



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Yüksek Lisans Tezi

**TERMİK SANTRAL KÜLLERİNİN İZ ELEMENT
İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Maden Müh. Naranbaatar ENKHTAIVAN

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. İlgin KURŞUN

Eylül, 2013

İSTANBUL



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Yüksek Lisans Tezi

**TERMİK SANTRAL KÜLLERİNİN İZ ELEMENT
İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Maden Müh. Naranbaatar ENKHTAIVAN

Maden Mühendisliği Anabilim Dalı

Maden Mühendisliği Programı

Danışman

Doç. Dr. İlgin KURŞUN

Eylül, 2013

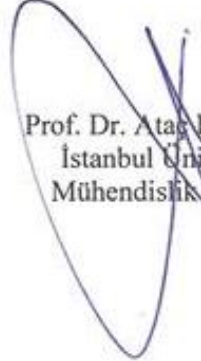
İSTANBUL

Bu çalışma 09 / 09 / 2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Yüksek Lisans Programında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi


Doç. Dr. İlgin KURŞUN (Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Alaettin KILIÇ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Ataç BAŞÇETİN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Prof. Dr. Şafak G. ÖZKAN
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi


Yrd. Doç. Dr. Nurullah HANILÇI
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 22330 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımlardan dolayı başta çok değerli danışman hocam Doç. Dr. İlgin KURŞUN'a teşekkür ederim. Ayrıca, Cevher Hazırlama Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Şafak G. ÖZKAN'a, Bölüm Başkanı Prof. Dr. Alaettin KILIÇ'a ve Yrd. Doç. Dr. Hasan HACİFAZLIOĞLU'a teşekkür borç bilirim.

Tez çalışmalarım ve laboratuvar çalışmaları boyunca gösterdiği yardımlar için Araş. Gör. Mert Terzi'ye teşekkür ederim.

Yüzey kimyası laboratuvarında gerçekleştirilen deneylerdeki yardımlarından dolayı değerli hocam Yrd.Doç.Dr. Orhan ÖZDEMİR'e ve Araş. Gör. Dilek ŞENOL'a teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. İsmail DEMİR'e ve tüm İstanbul Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve görevlilerine en içten dileklerle teşekkür ederim.

Çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne de teşekkürü borç bilirim.

Eylül, 2013

Naranbaatar

ENKHTAİVAN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
TABLO LİSTESİ.....	xi
SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiv
1.GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	2
2.1 DÜNYA’DA VE TÜRKİYE’DE ENERJİ DURUMU.....	2
2.2. TERMİK SANTRALLER	7
2.2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Termik Santraller	9
2.2.2. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri	13
2.3. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER	15
2.3.1. Dünya’da ve Türkiye’de Kömür Rezervleri	15
2.3.2. Kömürlerin Sınıflandırılması	17
2.3.3. Kömürün Özellikleri	19
2.3.3.1. Kömürün Fiziksel Özellikleri	19
2.3.3.2. Kömürün Kimyasal Özellikleri.....	21
2.3.3.3. Kömürün Petrografik ve Mineralojik Özellikleri.....	23
2.3.3.4. Kömür Yakma İşlemleri Sırasında İz Elementlerin Davranışları	23
2.4. UÇUCU KÜLLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER	26
2.4.1. Uçucu Küllerin Tanım ve Oluşumu	27
2.4.2. Uçucu Küllerin Özellikleri.....	29
2.4.2.1. Uçucu Küllerin Türleri.....	29
2.4.2.2. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması	30
2.4.2.3. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri.....	32
2.4.2.4. Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri.....	35

2.4.3. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları.....	39
2.4.3.1. Uçucu Küllerin Kullanımında İz Elementlerin Etkileri	40
2.4.4. Uçucu Küllerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler	41
2.4.4.1. Kuru Ayırma Yöntemleri	41
2.4.4.2. Yaş Ayırma Yöntemleri.....	43
2.4.4.3. Uçucu Küllerden İz Elementlerin ve Değerli Metallerin Kazanılması	43
2.4.5. Uçucu Küllerin Çevresel Etkileri	47
2.4.6. İz Elementler, Radyoaktif Elementler ve Özellikleri.....	51
2.4.6.1. Nadir Toprak Elementlerinin Özellikleri	52
2.4.6.2. Uranyum.....	56
2.4.6.3. Toryum	61
2.4.6.4. Kömürde Radyoaktivite	65
2.4.6.5. Linyitlerde Uranyum ve Toryum Birikimi	68
2.4.6.6. İz Elementlerin Liç Özellikleri	71
2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	72
2.6. ÇALIŞMA SAHALARI.....	78
2.6.1. Yatağan Termik Santralinin Tanıtımı	78
2.6.1.1. Yerleşim Bölgesinin Tanıtımı	78
2.6.1.2. Yatağan Termik Santralinin Kuruluş Amacı ve Yer Seçimi	79
2.6.1.3. Santralden Kaynaklanan Çevre Sorunlarının Giderilmesi Çalışmaları	82
2.6.2. Soma Termik Santralinin Tanıtımı	85
2.6.2.1. Yerleşim Bölgesinin Tanıtımı	85
2.6.2.2. Soma Termik Santralinin Kuruluş Amacı ve Yer Seçimi.....	85
3. MALZEME VE YÖNTEM.....	89
3.1. UÇUCU KÜLLERİN KARAKTERİZASYONUNDA KULLANILAN YÖNTEMLER	89
3.1.1. Numune Hazırlamada Kullanılan Cihazlar	89
3.1.1.1. Bilyalı Değirmen	89
3.1.1.2. Agat Öğütücü	90
3.1.2. Fiziksel Analizler	91

3.1.2.1. Nem Analizleri.....	91
3.1.2.2. Tane Boyutu Analizleri.....	91
3.1.2.3. Yoğunluk Tayini	92
3.1.3. Kimyasal Analizler	93
3.1.3.1. X-Ray Fluorescence (XRF) Analizleri	93
3.1.3.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma- Emisyon Spektrometresi (ICP ES) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektrometresi (ICP MS) Analizleri	93
3.1.3.3. pH Profili Ölçümleri	94
3.1.4. Elektrokimyasal Ölçümler	95
3.1.4.1. Zeta Potansiyeli Ölçümleri	95
3.1.5. Mineralojik Analizler	96
3.1.5.1. X-Ray Difraktometre (XRD) Analizleri.....	96
3.1.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri.....	97
3.2. LİÇ ÜNİTESİ.....	99
4. BULGULAR.....	101
4.1. NUMUNELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	101
4.1.1. Nem Analizi Sonuçları.....	101
4.1.2. Tane Boyutu Analiz Sonuçları.....	101
4.1.2.1. Yatağan TS Külünün Tane Boyutu Analizi Sonuçları	101
4.1.2.2. Soma TS Külünün Tane Boyutu Analizi Sonuçları.....	103
4.1.3. Yoğunluk Tayini Sonuçları.....	104
4.1.3.1. Yatağan TS Külünün Yoğunluk Deneyi Sonuçları	104
4.1.3.2. Soma TS Külünün Yoğunluk Deneyi Sonuçları.....	104
4.1.4. Numunelerin pH Profilleri	105
4.1.5. Zeta Potansiyeli Ölçümlerinin Sonuçları	106
4.2. NUMUNELERİN MİNERALojİK ÖZELLİKLERİ.....	107
4.2.1. Soma ve Yatağan TS'lerine Beslenen Kömürlerin Mineralojik Özellikleri.....	107
4.2.2. Soma ve Yatağan TS Küllerinin Mineralojik Özellikleri	109
4.2.3. Uçucu Küllerin Optik Mikroskopta İncelenmesi	111
4.2.3.1. Yatağan TS Küllerinin Mikroskop Fotoğrafları.....	112

4.2.3.2. Soma TS Küllerinin Mikroskop Fotoğrafları	113
4.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları	114
4.2.4.1. Yatağan TS Külünün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları	114
4.2.4.2. Yatağan TS'ne Beslenen Kömürün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları.....	115
4.2.4.3. Soma TS Külünün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları	116
4.2.4.4. Soma TS'ne Beslenen Kömürün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları.....	117
4.2.5. Uçucu Küllerin İnce Kesit Fotoğrafları	118
4.3. NUMUNELERİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	119
4.3.1. Yatağan Termik Santrali Külü ve Kömürünün Kimyasal Analizi	119
4.3.2. Soma Termik Santrali Külü ve Kömürünün Kimyasal Analizi	126
4.3.3. Suda Çözünürlük Deneyi Sonuçları	133
4.3.4. Numunelerin Uçucu Kül Standartlarına Göre Sınıflandırma Sonuçları	136
4.4. LİÇ DENEYLERİ.....	137
4.4.1. Sülfürik Asitle (H_2SO_4) Liç Deneyleri.....	137
4.4.1.1. Yatağan ve Soma TS Külünün H_2SO_4 Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözünme Veriminin P.K.O'ya Göre Değişimi.....	138
4.4.1.2. Yatağan ve Soma TS Külünün H_2SO_4 Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Süresine Göre Değişimi	141
4.4.1.3. Yatağan ve Soma TS Külünün H_2SO_4 Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Asit Miktarına Göre Değişimi.....	144
4.4.1.4. Yatağan ve Soma TS Külünün H_2SO_4 Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Sıcaklığına Göre Değişimi.....	146
4.4.2. Hidroklorik Asitle (HCl) Liç Deneyleri.....	149
4.4.2.1. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin P.K.O'ya Göre Değişimi.....	149

4.4.2.2. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Süresine Göre Değişimi.....	152
4.4.2.3. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Asit Miktarına Göre Değişimi	154
4.4.2.4. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Sıcaklığına Göre Değişimi.....	157
4.4.3. Asetik Asitle (CH_3COOH) Liç Deneyleri.....	160
4.4.3.1. Yatağan ve Soma TS Külünün CH_3COOH Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözünme Veriminin P.K.O'ya Göre Değişimi.....	160
4.4.3.2. Yatağan TS Külünün CH_3COOH Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Süresine Göre Değişimi.....	163
4.4.3.3. Yatağan ve Soma TS Külünün CH_3COOH Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Asit Miktarına Göre Değişimi.....	166
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	170
KAYNAKLAR	177
EKLER.....	184
EK 1. Deneysel çalışmalara ait akım şeması	184
ÖZGEÇMİŞ.....	185

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: 2010 yılı Dünya birincil enerji arzı kaynak payları.....	4
Şekil 2.2: Türkiye elektrik üretim değerleri ve EÜAŞ'ın payı.....	6
Şekil 2.3: Kömür yakan termik santralin şematik görünümü.....	8
Şekil 2.4: Türkiye'de kurulu termik santrallerin yerleri.....	12
Şekil 2.5: Dünya kömür rezervlerinin kömür kategorilerine göre dağılımı	15
Şekil 2.6: Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı	16
Şekil 2.7: Bazı iz elementlerin yanma sonrası bulunma yerleri	24
Şekil 2.8: Yanma sırasında ve sonrasında iz elementlerin davranışı.....	26
Şekil 2.9: Kömürün yanması sonucu oluşan kül ve uçucu kül değerleri.....	29
Şekil 2.10: Türkiye'deki Çatalağzı termik santrali uçucu küllerinin SEM görüntüsü.....	30
Şekil 2.11: Tipik bir F sınıfı uçucu külün SEM'de görünümü.....	31
Şekil 2.12: Uçucu kül taneciğinin şematik kesiti.....	34
Şekil 2.13: Paralel plakalı triboelektrostatik ayırıcısının şematik diyagramı	42
Şekil 2.14: Kafes plakalı triboelektrostatik ayırıcısının şematik diyagramı	42
Şekil 2.15: Uçucu külden alüminyum kazanımı için geliştirilen kireç-soda-sinter yöntemi akım şeması.....	45
Şekil 2.16: Uçucu küllerin oluşturduğu bir atık yığını	48
Şekil 2.17: Dünya'da uranyumun bilinen kaynakları	59
Şekil 2.18: Uranyumun kömüre bağlanması	70
Şekil 2.19: Kül örnekleri alınan termik santrallerin yer bulduru haritası	78
Şekil 2.20: Yatağan termik santrali	79
Şekil 2.21: Soma-B termik santrali.....	86
Şekil 3.1: Deneylerde kullanılan laboratuvar tipi Denver markalı bilyalı değirmen ve değirmen tahrik ünitesi.....	89
Şekil 3.2: Numune öğütmede kullanılan Retsch marka agat öğütücü	90
Şekil 3.3: Nem analizlerinde kullanılan Memmert ULM500 etüv	91

Şekil 3.4: Tane boyutu analizlerinde kullanılan Retsch marka elekler	92
Şekil 3.5: Rigaku model X- Işınları floresans spektrometre cihazı	93
Şekil 3.6: İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi	94
Şekil 3.7: Zeta potansiyel ölçümlerinin yapıldığı Zeta Plus cihazı	95
Şekil 3.8: Max-2200/PC XRD cihazı	97
Şekil 3.9: Quanta FEG 450 markalı taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı.....	97
Şekil 3.10: Wise Bath WSB30 karıştırılmalı su banyosu	99
Şekil 3.11: Liç sonrası katı sıvı ayrımı işlemi	100
Şekil 4.1: Yatağan TS külünün kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.....	102
Şekil 4.2: Soma TS külünün kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği.....	103
Şekil 4.3: Yatağan ve Soma TS küllerinin pH profilleri	106
Şekil 4.4: Yatağan ve Soma TS küllerinin zeta potansiyel grafiği.....	107
Şekil 4.5: Yatağan TS'ne beslenen kilce zengin kömür numunesinin XRD kırınım deseni.....	108
Şekil 4.6: Soma TS'ne beslenen kilce zengin kömür numunesinin XRD kırınım deseni.....	109
Şekil 4.7: Yatağan TS külünün XRD kırınım deseni	110
Şekil 4.8: Soma TS külünün XRD kırınım deseni.....	111
Şekil 4.9: Yatağan TS külünün mikroskop fotoğrafları.....	112
Şekil 4.10: Soma TS külünün mikroskop fotoğrafları.....	113
Şekil 4.11: Yatağan TS külünün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları.....	114
Şekil 4.12: Yatağan TS'ne beslenen kömürün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları.....	115
Şekil 4.13: Soma TS külünün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları.....	116
Şekil 4.14: Soma TS'ne beslenen kömürün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları.....	117
Şekil 4.15: Soma ve Yatağan TS küllerinin ince kesit fotoğrafları	118
Şekil 4.16: Yatağan TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (I)	124
Şekil 4.17: Yatağan TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (II).....	124

Şekil 4.18: Yatağan TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (III)	125
Şekil 4.19: Soma TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (I)	131
Şekil 4.20: Soma TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (II).....	132
Şekil 4.21: Soma TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (III)	132
Şekil 4.22: Yatağan ve Soma TS küllerinin sıcaklığa bağlı ağırlık değişimlerinin grafiksel gösterimi.....	134
Şekil 4.23: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği.....	139
Şekil 4.24: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği.....	140
Şekil 4.25: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği.....	142
Şekil 4.26: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği.....	143
Şekil 4.27: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği	145
Şekil 4.28: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği.....	146
Şekil 4.29: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği.....	147
Şekil 4.30: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği.....	148
Şekil 4.31: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği.....	150
Şekil 4.32: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği.....	151
Şekil 4.33: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği.....	153

Şekil 4.34: Soma TS külünün HCl asit ile asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği.....	154
Şekil 4.35: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği	155
Şekil 4.36: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği	156
Şekil 4.37: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği.....	158
Şekil 4.38: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği.....	159
Şekil 4.39: Yatağan TS külünün CH ₃ COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği.....	161
Şekil 4.40: Soma TS külünün CH ₃ COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği.....	162
Şekil 4.41: Yatağan TS külünün CH ₃ COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği.....	164
Şekil 4.42: Soma TS külünün CH ₃ COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği.....	165
Şekil 4.43: Yatağan TS külünün CH ₃ COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği	167
Şekil 4.44: Soma TS külünün CH ₃ COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği	168

