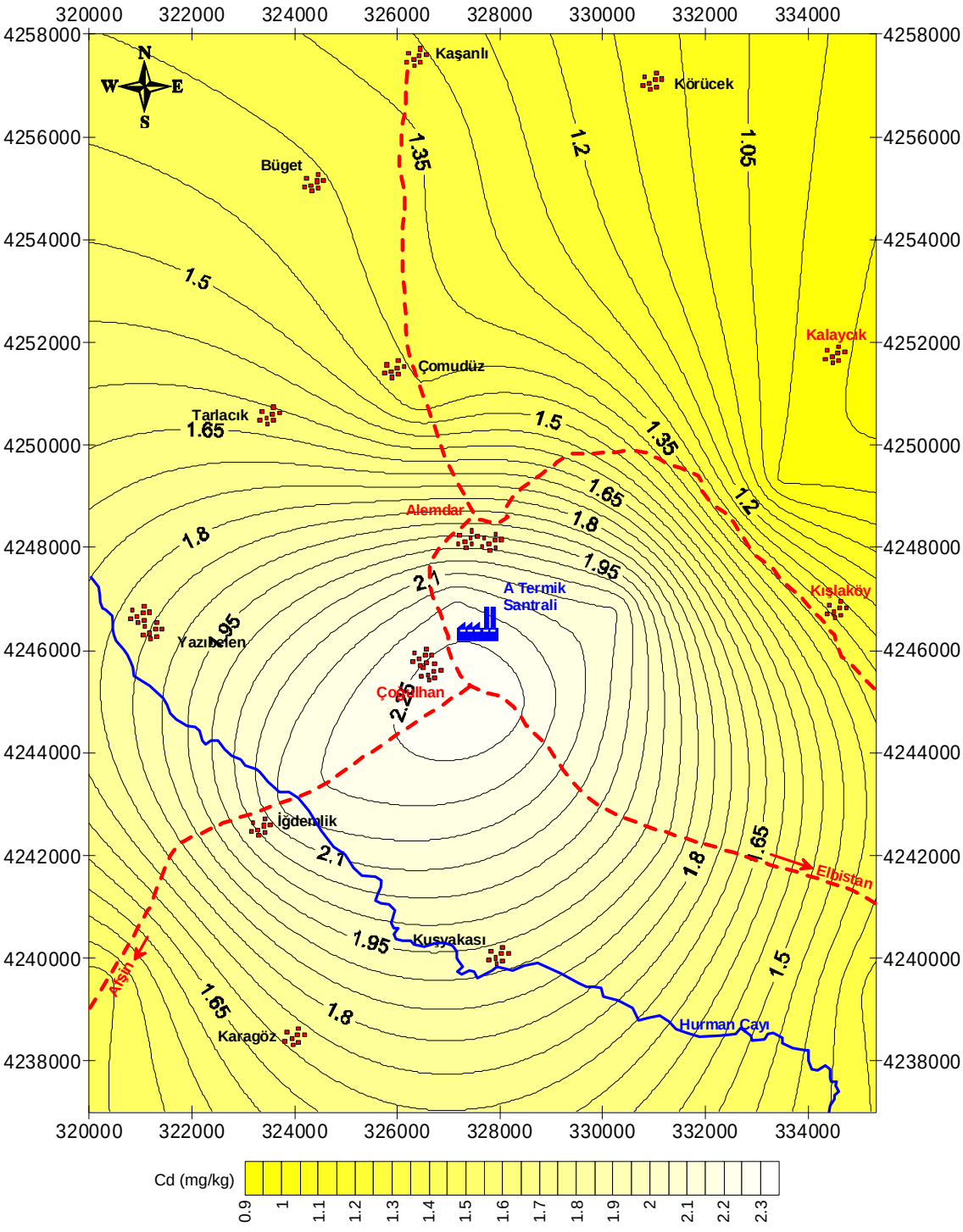
Yönler	Yönlere Göre Ortalama Rüzgar Hızı
N	2,37
NNE	1,64
NE	1,67
ENE	1,4
E	1,35
ESE	1,45
SE	2,01
SSE	1,7
S	1,9
SSW	2,14
SW	2,75
WSW	1,8