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: 2009 yılı itibariyle Türkiye'nin yerli kaynak potansiyeli	5
Tablo 2.2: 2010 yılı Türkiye'deki kurulu güç ve elektrik üretim miktarlarının gruplara göre dağılımı	6
Tablo 2.3: Dünya'daki termik santraller	10
Tablo 2.4: Türkiye'deki termik santraller	11
Tablo 2.5: 2010 yılı sonu itibarıyla kurumlara ait linyit rezervleri	17
Tablo 2.6: Kömürlerin yanması sonrasında oluşan major inorganik dönüşümler	25
Tablo 2.7: TS 639'da belirtilen uçucu külün kimyasal özellikleri	31
Tablo 2.8: Uçucu külün kimyasal bileşimi.....	32
Tablo 2.9: Uçucu kül ile ilgili Türk standartları.....	32
Tablo 2.10: Uçucu ve taban küllerinin fiziksel özellikleri	33
Tablo 2.11: Örnek bir uçucu kül kimyasal analiz değerleri	36
Tablo 2.12: Türkiye'deki bazı termik santrallerde oluşan uçucu küllerin kimyasal içerikleri.....	36
Tablo 2.13: Uçucu külde bulunan başlıca elementler	37
Tablo 2.14: Uçucu kül içindeki ağır metal konsantrasyonu sınır değerleri	51
Tablo 2.15: Nadir toprak elementlerinin özellikleri.....	52
Tablo 2.16: Nadir toprak elementleri yatakları ve oksit yüzdeleri.....	52
Tablo 2.17: Nadir toprak elementlerinin ayrıntılı kullanım alanları	55
Tablo 2.18: Dünya uranyum rezervleri	59
Tablo 2.19: Dünya uranyum üretim miktarı	60
Tablo 2.20: Başlıca toryum mineralleri	62
Tablo 2.21: Değişik anyonlarla toryum iyonunun kompleks oluşumuna ilişkin denge sabitleri	62
Tablo 2.22: Düşük çözünürlük gösteren toryum bileşikleri	64
Tablo 2.23: Dünya toryum rezervleri.....	65
Tablo 2.24: Uçucu külde parçacık boyutuna göre zenginleşme faktörleri.....	67
Tablo 2.25: Yatağan Termik Santrali'nin yıllık üretim miktarı	81

Tablo 2.26: Yatağan Termik Santrali'nin teknik özellikleri	81
Tablo 2.27: Soma Termik Santrali'nin yıllık üretim miktarı	88
Tablo 2.28: Soma Termik Santrali'nin teknik özellikleri	88
Tablo 3.1: Wise Bath WSB30 karıştırmalı su banyosunun teknik özellikleri	99
Tablo 4.1: Yatağan TS külünün elek analizi sonuçları	102
Tablo 4.2: Soma TS külünün elek analizi sonuçları	103
Tablo 4.3: Yatağan ve Soma TS küllerinin saf su içerisinde süreye bağlı pH profilleri.....	105
Tablo 4.4: Yatağan TS'ne beslenen kömürlerin mineralojik özellikleri.....	107
Tablo 4.5: Soma TS'ne beslenen kömürlerin mineralojik özellikleri.....	107
Tablo 4.6: Yatağan TS külünün komple kimyasal analiz sonuçları.....	119
Tablo 4.7: Yatağan TS'ne beslenen kömürün komple kimyasal analiz sonuçları	120
Tablo 4.8: Yatağan TS külünde bulunan iz element içerikleri ve dağılımları	120
Tablo 4.9: Soma TS külünün komple kimyasal analiz sonuçları.....	126
Tablo 4.10: Soma TS'ne beslenen kömürün komple kimyasal analiz sonuçları	126
Tablo 4.11: Soma TS külünde bulunan iz element içerikleri ve dağılımları.....	127
Tablo 4.12: Yatağan TS külünün sıcaklığa bağlı ağırlık değişimi.....	133
Tablo 4.13: Soma TS külünün sıcaklığa bağlı ağırlık değişimi	133
Tablo 4.14: Yatağan TS külünün suda çözünürlük sonuçları	134
Tablo 4.15: Soma TS külünün suda çözünürlük sonuçları	135
Tablo 4.16: Yatağan ve Soma TS küllerinin çözünen ağır metal içeriklerinin su kalitesi yönetmeliğindeki sınır değerlerle karşılaştırılması	135
Tablo 4.17: Yatağan TS külünün H ₂ SO ₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları.....	138
Tablo 4.18: Soma TS külünün H ₂ SO ₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları.....	139
Tablo 4.19: Yatağan TS külünün H ₂ SO ₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları.....	141
Tablo 4.20: Soma TS külünün H ₂ SO ₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları.....	142
Tablo 4.21: Yatağan TS külünün H ₂ SO ₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları	144
Tablo 4.22: Soma TS külünün H ₂ SO ₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları	145

Tablo 4.23: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları.....	147
Tablo 4.24: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları.....	148
Tablo 4.25: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları.....	149
Tablo 4.26: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları.....	150
Tablo 4.27: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları.....	152
Tablo 4.28: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları.....	153
Tablo 4.29: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları	155
Tablo 4.30: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları	156
Tablo 4.31: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları.....	157
Tablo 4.32: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları.....	158
Tablo 4.33: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları	160
Tablo 4.34: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları	161
Tablo 4.35: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları.....	163
Tablo 4.36: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları.....	164
Tablo 4.37: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları	166
Tablo 4.38: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları	167

SEMBOL VE KISALTMALAR LİSTESİ

µm	: Mikronmetre, uzunluk birimi
Bq	: Becquerel, radyoaktivite birimi
ETKB	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EUAS	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi
IAEA	: Uluslararası Atom Enerji Ajansı
ICP-ES	: İndüktif eşleşmiş plazma-emisyon spektrometresi
ICP-MS	: İndüktif eşleşmiş plazma-kütle spektrometresi
IEA	: Uluslararası Enerji Ajansı
İAL	: İleri Analizler Laboratuvarı
K.K.	: Kızdırma kaybı
kcal	: Kilokalori, enerji birimi
kj	: Kilojoule enerji birimi
KSR	: Kömür sektör raporu
LPG	: Sıvılaştırılmış petrol gazı
Mhz	: Mega hertz, frekans birimi
ml	: Mililitre, hacim birimi
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
MW	: Mega watt, güç birimi
NTE	: Nadir toprak elementleri
°C	: Santigrad derece, sıcaklık birimi
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
ppb	: Milyarda bir kısım (piece per billion)
ppm	: Milyonda bir kısım (piece per million)
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu (Scanning electron microscopy)
TEK	: Türkiye Elektrik Kurumu
TEP	: Ton eşdeğer petrol
TKİ	: Türkiye Kömür İşletmeleri
TS	: Termik Santral
TS	: Termik santral
WEC	: Dünya Enerji Konseyi
XRD	: X-ışını kırınımı (X-ray diffraction)
XRF	: X-ışını floresans spektroskopisi (X-ray fluorescence)

ÖZET

TERMİK SANTRAL KÜLLERİNİN İZ ELEMENT İÇERİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İnsanoğlunun yaşamını refah içerisinde sürdürmek istemesi sosyal ve teknolojik gelişimi beraberinde getirmiştir. Sosyal ve teknolojik açıdan gelişmişliğin tüketilen enerji miktarıyla doğru orantılı olduğu gözükmemektedir. Dünya nüfusunun hızlı artışı tüketilecek enerjinin de artması anlamına gelmektedir. Özellikle Türkiye’de dünya ortalamasının üzerinde bir nüfus artışı olması her geçen gün enerjiye olan ihtiyacın daha da artacağını göstermektedir. Günümüzde kömür en önemli enerji kaynaklarından biridir. Türkiye’de enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, düşük kalorili, kül oranı yüksek linyitler kullanılmaktadır. Kömürün yanması sonucunda uçucu kül, cüruf ve baca gazı gibi atıklar oluşur. Türkiye’de bir yılda yaklaşık 45 milyon ton kömür yakılmakta ve ortalama 20 milyon ton uçucu kül üretilmektedir. Büyük miktardaki bu küller toplum ve çevre açısından büyük sorun teşkil etmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında, Dünya ve Türkiye’deki kömür yakan termik santraller ve bu santrallerden çıkan küllerin özellikleri üzerinde önce ayrıntılı literatür çalışması yapılmıştır. Sonraki aşamada ise Türkiye’de çalışmakta olan iki termik santral seçilerek bu santrallerden kül numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde bir dizi karakterizasyon, cevher hazırlama ve zenginleştirme deneyleri ve son olarak liç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında tane boyut analizi, nem analizi, yoğunluk tayini, pH profili ölçümleri, zeta potansiyeli ölçümleri, kimyasal analizler, mineralojik analizler ve iz element içeriği analizleri gerçekleştirilmiştir. Cevher hazırlama ve zenginleştirme çalışmaları kapsamında ise laboratuvar ölçekli kimyasal çözündürme deneyleri yapılmıştır. Kimyasal ve mineralojik çalışmaların ışığında, küllerin iz element içerikleri ayrıntılı olarak incelenmiştir. Küllerin değerlendirilebilmesi için sülfürik (H_2SO_4), hidroklorik (HCl) ve asetik (CH_3COOH) asit ile liç incelenmiş ve en uygun liç parametreleri araştırılarak küller içindeki uranyum ve toryum metallerinin kazanım imkanları irdelenmiştir.

Uçucu küllerinin mineralojik yapılarının ortaya konulabilmesi amacıyla XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri sonucunda Yatağan Termik Santrali uçucu kül numunesinin yüksek oranda kuvars- SiO_2 ve nispeten daha düşük miktarlarda albit- $Na(AlSi_3O_8)$ ve kalsit $CaCO_3$ minerallerini içerdiği, Soma Termik Santrali uçucu kül numunelerinin ise kireç, kuvars- SiO_2 , albit- $Na(AlSi_3O_8)$, kalsit $CaCO_3$, klorit, serpantin, pirit, montmorillonit minerallerini içerdiği belirlenmiştir. Uçucu küllerdeki silisin bir kısmı kuvars kristalleri halinde, diğer bir kısmı ise alüminyumla birleşerek mullite ($2SiO_2, 3Al_2O_3$) dönüşmüş halde, geri kalanın ise camsı yapıda olduğu belirlenmiştir. Demir ise kısmen manyetit (Fe_2O_4) ve hematit (Fe_2O_3) geri kalanın da camsı yapıda olduğu saptanmıştır. Mineralojik incelemeler ışığında Soma TS külünde uranyumun uraninit (UO_2), toryumun ise torit ($Th(SiO_4)$) formunda olduğu, Yatağan TS külünde ise

uranyumun uraninit (UO_2), toryumun ise monazit ((Ce, La, Nd, Th)[PO_4]) ve torit ($\text{Th}(\text{SiO}_4)$) formunda olduğu düşünölmektedir.

Termik santral uçucu kül numunlerinin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla ICP yöntemiyle komple kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda her iki kül numunesinin majör oksit ve iz element içerikleri ortaya konmuştur. Her iki numunenin de V, Zr, Sr, U, Th ve Ba içeriklerinin yüksek olduğu görölmüştür.

ASTM C618 standardına göre Yatağan termik santral uçucu kül numunesi; SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının % 72.38 oluşu ile F uçucu kül sınıfında, Soma termik santral uçucu kül numunesi ise SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının % 64.54 oluşu ile C uçucu kül sınıfında yer aldığı görölmüştür. Aynı zamanda bu küller CaO yüzdeleri % 10'un üstünde olduğu için yüksek kireçli kül sınıfında yer almaktadırlar.

Liç deneylerinde; üç farklı asit kullanımı ve bu asitlerde denenen tüm parametreler sonucunda, en iyi sonuç sülfürik asit (H_2SO_4) kullanımında ve %30 PKO, 120 g/ton H_2SO_4 miktarı, 240 dakika liç süresi ve 60 °C liç sıcaklığı koşullarında elde edilmiş olup Yatağan termik santrali kül numunesi için %97,12 uranyum çözünme verimi ve %91,21 toryum çözünme verimi, Soma termik santrali kül numunesi için de %94,71 uranyum çözünme verimi ve %93,21 toryum çözünme verimi elde edilmiştir.

SUMMARY

INVESTIGATION OF TRACE ELEMENTS CONTENT OF THERMAL POWER PLANT ASHES

The desire of mankind live within welfare has brought social and technologic developments. From social and technologic view, the development seemed to be proportional to the energy is consumed. As the growing world population, it should mean that the energy will increase as so. Especially in Turkey, where there is an increasing population with over average world population growing rate shows that the need for energy will increase. Nowadays coal is one of the most important sources of energy. Lignites that has low calorific value and high-ash are used in coal-burning thermal power plants with large capacity which were built to meet the needs of Turkey's energy consume. In the result of burning of coal, it produces wastes like volatile ash, slag and chimney gases. In Turkey, about 45 million tons of coal is burned and average of 20 million tons of volatile ash is produced in one year. This large quantity of ashes constitutes problems for society and environment.

Within the context of this thesis studies a detailed literature review has been made on coal-fired power plants in the world and in Turkey and the properties of fly ash from the power plants. In the next phase two thermal power plants which are currently running in Turkey are chosen and ash samples had taken from those power plants. Over the taken ash samples a series of characterization, ore enrichment and leaching experiments were performed. On the ashes, particle size analysis, moisture content analysis, ore preperation, enrichment, hydrometallurgical and chemical testing, mineralogical analysis and trace element analysis' were made. In the context of mineral processing studies laboratory scale leaching experiments were carried out. In the light of the chemical and mineralogical studies, trace element contents of ashes were examined in detail. To evaluate the ashes, sulfuric (H_2SO_4), hydrochloric (HCl) and acetic (CH_3COOH) acids with leaching method was applied and opportunities of recovery of precious metals in the ash by optimum leaching parameters were investigated.

XRD analysis was performed to determine mineralogical structure of fly ashes. As a result of the XRD analysis; the sample of Yatagan Thermal Power Plant fly ash includes high percentage of quartz- SiO_2 and relatively low amounts of albite- $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ and calcite CaCO_3 minerals. But the sample of Soma Thermal Power Plant fly ash includes limestone, quartz- SiO_2 , albite- $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$, calcite CaCO_3 , chlorite, serpentine, pyrite and montmorillonite minerals. It is determined that some part of the fly ash silica is crystalline quartz, while another part is converted into mullite (2SiO_2 , $3\text{Al}_2\text{O}_3$) because of the combination with aluminum and the rest has glassy structure. The structure of iron were found to be partially magnetite (Fe_2O_4) and hematite (Fe_2O_3) and the rest has glassy structure. In the light of mineralogical studies it is tought that uranium found as uraninite (UO_2) and thorium found as thorite ($\text{Th}(\text{SiO}_4)$) forms in Soma fly ashes and uranium found as uraninite (UO_2) and thorium found as monazite ($(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})[\text{PO}_4]$) and thorite ($\text{Th}(\text{SiO}_4)$) forms in Yatagan fly ashes.

In order to determine the chemical content of a thermal power plant fly ash samples, complete chemical analysis' were performed with ICP method. As a result of analysis, major oxides and trace element contents of both ashes have been revealed. Both samples' V, Zr, Sr, U, Th and Ba were found to be high.

According to ASTM C618 standard, sample of Yatagan thermal power plant fly ash is in F fly ash class, because of sum of contents of SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 is 72.38%. But the sample of Soma thermal power plant fly ash is classified at C fly ash class, because of being 64.54% of SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 contents' sum. These ashes are also located in high-lime ash class. Because they have above 10% CaO rate.

The result of leaching experiments using three different acid; the best result was obtained with usage of sulfuric acid (H_2SO_4) and under the condition of 30% solids, 120 g/t H_2SO_4 amount, 240 minutes leaching time and the 60°C leaching temperature. Also for the Yatagan thermal power plant fly ash sample; 97.12% of uranium dissolution yield, 91.21% of thorium dissolution yield, for the Soma thermal power plant fly ash sample; 94.71% of uranium dissolution yield, 93.21% of thorium dissolution yield was obtained.

1.GİRİŞ

Türkiye’deki termik santrallerde kullanılan kömürün yanması sonucu her yıl büyük miktarda uçucu kül atık olarak doğal çevreye bırakılmaktadır. Atık olarak oluşan uçucu kül ve kazan altı külleri farklı çevresel sorunlara yol açmaktadır. Bu sebeple uçucu külün çeşitli alanlarda kullanılması ve değerlendirilmesi çok önemlidir. Uçucu külün atık sularından ağır metallerin uzaklaştırılması, çimento ve asfalt katkı maddesi gibi kullanım alanlarına sahip olduğu bilinmektedir (Gunindi, 2005).

Termik santrallerde kömürün yanmasıyla kömürle birlikte bulunan kirliliğe sebep olma potansiyeline sahip As, Cd, Ga, Ge, Pb, Sb, Se, Sn, Mo, Ti ve Zn gibi toksik iz elementler atıklara (cüruf, kül ve gaza) transfer olurlar. Birçok tehlikeli elementi içeren uçucu küller ve kazan altı külleri toplama havuzlarında ya da yığınlar halinde depolanmaktadır. Ancak bu atıkların çok az kısmı kullanılmaktadır (Ayçık, 2008).

Kömürdeki kül yapısındaki elementlerin dağılımı farklıdır. Bazıları alüminasilikat matriksinde (Ti, Na, K, Mg, Hf, Th, Fe) bulunur veya (As, Se, Mo, Zn, Cd, W, V, U) yüzeyde konsantre olur ve (Ca, Sr, La, nadir toprak elementleri ve muhtemelen Ni) asitte çözülebilir fazda oluşur. Mn, Be, Cr, Cu, Co, Ga, Ba, ve Pb elementleri matriks ve matriks olmayan malzeme arasında dağılmıştır. Kömür ve asfaltitler genellikle Türkiye’de olduğu gibi yüksek oranlarda radyoaktif ve nadir metaller içerirler. Uçucu küller içinde Mo, Ni, V gibi nadir metaller ile U, Th gibi radyoaktif metalleri içeren mineral madde ile birleşmiş durumdadır, aynı zamanda da zengin hidrokarbon kaynaklarındandır. Nadir metaller esas olarak germanyum, molibden, vanadium, toryum, uranyum ve nikeldir (Haktanır, 2006). Uçucu küllerden değerli metallerin kazanılması çalışmaları son yıllarda oldukça artmıştır.

Bu çalışma kapsamında, Dünya ve Türkiye’deki kömür yakan termik santraller ve bu santrallerden çıkan küllerin özellikleri araştırılmış ve Türkiye’de çalışmakta olan iki termik santral seçilerek bu santrallerden kül numuneleri alınmıştır. Alınan numuneler üzerinde bir dizi karakterizasyon, cevher hazırlama ve zenginleştirme deneyleri ve son olarak liç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Liç deneyleri kapsamında en uygun liç parametreleri araştırılarak küller içindeki uranyum ve toryum metallerinin kazanım imkanları irdelenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 DÜNYA'DA VE TÜRKİYE'DE ENERJİ DURUMU

Bilindiği üzere enerji, hayat kalitesini iyileştiren, ekonomik ve sosyal ilerlemeyi sağlayan en önemli faktördür. Günümüzde dünya nüfusunun %20'sinden fazlasını teşkil eden 1,4 milyar insan halen elektriğe kavuşmuş değildir. Dünya nüfusunun %40'ı olan 2,7 milyar insan ise yemek pişirmek için geleneksel yöntemlerle biyokütle enerjisinden yararlanmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı projeksiyonları bu durumun uzun dönemde de devam edeceğini ve 2030 yılında %87'si kırsal bölgede yaşayan 1,2 milyar insanın elektriksiz yaşamaya devam edeceğini göstermektedir. Bu insanların büyük kısmı Orta ve Güney Afrika, Hindistan ve gelişmekte olan Asya ülkelerinde (Çin hariç) yaşıyor olacaktır. Bu ülkelerdeki açlık ve yoksullukla mücadelenin başarılı olması, enerjiye erişim konusunda önemli ilerlemeler kaydedilmesine bağlı olup, bu ilerlemelerin sağlanması için 2030 yılına kadar ilave yıllık 36 milyar ABD \$ harcama yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır (IEA, 2012).

Dünya birincil enerji arzı 1973 ve 2009 yılları arasında 36 yılda yaklaşık iki kat artarak 2009 itibariyle 12150 milyon ton eşdeğer petrol (tep) düzeyine ulaşmıştır. Söz konusu dönemde; petrolün payı %46'dan %32,8'e düşerken, doğal gazın payı %16'dan %20,9'a, nükleer enerjinin payı %0,9'dan %5,8'e ve hidrolik dahil yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı ise %1,9'dan %3,1'e yükselmiştir. Aynı dönemde kömürün payı ise 2,6 puan artışıyla %24,6'dan %27,2 düzeyine ulaşmıştır. 2009 yılında dünyadaki kömür arzı toplam 3305 milyon tep olarak gerçekleşmiştir (IEA, 2011).

2010 yılında; bir yanda, artan fosil yakıt fiyatları, enerji arz güvenliği, yakıt çeşitliliğinin sağlanması ve sera gazı emisyonları ile ilgili endişeler, diğer yanda ise geliştirilmiş reaktör tasarımlarının etkisiyle dünyada 16 reaktörün (1980 yılından bu yana rastlanan en büyük rakam) inşasına başlanmıştır. Mart 2012 itibariyle, 31 ülkede 436 nükleer santral işletmede olup, 15 ülkede 60,1 GW kurulu güce sahip olacak 63 adet nükleer santral da inşa halindedir. İnşaa halindeki santrallere

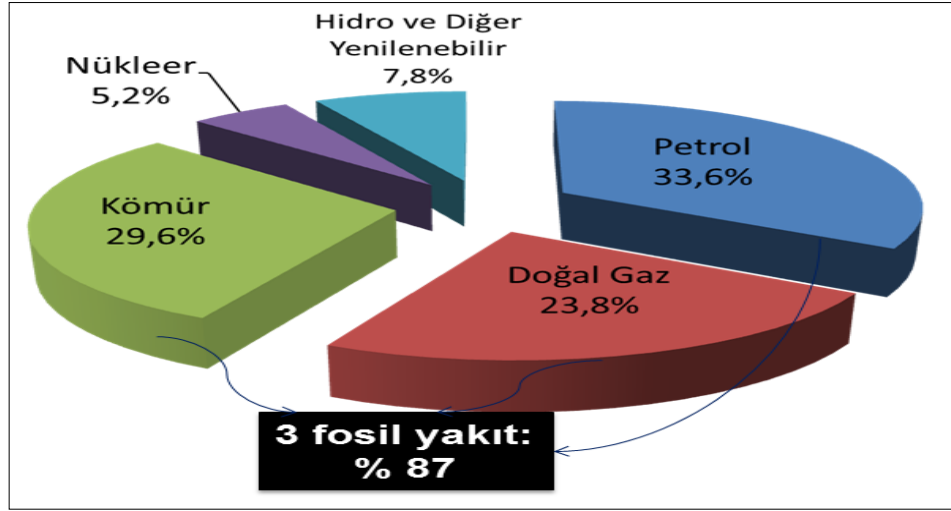
bakıldığında 26 tanesi Çin’de, 10 tanesi Rusya’da, 7 tanesi Hindistan’da ve 3 tanesi de G.Kore’dedir.

Nükleer enerji sektörünün geleceğine yönelik endişeleri arttıran faktörler aşağıda listelenmiştir. Bu endişeler enerji senaryolarında nükleere daha az pay verilmesi sonucunu doğurmaktadır.

- 3 nesil reaktörlerin Çin, Kore, Finlandiya, Rusya, ABD ve Fransa’da inşasına başlanmış olması,
- Dünyanın en büyük üç kömür tüketen ülkesinin (Çin, ABD ve Hindistan) nükleer kapasitelerini 2035 yılına kadar önemli ölçüde arttırmayı hedeflemesi,
- Vietnam, Türkiye, Polonya, ABD ve İngiltere’nin yeni nükleer santral yapma arzusunu ifade etmesi,
- Nükleer enerjiye olan ilginin devam ettiğine delil sayılsa da Fukushima kazası sonrası Japon nükleer enerji sektörünün içine düştüğü belirsizlik ortamı,
- İtalya’da yapılan referandumla nükleer santrallerin yeniden inşa edilmesine başlanmasının kabul edilmemesi,
- Tayland ve Endonezya’nın nükleer santral kararlarını 2020 sonrasına bırakmalarıdır (IEA, 2011).

Enerji kaynaklarındaki reel bazda fiyat artışlarına bakıldığında; 2008 yılında aşırı derecede artan fosil yakıt fiyatları 2009 yılında düşüşe geçmiş ancak 2010 yılında özellikle ham petrol fiyatları tekrar yönünü yukarıya çevirmiştir. 2010 yılında petrol fiyatları %29,3, doğal gaz fiyatları %1,4 ve kömür fiyatları %1,9 oranında artmıştır. Projeksiyonlara göre, 2009-2035 döneminde petrol fiyatlarının %79,3, doğalgaz fiyatlarının %73,3, kömür fiyatlarının %19,4 artması beklenmektedir. Uzmanlar, fosil yakıt fiyatlarındaki artış ve bu fiyatların gelecekte de yüksek kalacağına dair öngörüler ile bu yakıt kaynakları ellerinde bulunduran bazı ülkelerin içinde bulundukları karışıklıklardan kaynaklanan belirsizlikler dolayısıyla enerji kaynakların önemli üreticilerden olan Rusya’nın enerji sektörü için parlak bir geleceğe işaret ettiğini ifade etmektedir. Enerji verimliliği başta olmak üzere teknolojik gelişmelere paralel iyileştirmeler, fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında yaygınlaşma, karbon tutma ve

depolama ve temiz kömür teknolojilerine yönelim, zararlı emisyonların azaltılmasına yönelik geliştirilen politikaların temel unsurları görünümündedir. Zira, karbondioksit eşdeğeri veriler açısından bakıldığında, enerji sektöründen kaynaklı ve sera etkisi yapıcı gaz emisyonlarının, 28,8 milyar ton'dan (2009) ortalama yıllık %1,6'lık artışlarla 2035'de 43,3 milyar ton düzeyine ulaşacağı hesaplanmaktadır. Emisyonlardaki bu artışın %94'ünün, enerji tüketimlerinde beklenen artışa paralel olarak, gelişmekte olan OECD-dışı ülkelerde (başta sırasıyla Çin, Hindistan ve Ortadoğu ülkelerinde) görüleceği tahmin edilmektedir. Küresel finansal krizin etkisiyle 2009'da emisyonlar %1,4 düşmüştür. Ancak enerji talebinin %5 gibi oranda artmasıyla 2010'da karbondioksit emisyonları yeni zirvesine ulaşmıştır. Tahminler yeni enerji politikalarının devreye girmeyip mevcut politikların devamı halinde 2035 yılında sıcaklık seviyesinin 6 °C'den fazla artacağına işaret etmektedir. Şekil 2.1'de 2010 yılı dünya birincil enerji arzı kaynak payları görülmektedir.



Şekil 2.1: 2010 yılı Dünya birincil enerji arzı kaynak payları (IEA, 2011)

Türkiye'de Enerji Durumu

Türkiye'de 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. Bir tesis veya tesisler topluluğuna ısı ve elektrik enerjisi üreten termik santraller haricinde, üretimini genel elektrik iletim sistemine veren 30'un üzerinde tesis bulunmaktadır. Bu tesislerden bazıları tek bir enerji kaynağıyla, bir kısmı ise birden fazla enerji kaynağı ile çalışmaktadır (Ayten, 2007).

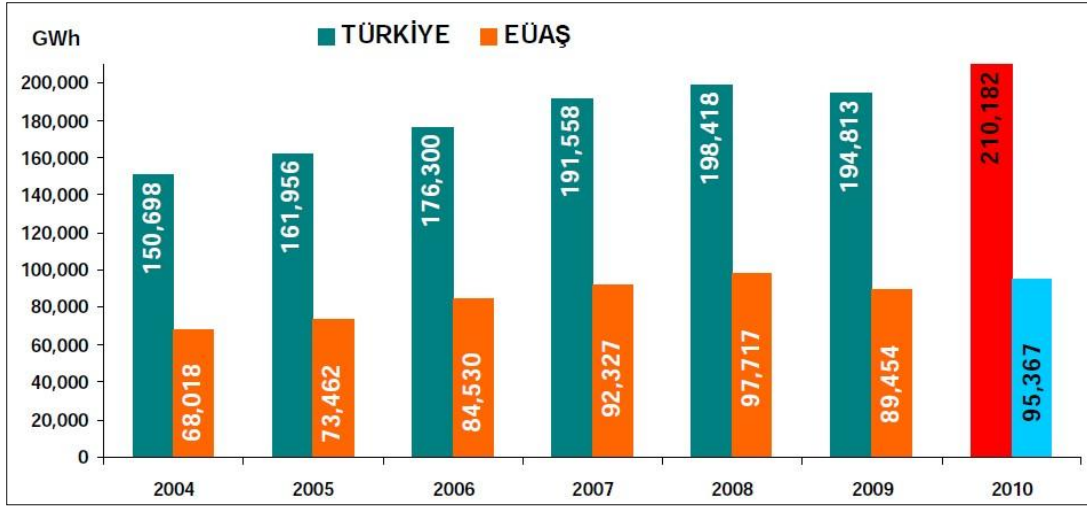
Kömür yakıtlı termik santrallerin Türkiye’de ağırlıklı bir elektrik enerjisi üretim biçimi olarak seçilmesinin başlıca nedeni, kömürün fuel-oil veya doğalgaz gibi Türkiye’de pahalı ya da kıt olan yakıtlara göre daha ucuz olarak kabul edilmesidir. Türkiye’nin hidroelektrik güç ile birlikte en önemli öz enerji kaynağı linyitlerdir (Karayiğit, 2001).

2009 yılında 106.1 milyon ton petrol eşdeğerini (milyon tep) geçen yıllık enerji arzının, 2015 yılında 170 milyon tep, 2020 yılında ise 222 milyon tep düzeyine ulaşacağı beklenmektedir. Tablo 2.1’de 2009 yılı itibariyle Türkiye’nin yerli kaynak potansiyeli verilmektedir.

Tablo 2.1: 2009 yılı itibariyle Türkiye’nin yerli kaynak potansiyeli (EUAŞ, 2010)

Kaynak	Potansiyel
Linyit	11,4 milyar ton
Taş kömürü	1,3 milyar ton
Asfaltit	77,0 milyon ton
Ham petrol	42,0 milyon ton
Bitümler	18,5 milyon ton
Hidrolik	129,4 milyar KWh/yıl
Doğalgaz	7,0 milyar m ³
Rüzgar	48000 MW
Jeotermal	32,01 MWt/yıl
Biyokütle	8,6 Mtep
Güneş enerjisi	32,6 Mtep
Doğal uranyum	9,129 Ton

2010 yılında elektrik tüketimi bir önceki yıla (193.2 milyar kW-saat) göre %7,92 artarak 208,5 milyar kW-saat, elektrik üretimi ise bir önceki yıla göre (194.81 milyar kW-saat) %7,89 artarak 210,18 milyar kW-saat olarak gerçekleşmiştir (EUAŞ, 2010). Şekil 2.2’de Türkiye elektrik üretim değerleri ve EÜAŞ’ın payı görülmektedir.



Şekil 2.2: Türkiye elektrik üretim değerleri ve EÜAŞ'ın payı (EÜAŞ, 2010)

2010 yılı itibariyle, toplam elektrik üretiminin %45,90'u doğalgazdan, %18,40'ü yerli kömürden, %24,50'i hidrolik kaynaklardan, %6,90'u ithal kömürden, %2,50'i sıvı yakıtlardan, %1,35'i rüzgardan ve %0,47'si jeotermal ve biyogazdan sağlanmıştır.

EÜAŞ, 2010 sonu itibariyle, 11675 MW kurulu güce sahip 106 hidroelektrik ve 12525 MW kurulu güce sahip 19 termik santrale sahip olup, toplam 24200 MW kurulu gücü ile Türkiye kurulu gücünün %49,80'ini ve Türkiye elektrik enerjisi üretiminin ise %45,40'ünü karşılamıştır. 2010 yılı sonu itibariyle 210,18 milyar kW olarak gerçekleşen Türkiye elektrik üretimi miktarının 95,37 milyar kW'si EÜAŞ tarafından gerçekleştirilmiştir (EUAŞ, 2010). Tablo 2.2'de Türkiye'deki kurulu güç ve elektrik üretim miktarlarının gruplara göre dağılımı verilmektedir.