W	1,62
WNW	1,55
NW	2,7
NNW	2,2

(www.dmi.gov.tr)

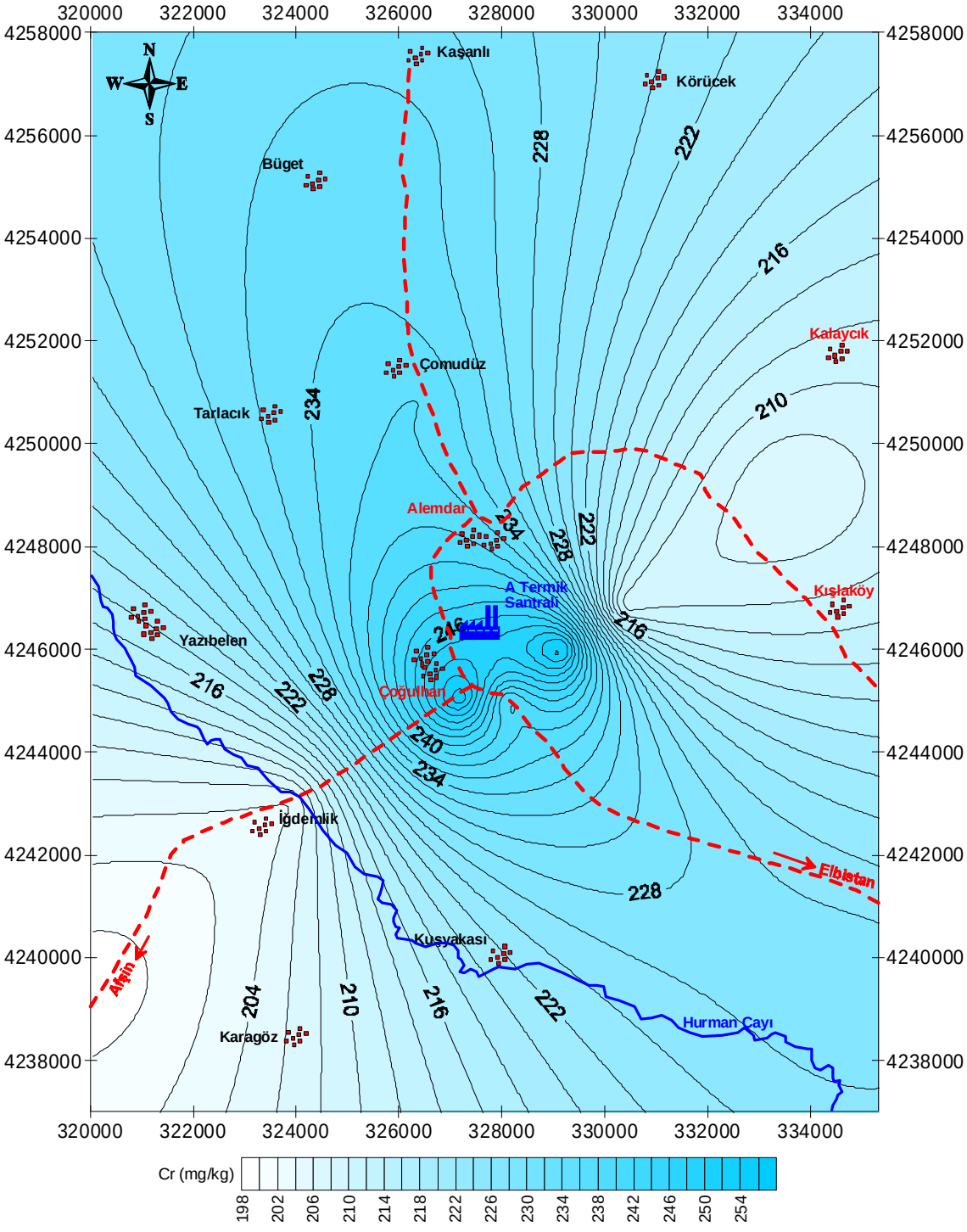
EK - 3: Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Kurşun (Pb) Dağılımı.