Tablo 2.2: 2010 yılı Türkiye'deki kurulu güç ve elektrik üretim miktarlarının gruplara göre dağılımı (EÜAŞ, 2010)

Santrallar		Kurulu güç (MW)		Enerji üretim(GWh)	
		2009	2010	2009	2010
EÜAŞ	Termik	86690,9	86690,9	42446,5	37901,5
	Hidrolik	11674,7	11674,7	28338,3	41210,4
	Toplam	20365,6	20365,6	70784,8	79111,9
EÜAŞ'ın bağlı Ortaklıkları	Termik	3834,0	3834,0	18668,9	16254,7
Mobil Santrallar	Termik	262,7	262,7	0,0	0,0
İşletme Hakkı Devredilen Santrallar	Termik	620,0	620,0	4373,1	4323,6
	Hidrolik	30,1	30,1	0	0
	Toplam	650,1	650,1	4373,1	4323,6

Tablo 2.2'nin devamı

Yap-İşlet Santralları	Termik	6101,8	6101,8	43767,7	45219,6
Yap-İşlet Devret santralları	Termik	1449,6	1449,6	11070,9	10036,9
	Hidrolik+Rüzgar	989,8	989,8	2789,1	3520,9
	Toplam	2439,4	2439,4	13860,0	13557,8
Serbest Üretim şirketleri	Termik	5946,8	8215,8	25129,2	31525,1
	Hidrolik+Rüzgar	2101,7	3547,7	4730,8	8380,9
	Toplam	8048,5	11763,5	29860,0	39906,0
Otoprodüktör	Termik	2510,5	2625,4	11902,8	10582,7
	Hidrolik+Rüzgar	545,4	545,4	1595,6	1225,1
	Toplam	3055,9	3170,8	13498,4	11807,8
Türkiye Toplamı	Termik	29416,3	31800,2	157359,2	155844,2
	Hidrolik+Rüzgar	15341,7	16878,6	37453,7	54337,4
	Toplam	44758,0	48587,8	194812,9	210181,6

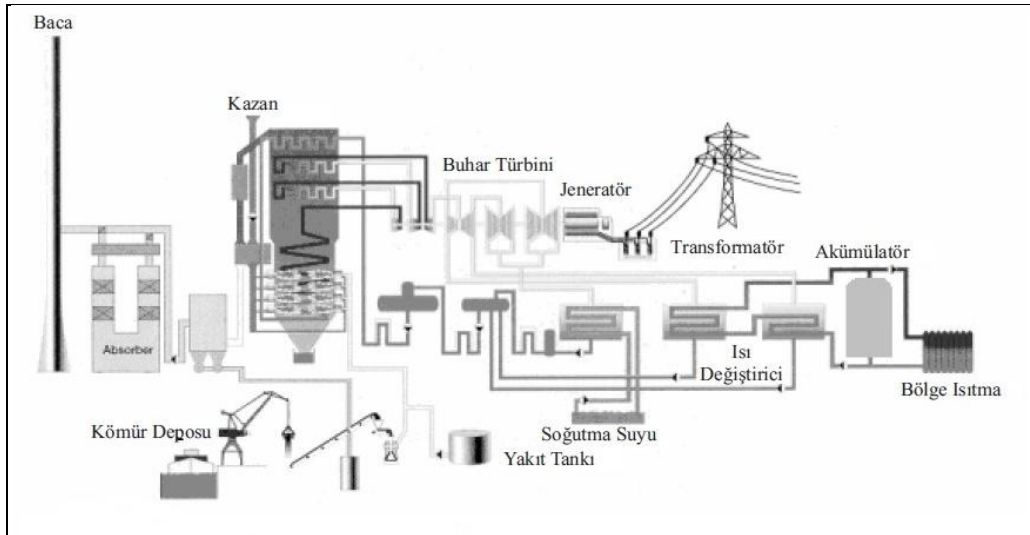
2.2. TERMİK SANTRALLER

Elektrik enerjisi elde etmek için kullanılan başlıca kaynaklar petrol, hidrolik enerji, doğalgaz, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi, güneş enerjisi, doğal uranyumdur. Bunlar arasında ise hidroelektrik, nükleer ve termik santraller öne çıkmaktadır. Termik santral en genel anlamıyla, ısı enerjisini elektrik enerjisine çevirmeye yarayan sisteme verilen addır. Termik santrallerde, su yüksek basınç altında (150-160 bar) ve yüksek sıcaklıkta (550 °C) buharlaştırılır. Buharlaştırılan yüksek basınçlı su, alçak basınçlı türbinlere geçerek buradaki mekanizmayı harekete geçirir. Türbinlere gelen buharın gücü türbinlerde mekanik bir enerjinin oluşmasını sağlar ve bu mekanik enerji elektrik enerjisine çevrilmiş olur. Kondansede soğutulan buhar tekrar su haline döner; türbinden çektiği buharla çalışan bir yeniden ısıtma bölümüyse suyun ısınıp yükseltip kazana gönderir. Buhar ve su bir kapalı devre halinde dolaştıkları için, bu çevrim sonsuza kadar yenilenir (ÇATES-1, 2008).

Duman kazan çıkışında büyük oranda ısı yitirir ve elektro-filtreden sonra havaya verilir. Böylece yanma olayı gerçekleşir. Kömürle çalışan santrallerde dumanın daha sonra elektrostatik düzenekler yardımıyla tozu alınır ve bacadan dışarı atılır. Bu arada türbinde yaratılan mekanik enerji bir alternatöre iletilir ve burada elektrik enerjisine dönüştürülür. Turbo-alternatör grubunun uzunluğu 600 MW bir güç için bazen 50 m'yi aşar. Verilen elektrik akımıysa 20000 V'luk bir gerilim altında 19200 A'e ulaşır. Modern bir termik santralin verimi % 40 dolayındadır (Özdemir, 2001).

Termik santralin bilançosu incelendiğinde, üretilen bir kilowatt için 4000 kJ'dan fazla bir enerjinin soğutma suyuna harcandığı anlaşılmıştır. Su bir akarsudan alınırsa, bu suyun günümüzde en çok 7-10 °C arasında ısıtılmasına izin verilmektedir; bu da büyük bir debi gerektirir. Söz gelimi, 600 MW'lık bir enerji grubunda soğutma için saniyede 22 m³ su gerekir. Bu nedenlerden ötürü, büyük santraller ancak büyük akarsuların üzerinde ya da deniz kıyısında kurulur. Suyun az, santrallerin çok sayıda bulunduğu bölgelerde, genellikle hiperbol biçiminde büyük kulelerden oluşan havalı (atmosferik) soğutma sistemlerinden yararlanılır (ÇATES-1, 2008).

Termik santrallerde kömür kullanımı için gerekli olan tesisler, gaz ya da mazota oranla çok daha önemli ve büyüktür. Burada özellikle kömürün demiryolu, akarsu ya da denizyoluyla santrale getirilmesi, boşaltılması, depolanması, santral alanı içinde dolaştırılması ve kazana verilmesi için gerekli tesisler yapılmalıdır. Kömür önce toz haline getirildikten sonra, önceden mazotla 500 °C'ye kadar ısıtılmış olan yanma odalarının brülörlerine kuvvetli bir hava akımıyla gönderilir. Bu odaların birkaç yüz m³'ü bulan bir hacmi ve birkaç bin metrekare büyüklüğünde bir ısıtma alanı vardır. Büyük bir termik santralin kömür tüketimi günde 5000 tonu aşar (ÇATES-1, 2008). Şekil 2.3'de pülverize sistemle kömür yakan termik santralin şematik görünümü görülmektedir.



Şekil 2.3: Kömür yakan termik santralin şematik görünümü (Kırdım, 2006)

Termik santrallerde elektrik üretmek amacıyla, öğütülmüş kömür kullanılmakta ve yakma sistemine bağlı olarak değişik atık malzemeler elde edilmektedir. Modern

termik santrallerde en önemli atık malzeme, yanmadan dolayı baca tarafından çekilen gazlarla birlikte yukarıya sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Santrallerde yakılan kömürden arta kalan milyonlarca kül, cüruf ve partiküller birkaç yüz metre yükseklikte ve binlerce hektar genişlikte başka bir arazi üzerine depo edilerek, tarım kültürlerini ve yerleşim alanlarını yoğun kül emisyonu altında bırakmaktadır (Özyurt, 2006).

Yanma işleminde kömürün kompozisyonu, fiziki yapısı, muhtelif sıcaklık ve nem şartları çok önemlidir. Bilindiği gibi yanan kömürün 1 kg'ı için 17 kg havaya ihtiyaç vardır (ÇATES, 2008).

Kömüre dayalı termik santrallerin çevreyi olumsuz yönde etkileyen asgari 13 faktör tespit edilmiş olup bunlar; baca gazları, kül stok sahasındaki küller, kül barajları, kül siloları, kül nakil bant hattı, hidrolik kül atma sistemi, santral sahası, dekapaj sahası, açık kömür işletme sahalrı, kömür nakil yolları, kirli atık sular ve termal etkidir. Termik santrallarda meydana gelen hava kirliliklerini kontrol amacıyla üç temel uygulama önerilmektedir: Uygun yer seçimi, kaliteli yakıt kullanılması, yakma etkinliğinin artırılması ve bunu sağlayacak teknolojinin kullanılmasıdır (Güler, 2001).

2.2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Termik Santraller

Kömür yakıtlı termik santraller vasıtasıyla elektrik üretimi dünyada rağbet görmeye devam etmektedir. 2012 yılında ‘Dünya Kaynakları Enstitüsü’nde yapılan araştırmalara göre günümüzde Dünya’da 59 ülkede yaklaşık 1200 adet kömür kullanılan termik santral mevcuttur. Bu santrallerin yaklaşık dörtte üçü Çin ve Hindistan’da kurulmuştur (İEA, 2012). Tablo 2.3’de Dünya’daki termik santrallerin ülke bazında bilgileri verilmektedir.

Tablo 2.3: Dünya'daki termik santraller (İEA, 2012)

Sıra	Ülkeler	Toplam Kurulu Güç (MW)	Proje Sayısı	Sıra	Ülkeler	Toplam Kurulu Güç (MW)	Proje Sayısı
1	Çin	557938	363	30	Sırbistan	2150	4
2	Hindistan	519396	455	32	Kolombiya	2104	4
3	Rusya	48000	48	33	Botsvana	2100	4
4	Vietnam	34725	30	33	Dominik Cumhuriyeti	2100	2
5	Türkiye	36719	27	35	Güney Kore	2000	2
6	Güney Afrika	22633	8	35	Zimbabve	2000	1
7	ABD	20236	36	37	Laos	1878	2
8	Ukrayna	14000	14	38	Yunanistan	1650	3
9	Polonya	12086	13	39	Kırgızistan	1200	1
10	Almanya	12060	10	40	Tanzanya	1040	4
11	Moğolistan	9660	4	41	Umman	1000	1
12	Tayvan	8800	5	42	Namibya	800	1
13	Endonezya	8360	17	43	Karadağ	730	2
14	Mozambik	6940	4	44	Peru	720	1
15	Şili	6742	12	44	Brezilya	720	1
16	Pakistan	6460	2	46	Slovenya	600	1
17	Avustralya	5456	9	46	Kuzey Kore	600	1
18	İtalya	4170	4	48	Tayland	540	1
19	Romanya	4150	8	49	Hırvatistan	500	1
20	Kazakistan	4000	4	49	Kosova	500	1
21	Filipinler	3915	15	49	Sri Lanka	500	1
22	Bosna-Hersek	3690	8	52	Guatemala	420	2
23	Kamboçya	3570	5	53	Macaristan	400	1
24	Hollanda	3500	3	54	Tacikistan	300	1
25	Japonya	3200	4	54	Özbekistan	300	1
26	Çek Cumhuriyeti	2785	4	54	Zambiya	300	1
27	Burma	2719	7	54	Makedonya	300	1
28	Fas	2676	2	58	Senegal	250	1
29	Malezya	2600	3	59	Arjantin	240	1
30	Bulgaristan	2150	4		Toplam	1401278	1176

Türkiye'deki Termik Santraller

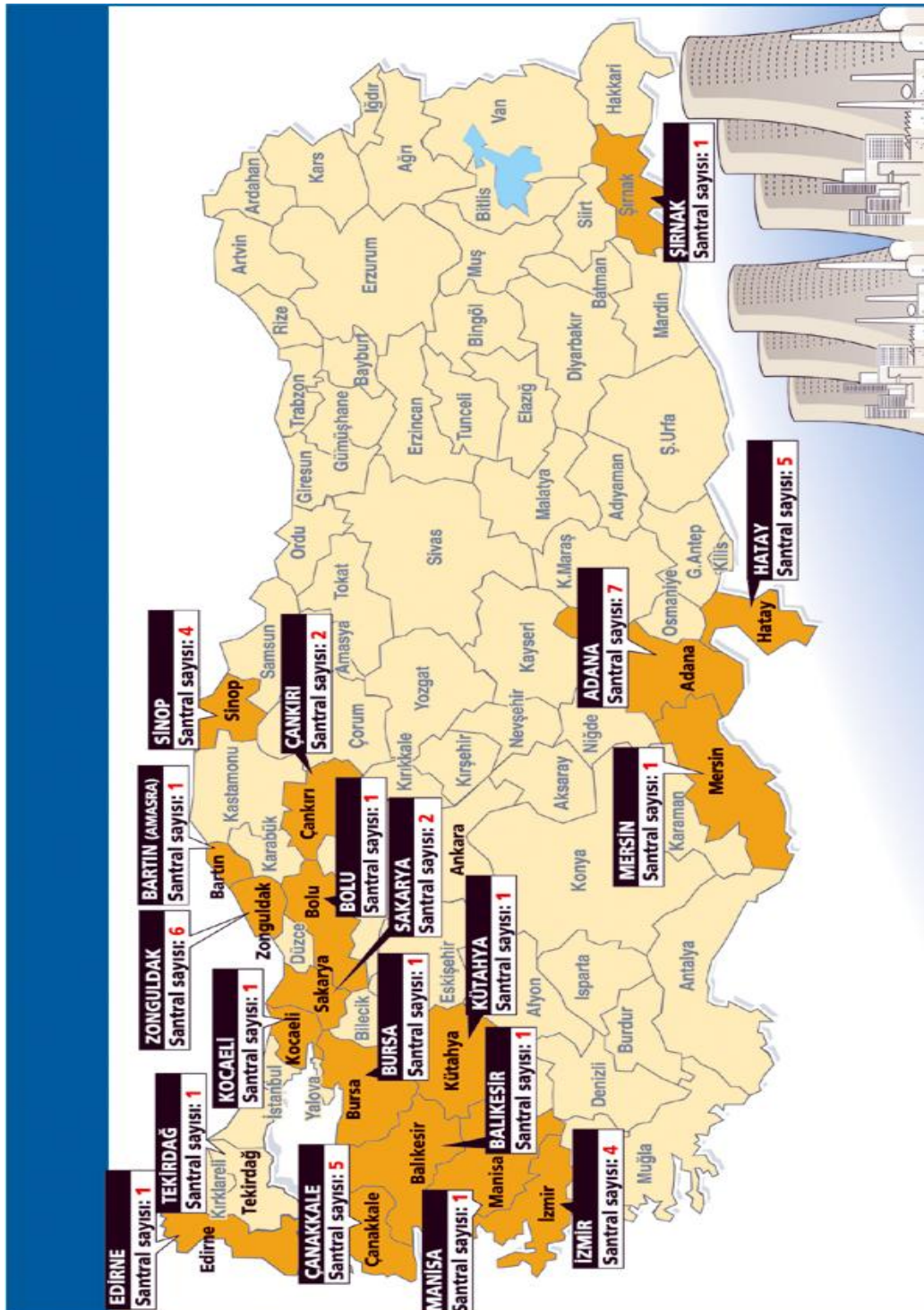
Türkiye Cumhuriyeti kurulduğunda enerji üretimi oldukça sınırlıydı. Sadece Tarsus, İstanbul ve Adapazarı elektrikten yararlanabilmekteydi. Cumhuriyet öncesinde Anadolu'da ilk kez 1902 yılında su değirmeninden üretilen elektrik Tarsus'a verilmiştir. İstanbul'da elektrik 1914 yılında Silahtarağa Termik Santrali'nin kuruluşu ile yaygınlaşmış, bu tesis 1983 yılına kadar elektrik üretmeye devam etmiştir. Türkiye'de her ne kadar ekonomik değer taşıyan ilk elektrik üretimi su gücünden faydalanılarak elde edilmişse de, yapımı hidroelektrik santrallere nazaran daha ucuz ve kolay olan termik santrallerin Türkiye'deki elektrik üretim

kapasitelerinin toplamı daha yüksektir (Ayten, 2007). Tablo 2.4’de EÜAŞ 2010 yılı verilerine göre Türkiye’de bulunan termik santraller listelenmiştir.

Tablo 2.4: Türkiye'deki termik santraller (EÜAŞ, 2010)

Santral Adı	Güç	Yakıt	Bulunduğu yer
Afşin A	1355 MW	Linyit	Afsin Elbistan/Maraş
Afşin Elbistan B	1440 MW	Linyit	Afsin Elbistan/Maraş
Aliağa GTKÇ santrali	180 MW	Motorin	Aliağa/İzmir
Engil gaz türbinleri	15 MW	Motorin	Merkez / Van
Ambarlı fuel oil-KÇ	630 MW	Fuel Oil-KÇ	Avcılar/İstanbul
Ambarlı doğalgaz-KÇ santrali	1350MW	Doğalgaz	Avcılar
Bursa DGKÇ santrali	1.432 MW	Doğalgaz	Bursa
Entek A.Ş	140 MW	Doğalgaz	Bursa
Entek A.Ş	140 MW	Doğalgaz	İzmit
İç taş termik santrali	130 MW	Doğalgaz	Çanakkale
Çan 18 Mart termik santrali	320 MW	Linyit	Çanakkale
Çatalağzı termik santrali	300 MW	Taşkömürü	Çatalağzı / Zonguldak
Hopa termik santrali	50 MW	Fuel Oil	Hopa / Artvin
Jeotermal santrali	15 MW	Doğal Buhar	Saraykent / Denizli
Kangal termik santrali	457 MW	Linyit	Kangal /Sivas
Orhaneli termik santrali	210 MW	Linyit	Orhaneli / Bursa
Tunçbilek termik santrali	365 MW	Linyit	Tunçbilek / Kütahya
Hamitabat DGKÇ santrali	1120 MW	Doğal Gaz	Lüleburgaz/Kırklareli
Soma A termik santrali	1034 MW	Linyit	Soma / Manisa
Kemerköy (Gökova) termik santrali	630 MW	Linyit	Kemerköy (Gökova) Muğla
Yatağan termik santrali	630 MW	Linyit	Yatağan / Muğla
Yeniköy termik santrali	-	-	Muğla
Çayırhan termik santrali	634 MW	Linyit	Çayırhan / Ankara
Yumurtalık Sugözü termik santrali	1210 MW	İthal Kömür	Yumurtalık / Adana

Şekil 2.4’de Türkiye’de kurulu termik santrallerinin yerleri Türkiye haritasında görülmektedir.



Şekil 2.4: Türkiye’de kurulu termik santrallerin yerleri (Enerji, 2012)

2.2.2. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri

Dünya’da üretilen tüm fosil yakıt yanma artıklarının %90’ını kömür yanma artıkları oluşturur. Her yıl milyonlarca ton uçucu kül üretilmektedir. Şimdilik uçucu külün sadece %20’si değerlendirilmekte, arta kalanlar karalar doldurularak ya da yüzey havuzlarında biriktirilmektedir. Kül atımlarının karasal ekosistemler üzerinde önemli potansiyel etkileri şunlardır: Toprak ve yeraltı sularının içine potansiyel toksik maddelerin çözünmesi, külün başlıca olumsuz kimyasal özellikleri nedeniyle bitki oluşumu ve büyümesinde azalma, külde yetişen sebzelerin element bileşimlerinin değişimidir. Toprak ıslahlaştırıcı olarak kül kullanımı toprak dokusunu ve su tutma kapasitesini düzeltebilir, toprak pH’ını artırabilir ve toprak verimliliğini zenginleştirebilir. Bununla birlikte uçucu külün kimyasal özellikleri toprakta elementel dengesizlik, toprağın sıkışması ve çimentolaşma gibi sorunlar yaratır. Her yıl büyük miktarlarda kül tepelerinin oluşumu, araştırmacıları bu atıkların değerlendirilmesi için fikir üretmeye zorlamış, tarım ve endüstride değerlendirme yolları aranmıştır (Şengül, 2005).

Çevre açısından bakıldığında ise, Türkiye’de ve Dünya’da artan enerji talebini karşılamak amacıyla kurulan termik santraller gün geçtikçe doğa üzerinde; bitki örtüsü, toprak, yer altı ve yer üstü sularında, insan sağlığı ve hayvan sağlığı üzerinde bir çok olumsuz etki yaratmaktadır. Büyük miktardaki bu küller toplum ve çevre açısından bir çok sorun teşkil etmektedir. Özellikle kömür kullanan termik santrallerde, kömürün görülemeyen zararlı partikülleri ve gazlar öncelikle termik santral ve kömür işletme sahalarında çalışanlar üzerinde görülmektedir (Demir, 2009).

Linyitin yanması ile birlikte, kömürün içeriğinde bulunan ve kirliliğe sebep olma potansiyeline sahip, arsenik (As), kadmiyum (Cd), kurşun (Pb), antimuan (Sb), selenyum (Se), kalay (Sn), molibden (Mo) ve çinko (Zn) gibi toksik iz elementler atıklara transfer olurlar. Bu atıklardan özellikle uçucu küller, elementlerin yüzeylerinde tutunabilecekleri çok uygun ortamlar oluştururlar. Çeşitli kül liçi deneysel çalışmaları sonuçlarına göre, uçucu küllerde bulunan toksik eser elementler, külün suyla teması sonucu yüzey ve yeraltı sularına geçebilmektedir (Baba, 2005).

Hava Kirliliği: Termik santral reaktöründe toz halindeki linyit kömürünün yanması sonucu kömürde bulunan mineral maddeler yanmayıp uçucu kül olarak reaktörü terk etmektedir. Reaktör çıkışında bulunan elektrofiltreler normalde tozların %99,4'ünü arıtabilmektedir. Uçucu küller baca dumanı ile havaya yayılarak ağırlıklarına ve atmosferik olaylara göre bacadan itibaren belirli mesafelerde yere çökerler (Arora, 2006).

Termik santrallerin oluşturduğu hava kirliliği ormanların yanında çok geniş alanları ve tarım alanlarını da çeşitli şekillerde etkilemektedir. Santral bacalarından çıkan SO_2 , NO_x ve partikül maddelerin etkisi sonucu büyük alanlarda bir çok tarla bitkisi, meyve ağacı ve zeytinlerde meyve verimi önemli ölçülerde düşebilmektedir (Ayten, 2007).

Su Kirliliği: Termik santrallerin soğutma sularını deşarj ettikleri su ortamındaki normal sıcaklık derecesi zamanla yükselerek, termik santral kurulmadan önceki doğal halinden farklı yeni bir sıcaklık dengesi oluşur. Sıcaklık sularındaki canlılar ve canlı metabolizması üzerinde hızlandırıcı, katalizleyici, kısıtlayıcı, dondurucu ve öldürücü gibi çeşitli etkilerde bulunur. Sıcaklık aynı zamanda sudaki çözünmüş oksijen konsantrasyonunun azalmasına neden olmaktadır (Ayten, 2007).

Termik santrallerde kullanılmakta olan soğutma suyu pompalarla çekilerek arıtmadan geçirilmekte ve bu sırada geçici sertlik giderimi, çöktürme ve mikro organizmaların yok edilmesi aşamalarında kimyasal maddeler ilave edilmektedir. Kullanılan bu kimyasallar soğutma suyunun bir alıcı ortama verilmesi durumunda alıcı ortamda kirliliğe sebebiyet vermektedir. Ayrıca santral bacasından çıkacak olan kirlitici gazların oluşturacağı asit yağmurları da suların pH'ını değiştirebilmektedir (Baba, 2006).

Toprak Kirliliği: Termik santrallerin bacasından çıkan duman bileşenlerinin zamanla yere çökmesi çevresindeki alanlarda toprak kirliliğine neden olabildiği gibi, yanma sonucu linyit kömüründe % 35-55 oranında bulunan küller de kül barajında toprak üzerinde depolanarak toprak kirliliği oluştururlar. Ayrıca, kömürün çıkarılması sırasında büyük alanlardan toprağın alınarak kömür olmayan alanlara yığılması da yanlış arazi kullanımına neden olduğu için bir nevi toprak kirliliği sayılmaktadır (Baba, 2001).

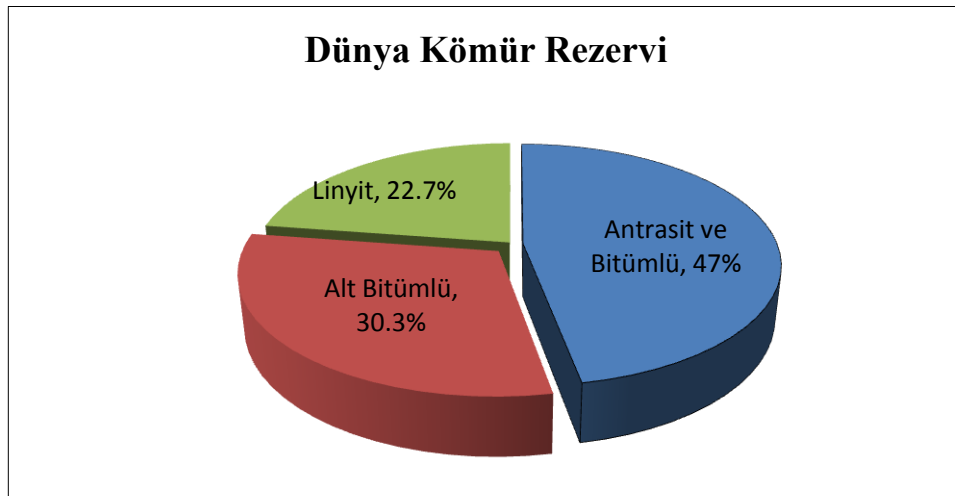
2.3. KÖMÜR HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Yeterli miktarlardaki yanıcı organik bileşikler içeren, doğal halde veya bazı değişimlerden sonra yakacak olarak kullanılabilen kayalara mineral yakıtlar adı verilmektedir. Mineral bir yakıt olan kömür, organik bir kaya olarak tariflenir. Genellikle kuru olarak %50'den fazla yanabilen madde içeren kömür; organik, inorganik maddeler ile nemden oluşur (Ateşok, 2004).

Kömür başlıca karbon, hidrojen ve oksijen gibi elementlerin bileşiminden oluşmuş olup, diğer kaya tabakalarının arasında damar haline uzunca bir süre (milyonlarca yıl) ısı, basınç ve mikrobiyolojik etkilerin sonucunda meydana gelmiştir. Kömür dünyada en yaşlı şekilde bulunan, güvenilir aynı zamanda düşük maliyetlerle elde edilebilen temiz bir fosil yakıttır. Kömür Dünya'da 50 den fazla ülkede üretilmektedir. Kömür rezervleri diğer fosil yakıtlar gibi (petrol ve doğalgaz), Dünya'nın belli bir bölümünde değil fakat tüm dünyada yaygın bir şekilde bulunmaktadır. Kömür kullanımı, depolaması ve nakliyesi açısından en emniyetli fosil yakıttır (Günindi, 2005).

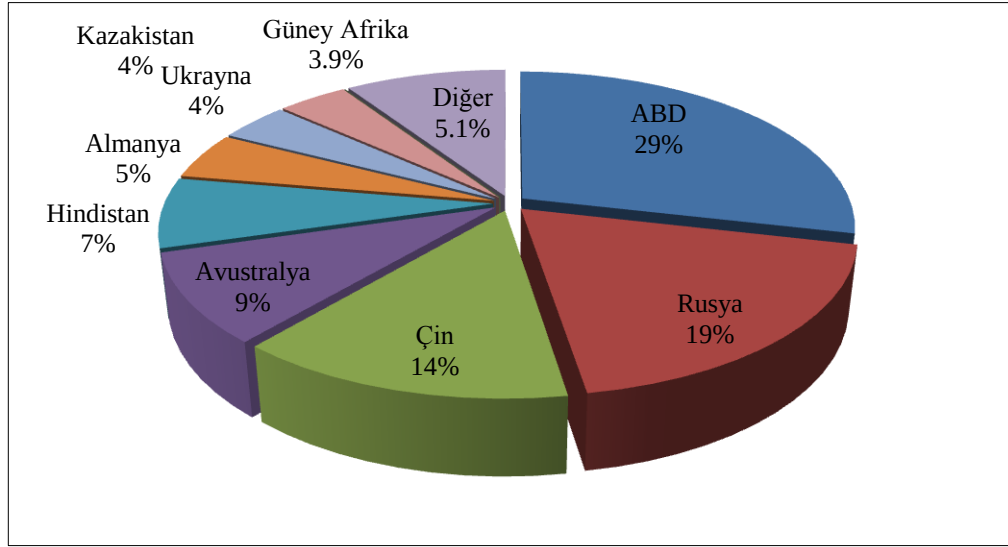
2.3.1. Dünya'da ve Türkiye'de Kömür Rezervleri

Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 861 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 405 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 261 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 195 milyar tonu ise linyit kategorisindedir (Şekil 2.5) (IEA, 2005).



Şekil 2.5: Dünya kömür rezervlerinin kömür kategorilerine göre dağılımı (İEA, 2005)

Dünya Enerji Konseyi tarafından 75 civarında ülkede bulunduğu raporlanan dünya kömür rezervlerinden en büyük payı ABD almaktadır. Toplam rezervin %27,6'sı bu ülkede bulunmaktadır. ABD'yi %18,2 ile Rusya Federasyonu ve %13,3 ile Çin izlemektedir. Diğer kömür zengini ülkeler arasında; Avustralya (%8,9), Hindistan (%7), Almanya (%4,7), Ukrayna (%3,9), Kazakistan (%3,9) ve Güney Afrika Cumhuriyeti (%3,5) bulunmaktadır. Dolayısıyla, dünya kömür rezervlerinin %90'dan fazlası bu 9 ülkenin elinde bulunmaktadır (Şekil 2.6) (İEA, 2012).



Şekil 2.6: Dünya kömür rezervlerinde ülkelerin payı (İEA, 2012).

Toplam 195 milyar ton büyüklüğündeki dünya linyit rezervlerinin en büyük bölümü ise %20,8 ile Almanya'da bulunmaktadır. Bu ülkeyi %19,1 pay ile Avustralya ve %15,5 pay ile ABD izlemektedir. Çin (%9,5), Sırbistan (%6,9), Kazakistan (%6,2) ve Rusya (%5,4) geniş linyit rezervlerine sahip diğer ülkeler arasındadır (İEA, 2012).

Türkiye'de Kömür Rezervleri: Türkiye'de yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 11,2 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde toplam 12,5 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. 2010 yılı sonu itibari ile Türkiye taşkömürü rezervi toplam 1 milyar 334 milyon ton'dur. Havzada koklaşabilir taşkömürü rezervleri, Kozlu, Üzülmüş ve Karadon bölgelerinde bulunmaktadır. Armutçuk bölgesindeki rezervler yarı koklaşabilir olup koklaşabilir kömürlerle harmanlanarak demir çelik fabrikalarında kullanıma uygun hale getirilebilir. Amasra bölgesi kömürlerinin koklaşma özelliği bulunmamasıyla birlikte, belirli oranlarda koklaşabilir kömürlerle harmanlandığında

koklaşma özelliğini bozmamaktadırlar. Taşkömürü rezervlerinin tamamı Türkiye Taşkömürü Kurumu'nun (TTK) ruhsatında bulunmaktadır. Havzada bulunan rezervin alt ısı değeri, genel olarak, 6200 kcal/kg-7200 kcal/kg arasında değişmektedir. Havzada koklaşabilir kömürler; Kozlu, Üzümez ve Karadon bölgelerinde bulunmakta olup toplam rezervin yaklaşık %67'sini oluşturmaktadır (KSR, 2009).