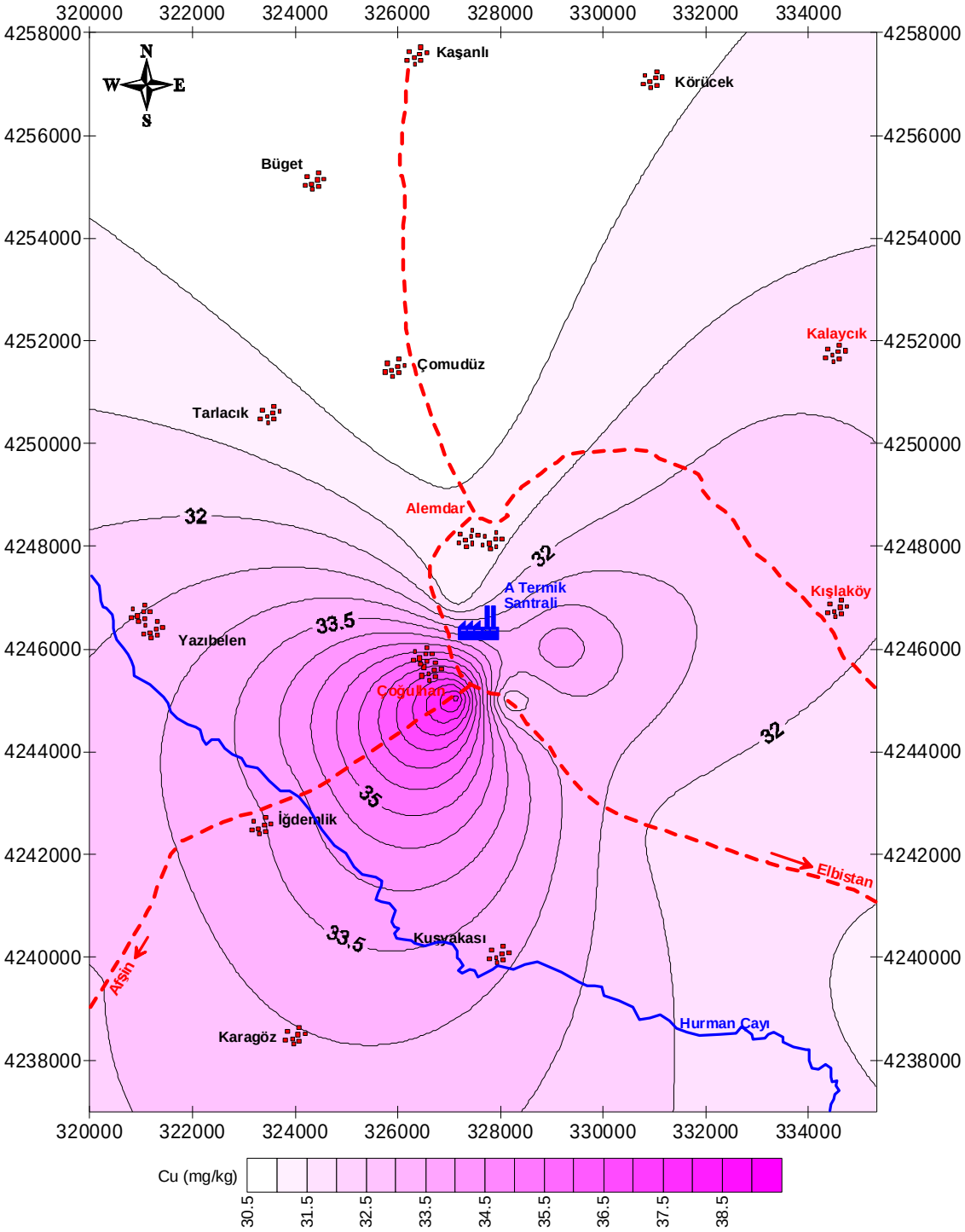
EK - 4 : Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Kadmiyum (Cd) Dağılımı.