Linyit rezervlerinin çoğunluğu 1976–1990 yılları arasında bulunmuş, bu dönemden sonra kapsamlı rezerv geliştirme etüt ve sondajları yapılamamıştır. Trakya'da 495, Manisa-Soma-Eynez'de 170 ve Eskişehir-Alpu'da 300 milyon ton, Afşin-Elbistan'da 1,9 ve Konya-Karapınar'da 1,72 milyar ton linyit rezervi tespit edilmiştir. Böylelikle; uzun yıllardır 8,3 milyar ton olarak bilinen linyit rezervleri 11,8 milyar tona ulaşmıştır. Bununla beraber, Türkiye linyit rezervlerinin ısı değerleri oldukça düşüktür. Genel olarak 1000 kcal/kg ile 4200 kcal/kg arasında değişiklik göstermekle birlikte yaklaşık %90'ının alt ısı değeri 3000 kcal/kg'ın altındadır. Linyit rezervlerinin %86'sı Elektrik Üretim Anonim Şirketi (EÜAŞ), Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) olmak üzere üç kamu kuruluşunda, geriye kalan %14'ü özel sektör ruhsat sınırları içinde bulunmaktadır (Tablo 2.5). Türkiye linyit rezervlerinin %41 ile en büyük kısmı EÜAŞ'de bulunmaktadır. Bu kurumu %23 ile MTA ve %22 ile TKİ izlemektedir (KSR, 2011).

Tablo 2.5: 2010 yılı sonu itibarıyla kurumlara ait linyit rezervleri (ton) (KSR, 2011)

Kurumlar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
EÜAŞ	4.741.300.000	104.500.000	4.845.800.000	4.741.300.000
TKİ	2.303.394.000	251.811.000	1.560.000	2.556.765.000
MTA	2.643.196.000	108.334.000	2.964.000	2.754.494.000
Özel Sektör	1.094.189.000	362.122.000	138.617.000	1.594.928.000
TOPLAM	10.782.079.000	826.767.000	4.988.941.000	11.647.487.000

2.3.2. Kömürlerin Sınıflandırılması

Taşkömürü: Bu kömürlerin orjinal nem oranları oldukça azdır (%1-2) ve karbon oranları yüksektir. Gerek nem oranlarının az olması ve gerekse de daha sağlam yapıya sahip olmaları nedeni ile taşkömürleri taşıma ve depolamada parça

büyükliklerini büyük ölçüde korurlar. Diğer kömür türlerine göre daha yüksek ısı değerine sahip olan taşkömürleri, birçok kullanım alanına sahiptir (Tülay, 2002).

Antrasit: Bu kömür, Amerika’da sert kömür ve Galler’de kaya kömürü şeklinde anılır. Demir siyahı rengi, yarı metalik parlaklığı ile tanınır. Antrasitin ısı değeri taşkömürü kadar fazla değildir. Çünkü yüksek sıcaklıklara hızla çıkamaz. Buna karşın, toz ve is oluşturmadığı ve uzun süre yandığı için ev yakıtı olarak tercih edilmektedir (Özyurt, 2006).

Kahverengi Kömürler: Yarı bitümlü kömür 17-24 MJ/kg (4165-5700 kcal/kg) arasında kalorifik değere sahip olan kömürdür.

Yumuşak Kahverengi Kömür: Turbaya benzer, ancak ondan daha katı ve yoğundur. Çoğu kahverengi kömürlerde mikroskopik olarak odun ve yaprak kalıntıları, iyi korunmuş bitki dokuları görülebilir. Ocaktan çıkarılmış yumuşak kahverengi kömür % 35-75 arasında nem içerir. Kalori değerleri ise 4000 kcal/kg (nemsiz-külsüz kömürde)’dan küçüktür (Doğan, 2007).

Mat Kahverengi Kömür: Yumuşak kahverengi kömür turbaya, mat kahverengi kömür daha çok taşkömürüne benzer. Mat kahverengi kömür, yumuşak kahverengi kömüre göre daha katı, daha koyu renkte ve oldukça iyi tabakalıdır. Mikroskopta nadiren bitki kalıntıları gözlenebilir. Ocaktan çıkarılmış mat kahverengi kömür, % 25-30 nem içerir. Kalori değerleri 4000-5000 kcal/kg (nemsiz ve külsüz kömürde) arasındadır (Doğan, 2007).

Parlak Kahverengi Kömür: Parlak kahverengi kömürlerin taşkömürlerinden ayrılması oldukça güçtür. Bu yüzden ASTM sınıflamasında linyit-taşkömürü arasına geçiş kömürleri olan alt bitümlü kömürler konmuştur. Parlak kahverengi kömür, siyah renkli ve parlaktır. Ocaktan çıkarılmış, parlak kahverengi kömür, % 8-25 nem içerir (Güler, 2005).

Linyit: Linyit kömürleri, turbalarla taşkömürleri arasında geniş bir bant oluştururlar. Kömürleşme derecesine göre, değişik oranlarda orjinal nem içerirler. Orjinal nem oranı yükseldikçe, jeokimyasal kömürleşmenin etkisi azalmakta ve yumuşak linyitlerde minimum seviyeye inmektedir. Linyit kömürleri dış görünüşlerine göre,

yumuşak ve sert linyitler diye ikiye ayrılırlar. Yumuşak linyitler, %35–75 arasında orjinal neme sahiptirler. Yumuşak linyitler çok az parça sağlamlığına sahiptir. Ocaktan çıkarılarak depolandıkları taktirde, zamanla tamamen toz haline gelirler. Su ile temasa geçtiklerinde önemli ölçüde su alarak şişerler ve dağılırlar. Bu bakımdan yumuşak linyitlerin ocaktan çıkarıldıkları şekilde, ev yakıtı olarak kullanılmaları mümkün değildir. Sert linyitler, yumuşak linyitlerden sonra başlayarak taşkömürü sınırına kadar geniş bir alana yayılan kömür türleridir. Bu tür kömürler yumuşak linyitlere göre daha fazla parça sağlamlığına sahiptir (Keating, 2009).

2.3.3. Kömürün Özellikleri

Kömürleşme sırasında fiziksel ve kimyasal değişimlerin binlerce, hatta milyonlarca yıl sürdüğü ve bu süreç içerisinde yatağı oluşturan bitki türleri ve ortam koşullarının çok değişik olduğu gözönüne alındığında, farklı yapıda kömür yataklarının oluşacağı gerçeği ortaya çıkmaktadır. Bu bakımdan, dünyada bulunan kömür yataklarından birinin diğerine tam olarak benzediği söylenemez. Hatta özellik farklarına yataklar arasında olduğu kadar aynı yatağın değişik kısımlarında da rastlamak mümkündür (Günindi, 2005).

2.3.3.1. Kömürün Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk: Kömürün yoğunluğu kömürleşme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Sabit karbon, uçucu madde, nem ve içerdiği kül miktarı yoğunluğu etkileyen en önemli faktörlerdir. Karbon miktarı; %60'tan %96'ya kadar artarken, yoğunluk da 1,20 gr/cm³'den 1,70 gr/cm³'e kadar yükselir. Linyitlerin yoğunluğu 0,5-1,30 gr/cm³, bitümlü kömürün 1,15- 1,70 gr/cm³, antrasitin ise 1,40-1,70 gr/cm³ arasındadır (Ateşok, 2004).

Rutubet: Kömürlerde bünye, yüzey ve molekül suyu olmak üzere üç türlü rutubet bulunmaktadır. Bünye rutubeti kömürün yapısında yer alır ve inorganik maddelere bağlı bulunan sudan meydana gelir. Bünye rutubeti kömürün cinsine göre değişir ve bitümlü kömürlerde % 1-3 arasında değişen miktar, linyitlerde %55'e kadar çıkabilmektedir. Bu rutubet, kömürün 105 °C'de, belirli bir süreyle (2-4 saat) ısıtılmasından sonra kömürden uzaklaştırılır. Yalnızca bünye nemi içeren kömürler kuru görünümündedirler ve kırıldıkları zaman tozlanma yaparlar (Ateşok, 2000).

Gözeneklilik ve Yüzey Alanı: Kömür oldukça gözenekli bir maddedir. Boyutları; birkaç mikron ile birkaç milimetre arasında değişen boşluklara sahiptir. Karbon içeriği %75'in altında olan kömürler makro, %85-91 arasında olan kömürler ise mikro gözeneklerden oluşmaktadır. Gözenekler, kılcal damarlar şeklinde olabileceği gibi küresel veya düzensiz şekillerde de olabilirler. Kömürün fazla gözenekleri olması; çabuk yanmasına ve okside olmasına neden olur. Kömürün gözeneklilik derecesi doğrudan doğruya külsüz ve kuru halde iken içerdiği karbon miktarına bağlıdır (Bukova, 2006).

Sertlik: Kömürün sertliği, ekonomik yönden önem taşıyan ufalanma ve öğütülebilme özelliklerini etkiler. Ayrıca, kömür-su karışımı yakıtlar ve sıvılaştırma prosesinde önemli rol oynar. Kömürün sertliği, cinsine, karbon miktarına ve uçucu madde miktarına bağlıdır. Karbon miktarı arttıkça sertlik azalır. Linyitlerin Mohs sertlik ölçeğinde aldıkları değer yaklaşık olarak 1-3; bitümlü kömürler için 2.5-3 ve antrasitler için 3-4 arasındadır (Ateşok, 2004).

Özgül Isı: Özgül ısı, birim kütlenin ısı kapasitesi olarak tanımlanır. Kömürün özgül ısının en çok kullanıldığı yer, koklaştırma prosesi için gereken ısının hesaplanmasıdır. Kömürün özgül ısısı genellikle 0,2-0,4 kcal/kg °C arasındadır. Suyun özgül ısısı, kömürünün yaklaşık 4 katı kadar olduğundan, kömürün nem içeriğinin artması, özgül ısında büyük ölçüde artışa neden olur (Ateşok, 2004).

Renk ve Çizgi Rengi: Kömürlerin rengi, açık kahverenginden koyu siyaha kadar değişir. Bitümlü kömürler ve antrasitlerin renkleri, siyahın değişik tonlarında değişir. Linyitler ise kahverenginin tonlarındandır. Çizgi rengi, bir kömür parçası ile pürüzlü bir porselen yüzey üzerine çizgi çizilerek elde edilir (Ateşok, 2004).

Isıl (Kalorifik) Değer: Kömürün ısı değeri, kömürleşme derecesine ve organik yapısına karışmış olan yanmayan maddelerin miktarına bağlıdır. Kömürün ısı değeri, kömürün yaşına bağlı olarak değişir ve yaş arttıkça ısı değeri de artar. Taş kömürlerinin ısı değeri yaklaşık 5000-7000 kcal/kg iken; linyitlerin 3000-5000 kcal/kg'dır. Kalorimetrede hesaplanan ısı değeri 'üst ısı değeri' olarak tanımlanır. Alt ısı değeri ise kalorimetrede yanma ile oluşan tüm suyun yoğunlaşma ısının, üst ısı değerinden çıkarılmasıyla bulunur (Ateşok, 2004).

2.3.3.2. Kömürün Kimyasal Özellikleri

Kömür, yapı ve bileşim bakımından homojen bir madde olmadığı için kömürleşen kısımlara ve kömürleşme sürecine bağlı olarak, yapısal bakımdan farklılıklar gösterir.

Oksidasyon: Kömürler havanın oksijeni altında oldukça yavaş gelişen bir oksitlenmeye uğramaktadırlar. Oksidasyon, kömürün uçucu miktarına, sabit karbon miktarına, gözenekliliğe ve içerdiği kükürt miktarına göre değişmektedir. Kömürün uçucu madde ve karbon miktarı yükseldikçe oksitlenmeye karşı direnci artar. Gözenekliliği yüksek olan ve büyük oranlarda kükürt içeren kömür kolaylıkla oksitlenir. Okside kömür kolaylıkla ufalanabilir, gevrek bir yapıya sahip olduğu için fazla miktarda ince aksam oluşturur. Bu da hazırlama tesislerinde olumsuz etkiler yapar (Ateşok, 2004).

Koklaşma: Kömürün havasız bir ortamda ısıtılırken termal olarak bozunup geride sert, iyi pişmiş bir katı ürün bırakması olayına koklaşma denir. Koklaşma neticesinde kömür gaz ve yoğunlaşabilir. Katran buharları çıkışına ve koklaşma 900 °C'in üzerinde yapılırsa yüksek sıcaklık koklaşması, 700 °C'de yapılırsa orta sıcaklık koklaşması ve 550 °C'de yapılan koklaşmalara da düşük sıcaklık koklaşması denir (Ateşok, 2004).

Nem: Kömürler; kömürleşme derecelerine göre farklı nem içerirler. Herhangi bir nemlendirme veya kurutma olmadığı takdirde ocak çıkışında; taşkömürü %1–3, sert linyitler %20-30, yumuşak linyitler % 40-60, turbalar ise %60'in üzerinde nem içerirler. Görüldüğü gibi, kömürleşme derecesi arttıkça kömürün ocak çıkışında içerdiği nem miktarı azalmaktadır. Kömürde nem hem fiziksel hemde kimyasal olarak bulunabilmektedir. Genel olarak kömürde nem; bünye nemi, kaba nem ve molekül suyu olmak üzere başlıca üç şekilde bulunur (Ateşok, 2004).

Plastikleşme: Metalürjik kok üretiminde kömürün kullanılabilmesi için 350-500 °C arasında yumuşayarak belli bir akışkanlık kazanması gerekmektedir. Kömürün akışkanlık kazanmasına plastikleşme denir (Baba, 2001).

Kül: Kömür yandığında kalan külün kaynağı, kömürün içerdiği mineral maddelerdir. Kömürün içinde bulunan organik maddeler yanma esnasında

oksitlenerek veya parçalanarak geride kül bırakırlar. Kül temelde silisyum, alüminyum, demir, kalsiyum ve az miktarda magnezyum, titan, sodyum ve potasyum bileşiklerinden oluşur. Silikatların kaynağı, şist ve kil mineralleri iken; demir oksitin en önemli kaynağı pirittir. Kalsiyum ve magnezyum oksitler ise karbonat minerallerinin parçalanması sonucu oluşur. Kül, kömürde istenmeyen bir bileşendir ve yakma işlemi sonunda atılır (Ateşok, 2004).

Uçucu Madde: Kömür, oksijensiz ortamda ısıtıldığında gaz ve sıvı ürünler halinde birtakım maddeler çıkmakta ve geride kok kalmaktadır. Isıtmaya bağlı olarak çıkan bu gaz ve sıvı maddelere kömürün ‘uçucu maddesi’ denir. Kömürün uçucu maddeleri; hidrojen, karbonmonoksit, metan, katran buharı, karbondioksit ve su buharıdır. Linyitlerin yaklaşık %40’ı uçucu maddelerden oluşur. Kömürleşme derecesi arttıkça uçucu madde miktarı azalmaktadır. Düşük uçucu içeren kömürler kısa alevle, yüksek uçucu içeren kömürler ise uzun alevle yanmaktadır (Yıldırım, 2007).

Karbon ve Hidrojen: Kömür yandığı zaman oluşan ısının hemen hemen tamamı içerdiği karbon ve hidrojenin yanması sonucunda oluşmaktadır. Karbon ve hidrojen, kömürde hem organik hem de inorganik yapıda bulunabilmektedir. Kömürleşme derecesi arttıkça hidrojen/karbon oranı küçülmekte, karbon miktarı artmaktadır (Ateşok, 2004).

Azot ve Oksijen: Kömürün içerdiği azotun tamamı organik yapıdadır ve miktarı genellikle %15’in üzerine çıkmamaktadır. Genellikle bitümlü kömürlerin azot içerikleri linyitlerinkinden fazladır. Kömürün yanması ile oluşan azot oksitler, kükürt oksitlerden sonra kömürden kaynaklanan ikinci önemli hava kirleticidir (Ateşok, 2004).

Kükürt: Kömürde kükürt; organik, piritik, sülfat ve elementer kükürt olmak üzere başlıca dört şekilde bulunur (Ateşok, 2000).

Kömürdeki Radyoaktivite: Kömür, doğada bulunan bir çok materyaller gibi iz miktarda ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleri ile birlikte ^{40}K içermektedir (Bukova, 2006).

Genelde kömürdeki doğal radyonüklit aktivite içeriği, yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonlardan daha küçüktür. Bununla birlikte, linyit gibi düşük kaliteli kömürlerin (özellikle genç linyitlerin), uranyum içeriğinin yüksek olduğu gözlenmiştir (Bukova, 2006).

2.3.3.3. Kömürün Petrografik ve Mineralojik Özellikleri

Kömür bilindiği gibi ‘maseral’ adı verilen yapı taşlarından (mikroskopik birimlerden) oluşmaktadır. Maserallerin belirlenmesi mikroskop altında ya ince kesit yöntemiyle (ışığın numuneden geçirilmesi) ya da parlak kesit yöntemiyle (ışığın numune üzerine yansıtılması) yapılır. İnce kesit yöntemine göre yapılan sınıflandırma sistemi, US Bureau of Mines'da Reinhardt Thiessen tarafından geliştirilmiştir ve Thiessen-Bureau of Mines Sistemi (TBM) adıyla anılmaktadır. Thiessen, kömürdeki yapı taşlarının üç ayrı gruptan oluştuğunu belirterek bu gruplara anthraxylon, attritus ve fusain adlarını vermiştir (Hui, 2006).

2.3.3.4. Kömür Yakma İşlemleri Sırasında İz Elementlerin Davranışları

Kömür kalitesi şüphesiz kömürün kullanımını etkilemektedir. Kömür kalitesi dendiğinde akla ilk gelen; kömürün kalorifik değeri, kül, kükürt, nem içeriği ve uçucu maddedir. Bunun dışında kömürlerin iz element içerikleri, analizlerde pek aranmayıp, sorulmayan değerler olup, çevre açısından çok büyük kirlilikler oluşturabilmektedir. Kömür içerisinde başlıca hava kirletici parçacıklar denilen elementlerden bir kısmı veya hepsi kömürün oluşum yeri ve yapısına bağlı olarak değişik miktarlarda bulunurlar. Türkiye’de bu konuya değinilmemesine rağmen, kömürlerin ortaya koyduğu iz element değerleri konuya önem verilmesini gerektirmektedir (Demir, 2009).

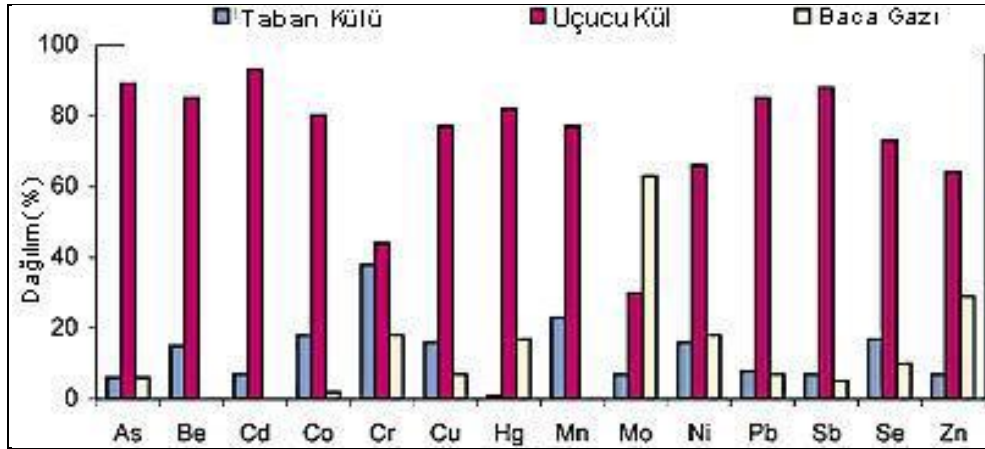
Kömürün kül içeriği, yanma sonucu arta kalan inorganik kalıntıyı gösterir. Termik santrallarda her zaman tam yanma gerçekleşmediğinden oluşan külün içinde çok az miktarda organik madde kalıntıları bulunabilmektedir (Demir, 2009).

Termik santrallerde yanma esnasında kazan alev sıcaklığı 1600 °C’yi aşabilmektedir. Kazan alevindeki yüksek sıcaklık koşulları altındaki tanecikler üzerinde bir dizi kompleks fizikokimyasal değişiklikler oluşur. Tanecikler yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisi ile çok çabuk küresel formlara dönüşebilmektedir.

Ayrıca, gaz akışıyla da ergimiş malzeme kısmen veya tamamen küresel şekilli kül parçacıklarına dönüşmektedir (Ernazar, 2000).

Termik santrallerde toz kömürün yanması sırasında kömür bünyesinde bulunan karbon, nitrojen ve kükürt oksitlenerek karbon oksit (CO_x), nitrojen oksit (NO_x) ve kükürt oksite (SO_x) dönüşür. Bu dönüşüm sırasında bir miktar da su buharı ortaya çıkmaktadır. Cürufklar yakma kazanlarının altında toplanırken, uçucu küller elektro filtrelerde tutulmakta, bir kısmı ise baca gazı ile taşınmaktadır. Yapılan çalışmalar iz elementlerin daha çok uçucu küller üzerinde toplanmakta olduğunu göstermiştir (Solomon, 2012).

Kömür yakan termik santrallerde yanma kazan içerisinde kullanılan kömürün cinsine bağlı olarak 900-1400 °C arasında gerçekleşir. Kömür parçaları kazan içerisinde ısınır, buharlaşabilen maddeler gaz haline gelir ve yanma gerçekleşir. Mineraller yüksek ısı altında bozunup erimeye, parçalanmaya başlar ve aglomere olurlar (Ateşok, 2000). Şekil 2.10'da bazı iz elementlerin yanma sonrası bulunma yerleri görülmektedir.



Şekil 2.7: Bazı iz elementlerin yanma sonrası bulunma yerleri (Demir, 2009)

Hg, As, Se, Ni, Pb, Ce ve Zn ağırlıklı olarak sülfid mineralleri ve organik maddelerle ilişkilidir. Kömür mineralleri veya organik maddelerle iz elementlerin birleşimi (oluşumu), buharlaşma sınırını ve buna bağlı olarak tesisten çıkan baca gazındaki oranını önemli ölçüde etkileyebilir. Baca gazlarında saptanan iz elementler ağırlıklı olarak sülfid mineralleriyle ilişkilidir (Demir, 2009).

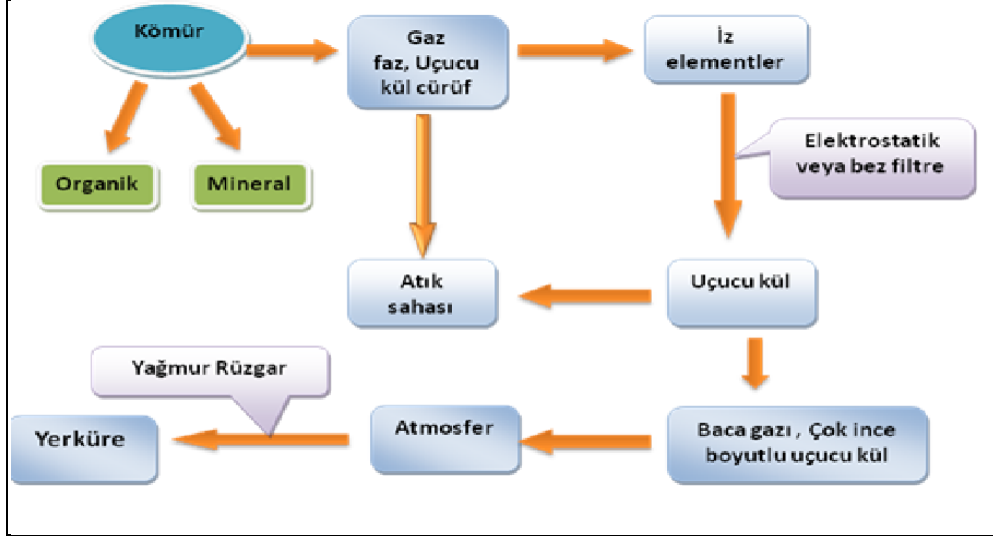
Hindistan’da kömür kullanan termik santralde yapılan bir çalışmaya göre santral bacası elektro filtrelerinden kaçan uçucu küllerin analizinde Ni, Cr ve Pb konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir (Öztürk, 2012).

Biyokütle ve atık ikincil yakıtlar ile kömürün yakılmasından ortaya çıkan iz element emisyonlarına bakılacak olunursa atmosferik basınç altında çalışan akışkan yataklı bir yakıcı reaktör kullanılarak yapılan çalışmada iz elementler küllerdeki Cd, Pb ve As’yi takiben Hg ve Se içerdiği gözlenmiştir. Ayrıca; Zn, Sb, Cr, V, Cu, Sr, Mo, Mn ve Ba’da görülmüştür. Külde alıkonulan elementler içinde en yüksek değerler Be, Co ve Ni için kaydedilmiştir. Bu elementler santrallerde kendi davranışları ile ayrılırlar ve bazıları kömür veya fuel-oil yakımında gaz şeklinde yayılırken, bazıları da daha ağır külde kalırlar (Özyurt, 2006). Tablo 2.6’de kömürlerin yanması sonrasında oluşan major inorganik dönüşümleri verilmektedir.

Tablo 2.6: Kömürlerin yanması sonrasında oluşan major inorganik dönüşümler (Kırdım, 2006)

Kömür içindeki mineraller	Uçucu küldeki dönüşüm ürünleri
Fillosilikatlar	Amorf madde, Mullit ($Al_6Si_2O_{13}$), Kuvars
Kuvars	Amorf madde, Kuvars (SiO_2)
Pirit (FeS_2), siderit ($FeCO_3$), Demiroksitler	Hematit (Fe_2O_3), Manyetit (Fe_3O_4)
Kalsit ($CaCO_3$)	Kireç (CaO)
Dolomit $Ca Mg (CO_3)_2$	Kireç, Periklaz (MgO)
Jips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)	Anhidrit ($CaSO_4$)
Ankerit $Ca (Mg Fe Mn) (CO_3)_2$	Kalsiyum ferrit ($CaFe_2O_4$), Periklaz

Genel olarak; Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn ve oksitlenmiş civa gibi daha az uçucular, uçucu kül ve kazan altı külü gibi ince taneli malzeme ile beraber bulunabilmektedirler. As ve Se orta uçuculuğu temsil eder ve atmosfere geniş yayılım ile yayılırlar. Pb, Cd, Cr, As ve Hg gibi bir kanunla düzenlenen ağır metallerde yapılan birçok araştırma, farklı tane boyutunda zenginleşme, absorpsiyon veya adsorpsiyon ile atılma ve reaksiyon konularında yapılmıştır. Bununla beraber; bu elementlerin gerçek davranışı laboratuarlarda tahmin edilemez, çünkü kömürün yanması, yanma sıcaklığı, halojen numune konsantrasyonu redoks şartları ve farklı numuneler arasındaki etkileşim gibi yüksek kompleksli prosesler ile şartlandırılır (Özyurt, 2006). Kömür içindeki iz elementlerin yanma sırasında ve sonrasında ne şekilde bir davranış gösterdikleri Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



Şekil 2.8: Yanma sırasında ve sonrasında iz elementlerin davranışı (Özyurt, 2006)

Ortak Yakma Prosesleri Sırasında İz Elementlerin Davranışları

Yapılan bir çalışmada, akışkan yatak yakıcılarda samanlı kömür ve kağıt çamurunun karışımı ortak ateşlendiğinde ağır metallerin davranışı incelenerek, genel olarak elementlerin çoğunun yataktan kaçtığını fakat uçucu kül fraksiyonları halinde elde edildikleri belirtilmiştir. Bir akışkan yataklı yakıcıda lağım çamuru ve kömürün ortak yakılması sırasında Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Mn ve Zn emisyonlarının genellikle emisyon sınırları altında olduğu gözlenmiştir (Özyurt, 2006).

2.4. UÇUCU KÜLLER HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Uçucu kül, elektrik üreten termik santrallerde toz haline gelmiş kömürün bir yanma ürünü olarak elde edilmektedir. Termik santral fırınlarında yanan öğütülmüş yakıttan dolayı oluşan küllerden bir kısmı sıcaklığın etkisi ile yüksek bacalardan dışarı doğru uçuşurlar. Uçucu kül olarak adlandırılan bu atık madde mekanik filtreler yada elektronik toplayıcılar vasıtasıyla toplanır. Uçucu külün puzolanik olduğu bilinmektedir (Günindi, 2005).

Uçucu kül amorf ve kristalin fazların her ikisini de içeren heterojen kompleks bir maddedir. Başlıca Al, Si, Fe, Ca, K ve Na elementlerini içeren bir ferroaluminosilikat mineralidir. Uçucu kül hemen hemen doğal elementlerin tümünü içerir ve eser element bakımından kömüre göre daha zengindir (Volkan, 2006).

Baca gazından elektrofiltreler vasıtasıyla tutulan uçucu kül, kül atma bunkerlerine pnömatik veya mekanik yöntemlerle taşınır ve bu noktada kuru olarak temin edilebilir. Bazı santrallerde ise uçucu kül tamamen hidrolik yöntemle kapalı borular içinde kül barajlarına aktarılır (Özyurt, 2006).

Uçucu küllerin ve taban küllerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri çeşitli etkenlere bağlıdır.

- Uçucu külün kaynağının oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine,
- Kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine,
- Kazan türüne,
- Yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine,
- Kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine bağlıdır (Volkan, 2006).

2.4.1. Uçucu Küllerin Tanım ve Oluşumu

Modern termik santrallerde en önemli atık malzeme; toz kömürün yanmasıyla meydana gelen, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. Termik santralin 1 kWh'lik enerji üretiminde yaklaşık 110 g kül atık madde olarak açığa çıkmaktadır. 1000 MW'lık bir santralden yılda yaklaşık 650.000 ton uçucu kül ve taban külü elde edilmektedir. Dolayısıyla bu küllerin santrallerden uzaklaştırılması ve depolanması çevre kirliliğinin yanı sıra işletme, enerji üretim kaybı konularında parasal ve teknik sorunlar yaratabilmektedir (Görhan, 2009).

4 tip yanma ürünü vardır (Doğan, 2007);

1. Konvansiyonel uçucu kül,
2. Scrubber (Yıkama külesi) şlamı,
3. Akışkan yataklı yakma sistemlerinin uçucu külü,
4. Cüruf (Spent-bed).

1-Konvansiyonel uçucu kül (convensional fly ash (CFA)): pülverize kömürün yakıldığı fırınlarda oluşmaktadır. Uçucu kül çok küçük küresel şekilli partiküllerden oluşur ve tipik olarak partiküllerin % 65'nin boyutu 0,01 mm'den küçüktür. Bu sebeple taşıma ve elde işleme aşamasında toz büyük önem taşır, dikkat edilmelidir (Doğan, 2007).

2-Yıkama kulesi şlamı: Ağırlıklı olarak kalsiyum sülfat (jips) ve sülfitten oluşmaktadır. Kuleden çıkan malzeme % 15-20 arasında katı kısım içerirken, kuru depolama amacı ile ilk etapta katı konsantrasyonu, tikinlerde % 40-50'ye yükseltilirken, daha sonra bu oran vakum filtrelerde, santrifüjde veya siklonlarda % 65-75 oranına kadar yükseltilmektedir (Doğan, 2007).