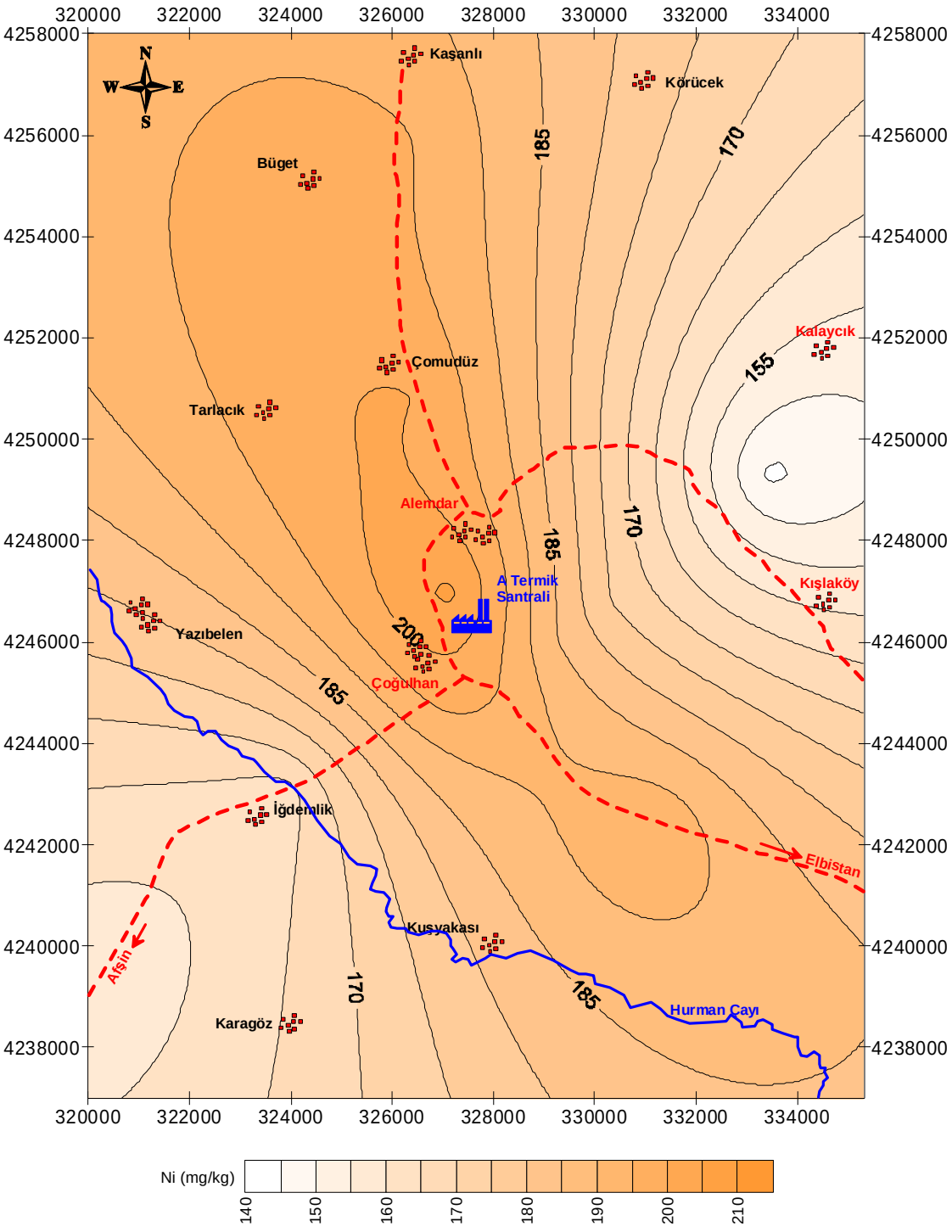
EK - 5 : Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Krom (Cr) Dağılımı.



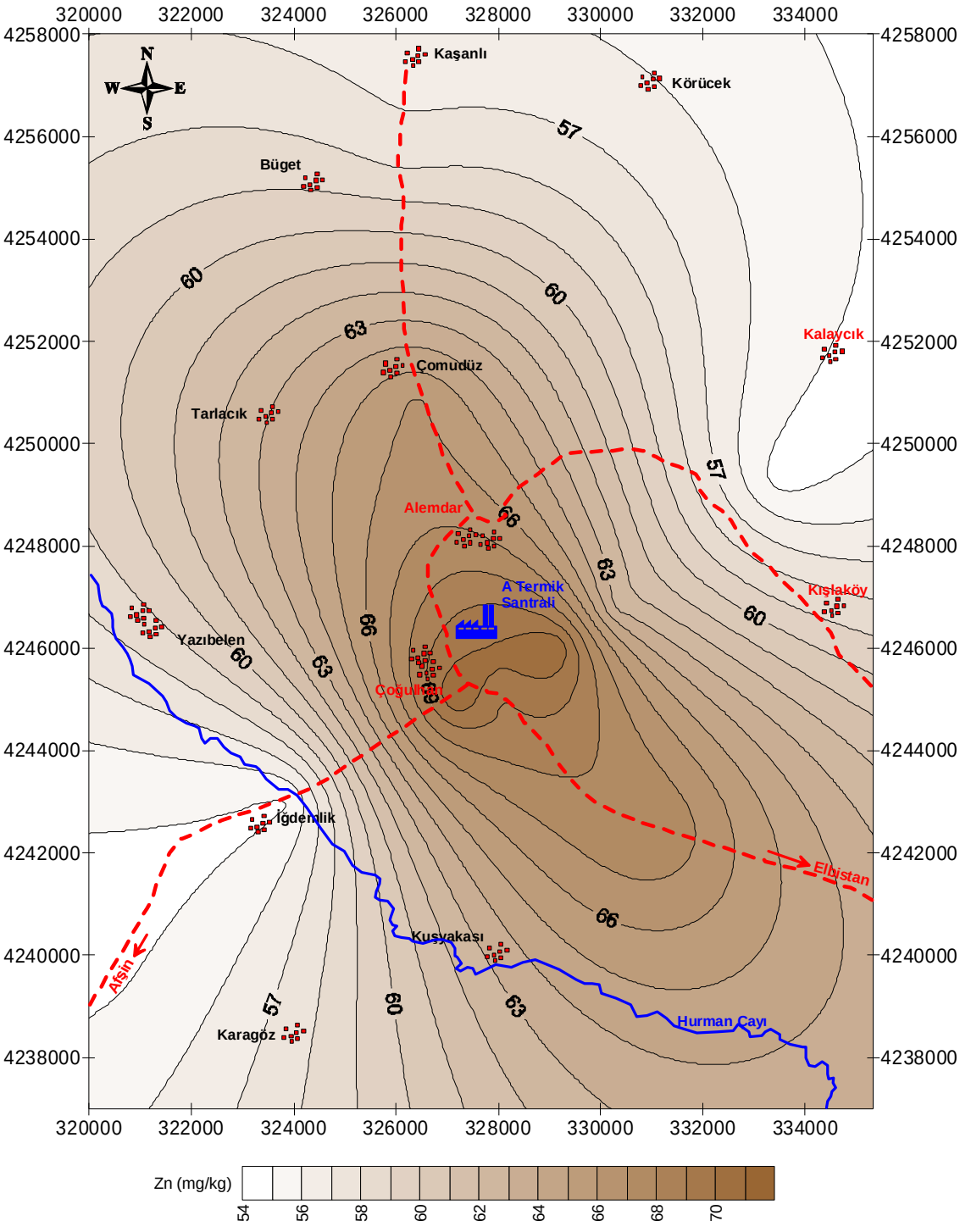
EK - 6 : Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Bakır (Cu) Dağılımı.



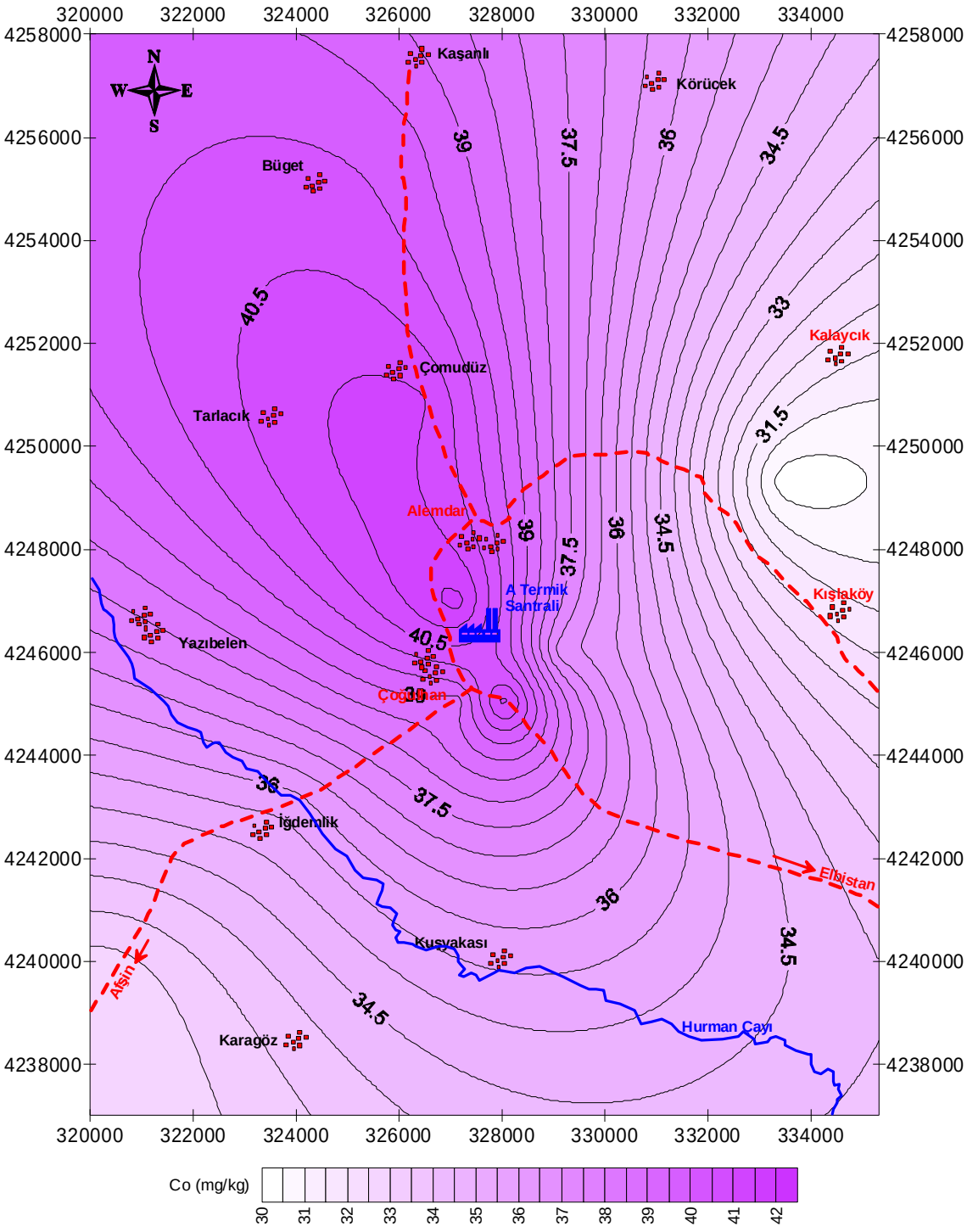
EK - 7 : Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Nikel (Ni) Dağılımı.



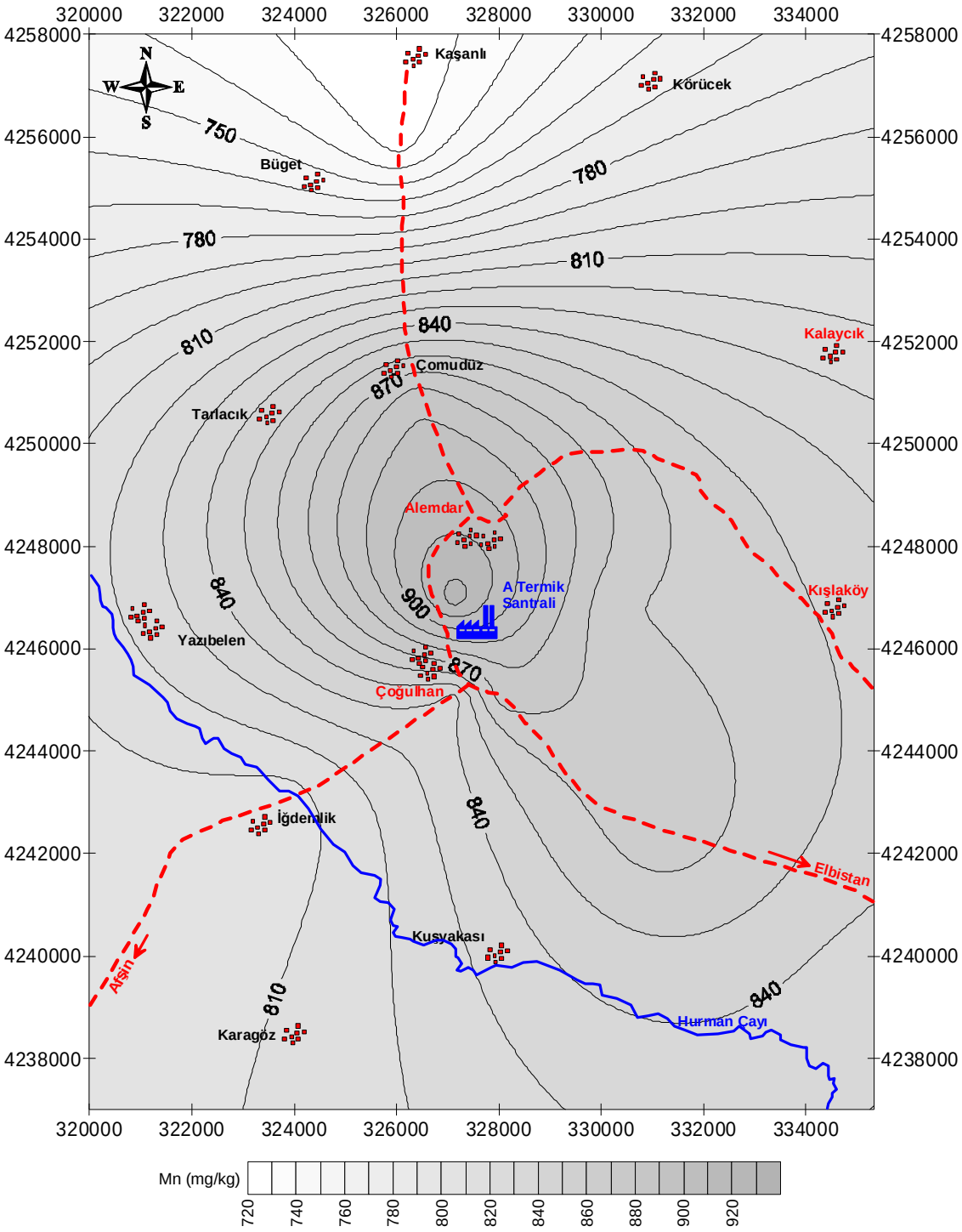
EK - 8 : Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Çinko (Zn) Dağılımı.



EK - 9 : Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Kobalt (Co) Dağılımı.



EK - 10 : Afşin Elbistan A Termik Santrali Yakın Çevresindeki Topraklarda Mangan (Mn) Dağılımı.



EK - 11 : Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği Ek 11 A "Atıkların Düzenli Depo Tesislerine Depolanabilme Kriterleri"

		İnert Atık olarak muamele görecek atıklar (mg/lt)	Tehlikesiz Atık olarak muamele görecek atıklar (mg/lt)	Tehlikeli Atık olarak muamele görecek atıklar (mg/lt)
1	**Eluat Kriterleri L/S = 10 lt/kg**			
1.01	As (Arsenik)	≤ 0.05	0,05–0,2	< 0,2–2,5
1.02	Ba (Baryum)	≤ 2	2–10	< 10–30
1.03	**Cd (Kadmiyum)**	**≤ 0,004**	**0,004 – 0,1**	**< 0,1–0,5**
1.04	**Cr toplam (Krom Toplam)**	**≤ 0,05**	**0,05–1**	**< 1 – 7**
1.05	**Cu (Bakır)**	**≤ 0,2**	**0,2 – 5**	**< 5 – 10**
1.06	Hg (Civa)	≤ 0,001	0,001– 0,02	< 0,02– 0,2
1.07	Mo (molibden)	≤ 0,05	0,05 - 1	< 1 – 3
1.08	**Ni (Nikel)**	**≤ 0,04**	**0,04 – 1**	**< 1 – 4**
1.09	**Pb(Kurşun)**	**≤ 0,05**	**0,05 – 1**	**< 1 – 5**
1.10	Sb (Antimon)	≤ 0,006	0,006 -0,07	< 0,07 -0,5
1.11	Se(Selenyum)	≤ 0,01	0,01 – 0,05	< 0,05 – 0,7
1.12	**Zn (Çinko)**	**≤ 0,4**	**0,4 -5**	**< 5 -20**
1.13	Klorür	≤ 80	80 - 1500	< 1500 – 2500
1.14	Florür	≤ 1	1 -15	< 15 -50
1.15	Sülfat	≤ 100	100 – 2000	< 2000- 5000
1.16	DOC (Çözünmüş Organik karbon)(1)	≤ 50	50-80	<80-100
1.17	TDS (Toplam çözünen katı)	≤400	400-6000	<6000-10000
1.18	Fenol İndeksi	≤ 0,1		
2	**Orijinal atıkta bakılacak kriterler**	**(mg/kg)**	**(mg/kg)**	**(mg/kg)**
2.1	TOC(toplam organik karbon)	≤ 30000 (%3)	50000 (%5) - pH ≥ 6 (2)	60000 (%6)
2.2	BTEX(benzen, toluen, etilbenzen ve xylenes)	6		
2.3	PCBs	1		
2.4	Mineral yağ	500		
2.5	LOI (Kızdırma Kaybı)			10000 (%10)

(1) DOC limit değeri atığın kendi pH değerinde sağlanamıyorsa, pH 7,5 – 8,0 değerinde test tekrarlanmalı ve limit değerin aşılmadığı tespit edilmelidir.

(2) Tehlikesiz jips bazlı atıkların evsel atık düzenli depolama sahalarında çözünebilen atıkların kabul edilmediği ayrı bir hücrede depolanması gerekir. Jips bazlı atıklarla birlikte depolanacak atıkların bu limitleri sağlaması gerekir.