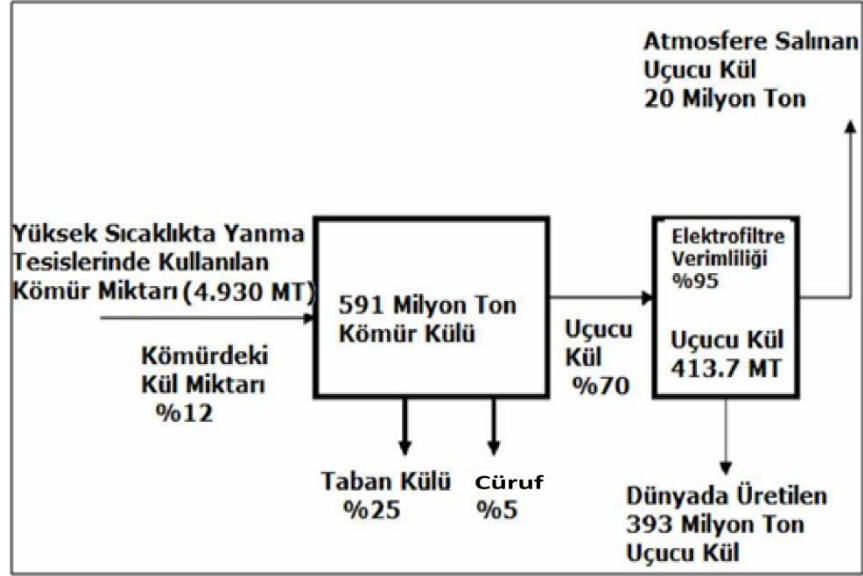
3-Yeni bir yakma tekniği olan akışkan yataklı yakma işlemleri (Fluidized Bed Combustion (FBC)) sonucu oluşan kül ise değişik yakıtların, kireç taşı gibi akışkan, absorblayıcı yataklarda, SCV'yi uzaklaştırmak amacı ile yakılması sonucu oluşmaktadır. Yanma esnasında temel olarak iki tip ürün uçucu kül ve cüruf oluşmaktadır (Sear, 2001).

4-Yanan kömürün, özelliğine bağlı olarak, en az % 12-15'i uçucu kül ve cüruf olarak sonuçlanmaktadır.

Bantla depoya gelen ve stakerler vasıtasıyla dökülen kuru kül dozerlerle yayılmakta, gerekli olduğu takdirde döküm sahasında da tozlanmanın önlenmesi amacıyla kül, spreylere vasıtasıyla ıslatılmaktadır. Kül dökme işleminin bittiği, aktif olmayan alanların üzeri toprakla kapatılarak bitkilendirilmektedir (Kuular, 2000).

İkinci yöntemde ise; 1/8 veya 1/9 oranında su ile karıştırılan kül, hidrolik olarak borularla kül barajına pompalanmaktadır. İlk hidrolik sistem Soma Termik Santralinde uygulanmıştır (Kuular, 2000).

2009 yılında Dünya'da kömür kullanan yüksek sıcaklıkta yakma tesislerinde oluşan kül, uçucu kül ve atmosfere salınan uçucu kül miktarı Şekil 2.9'da verilmiştir (Öztürk, 2012).



Şekil 2.9: Kömürün yanması sonucu oluşan kül ve uçucu kül değerleri (Öztürk, 2012)

Şekil 2.9'da görüldüğü gibi 2009 yılı verilerine göre Dünya'da yılda yüksek yakma tesislerinde kömür yanması sonucu oluşan uçucu kül miktarı yılda yaklaşık olarak 413,7 milyon tonun üzerindedir. Bu uçucu külün 160 milyon tonu Çin'de, 89,5 milyon tonu Hindistan'da, 76,5 milyon tonu A.B.D'de, 30 milyon tonu Güney Afrika'da oluşmuştur (Öztürk, 2012).

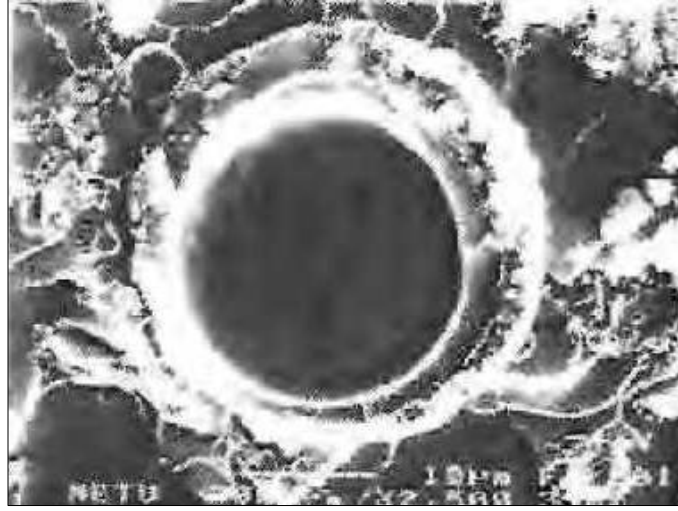
2.4.2. Uçucu Küllerin Özellikleri

2.4.2.1. Uçucu Küllerin Türleri

Uçucu küller, termik santralde kullanılan kömür türüne bağlı olarak linyit uçucu külü ve taş kömür uçucu külü olmak üzere 2 gruba ayırmak mümkündür. Kimyasal özellikleri bakımından linyit uçucu külü, taş kömür uçucu külüne göre özellikle toprak alkali metallerin fazla oluşu bakımından farklıdır. Bu özellik, linyit uçucu küllerinin kullanılmasında büyük önem taşır. Taşkömürü uçucu külü tamamen kuru olarak elde edilmekte olup, taneciklerin büyük bir kısmı camsı minerallerden meydana gelmektedir (Görhan, 2009).

Uçucu küllerin özgül ağırlığı çok geniş bir aralıkta ($1,59-4,0 \text{ g/cm}^3$) dağılım göstermektedir. Uçucu küllerini oluşturan bazı partiküllerin özgül ağırlıkları manyetit-spinel $4,0 \text{ g/cm}^3$, kuvars $2,65 \text{ g/cm}^3$, mullit $3,03 \text{ g/cm}^3$, karbon $1,2-2,0 \text{ g/cm}^3$, alüminyum silikat ve camlar $2,5-2,7 \text{ g/cm}^3$ şeklindedir (Özlem, 2006).

Taban küllerinin yüzey alanı ortalama $400 \text{ m}^2/\text{kg}$ değerinde iken uçucu küllerin özgül yüzey alanları $1060 \text{ m}^2/\text{kg}$ 'a kadar ulaşabilmektedir. Uçucu küllerin geçirimsizlik katsayıları ise taban külüne oranla daha düşüktür (Özlem, 2006). Şekil 2.10'de Türkiye'deki Çatalağzı termik santralin uçucu küllerinin SEM görüntüsünü gösterilmektedir.

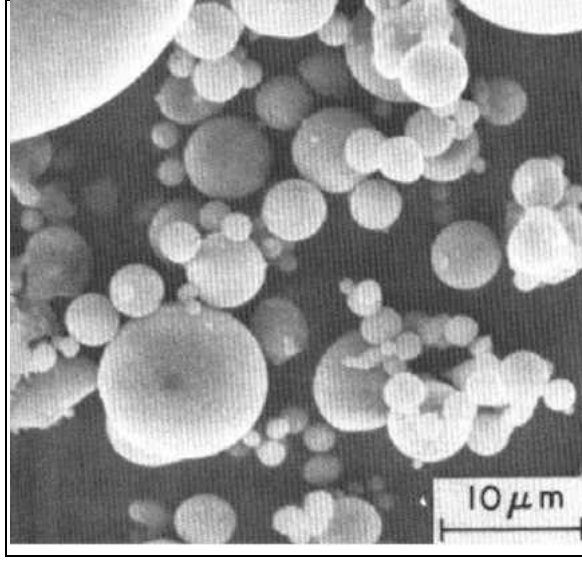


Şekil 2.10: Türkiye'deki Çatalağzı termik santrali uçucu küllerinin SEM görüntüsü (Özlem, 2006)

2.4.2.2. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması

Uçucu küllerin sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesine göre esas olarak ASTM C618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır. ASTM C618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar. F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi % 70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi % 10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı % 50'den fazla olan küllerdir. C sınıfı uçucu küllerde $\text{CaO} > \% 10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler TS EN 197-1'e göre yapılan sınıflandırmada uçucu küller silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan; geri kalanı

demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının % 10'dan az, reaktif silis miktarının % 25'den fazla olması gerekmektedir. W sınıfı küller ise, hidrolik veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO₂ ve Al₂O₃'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe₂O₃) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının % 10'dan fazla, reaktif silis miktarının da % 25'den fazla olması gerekmektedir (Görhan, 2009). Şekil 2.11'de Tipik bir F sınıfı uçucu külün SEM'de görünümü görülmektedir.



Şekil 2.11: Tipik bir F sınıfı uçucu külün SEM'de görünümü (Özyurt, 2006)

Uçucu küllerle ilgili olarak Türk Standartları Enstitüsü'nde hazırlanmış olan iki standart bulunmaktadır. 'TS 639 uçucu kül' uçucu küllerin tanımı, sınıflandırılması, özellikleri, deney yöntemleri ve kalite kontrolü ile ilgilidir. Uçucu küllerin kimyasal özellikleriyle ilgili olarak getirilen sınıflandırmalar aşağıda Tablo 2.7'de görülmektedir (Doğan, 2007).

Tablo 2.7: TS 639'da belirtilen uçucu külün kimyasal özellikleri (Gül, 2001)

Özellikler	Standart sınırları
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	en az %70
MgO	en çok %5
SO ₃	en çok %5
Rutubet	en çok %3
Kızdırma Kaybı	en çok %10

Tablo 2.8’de Termik santral uçucu küllerin ASTM C618, TS 639’da belirtilen uçucu külün kimyasal özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.8: Uçucu külün kimyasal bileşimi (Topçu, 2001)

Oksitler %	UK	ASTM C 618 Limitleri		TS 639 Limitleri
		F Sınıfı	C Sınıfı	
SiO ₂	48,44	-	-	-
Al ₂ O ₃	22,16	-	-	-
Fe ₂ O ₃	9,32	-	-	-
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	79,92	en az 70,0	en az 50,0	en az 70,0
CaO	9,18	-	-	-
MgO	0,71	en çok 5,0	en çok 5,0	en çok 5,0
TiO ₂	1,01	-	-	-
K ₂ O	1,87	en çok 5,0	en çok 5,0	-
Na ₂ O	2,00	en çok 5,0	en çok 5,0	-
SO ₃	2,64	en çok 5,0	en çok 5,0	en çok 5,0
Kızdırma Kaybı	2,43	en çok 12,0	en çok 6,0	en çok 10,0

Tablo 2.9’da uçucu kül ile ilgili Türk standartları verilmiştir.

Tablo 2.9: Uçucu kül ile ilgili Türk standartları (Görhan, 2009)

Standart no	Standardın adı	Açıklama
TS 639	Uçucu küller-çimentoda kullanılan	Tarifi, sınıflandırılması, özellikleri, deney metotları ve kalite kontrolü
TS 640	Uçucu küllü çimento	Fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri ve deney metotları
TS EN 450	Uçucu kül-betonda kullanılan	Özellik ve kalite kontrolü
TS EN 451-1	Uçucu kül-Deney metodu-Bölüm	Serbest kalsiyum oksit tayini
TS EN 451-2	Uçucu kül-Deney metodu-Bölüm	Islak eleme ile incelik tayini

USEPA (1986) Sınıflandırması: Bu sınıflandırma uçucu küllerin çevresel etkileri dikkate alınarak yapılmıştır. Uçucu küllerde asetik asit çözeltisi ile reaksiyona tutulmasından sonra açığa çıkan 7 element (Ag, As, Ba, Cd, Cr, Hg, Mn ve Se) ve 44 organik bileşiğin konsantrasyonların ölçülmesi ile sınıflandırma yapılmakta ve küller toksik ve toksik olmayan olarak iki sınıfa ayrılmaktadır (Guang, 2010).

2.4.2.3. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Siklonlarda toplanan küller, elektro filtrelerde toplananlardan daha iri tanelidirler. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı arttıkça uçucu küllerin rengi

koyulaşır. Renginin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu kül siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül diğerine göre daha açık renktedir (Özyurt, 2006).

Yanma sürecinin bitiminde çabuk soğuma sonucu uçucu kül partikülleri küresel formlarda şekillenirler, içi boş küresel partiküllere senosfer, daha küçük boyutlu, ince duvarlı ve içi daha küçük partiküller ile dolu (iç içe geçmiş) parçacıklara ise plerosfer ismi verilmektedir. Morfolojik olarak bu iki tür partikül, uçucu küllerin % 67-95'ni oluşturmaktadır (Volkan, 2006). Tablo 2.10'da Türkiyenin bazı termik santrallerin uçucu ve taban küllerinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

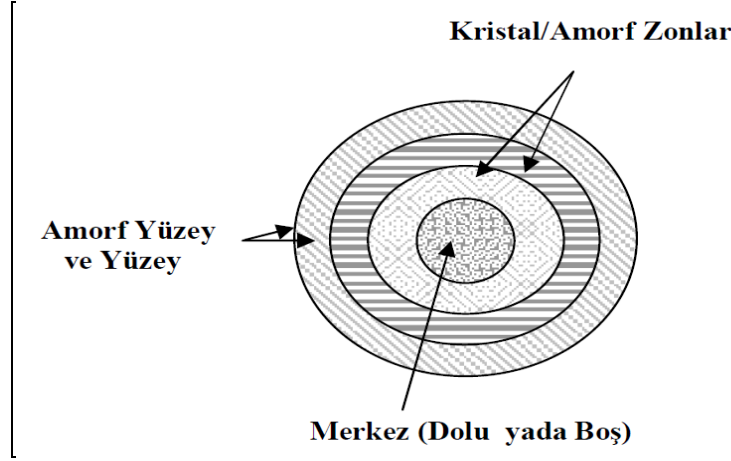
Tablo 2.10: Uçucu ve taban küllerinin fiziksel özellikleri (Türkmenoğlu, 2010)

Fiziksel Özellik	Uçucu Kül	Taban
Partikül çapı (μm)	20-80	500-7000
Özgül Ağırlık (g/cm^3)	1,59-3,1	2,17-2,78
Özgül Yüzey Alanı (cm^2)	200-1060	400
Permeabilite katsayısı	5,10-9,1, 10-6	2,5-9,4
Üniformluk katsayısı	2-9,8	8,2-8,5

Tane Boyutu: Uçucu kül partikülleri çoğunlukla küresel şekilli çok küçük tane boyutuna sahiptirler. Uçucu küllerin tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve ekipmanlarına bağlıdır. Uçucu küllerin tane boyutları öncelikle kullanılan kömürün öğütülme derecesine bağlıdır. Bacada kullanılan filtre ve kullanılan yakıtın cinsi tane boyutunu etkileyen diğer faktörlerdir. Genellikle taşkömürü uçucu külü linyit uçucu külünden, elektrofiltrelerde toplananlar siklonlarda toplananlardan daha ince bir yapıya sahiptirler (Özyurt, 2006).

Termik santrallarda yanma esnasında kazan alev sıcaklığı $1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'yi aşabilmektedir. Kazan alevindeki yüksek sıcaklık koşulları altındaki tanecikler üzerinde bir dizi kompleks fizikokimyasal değişiklikler oluşur. Tanecikler yüzey gerilim kuvvetlerinin etkisi ile çok çabuk küresel formlara dönüşebilmektedir. Oldukça küçük tane boyuna sahip olan partiküller atık gazlar ile birlikte (CO_2 , CO , H_2O , SO_2 , v.b.) bacadan çıkış esnasında çok kısa sürede gerçekleşen sıcaklık düşüşü nedeniyle amorf katı durumda soğurlar. Soğuma şiddeti ile taneciklerin boyutu arasında önemli bir ilişki söz konusudur. Yavaş soğuyan büyük tanecikler kristaller

oluşturmakta, hızlı soğuyan küçük tanecikler ise camsı formda meydana gelmektedir. Bir uçucu kül taneciğinin şematik kesiti Şekil. 2.12’de verilmiştir (Volkan, 2006).



Şekil 2.12: Uçucu kül taneciğinin şematik kesiti (Volkan, 2006)

Manyetik Özellikler: Uçucu kül içerisinde bir mıknatıs daldırıldığında bir miktar uçucu külün mıknatısa yapıştığı görülür. Manyetik özelliği olmadığı halde yapışan tanecikler hafif bir hava akımı ile uzaklaştırılır. Uçucu küller üzerinde yapılan deneyler sonucunda uçucu küllerin yaklaşık %25’inin mıknatısta kaldığı görülmüştür (Volkan, 2006).

Suda Çözünürlük: Uçucu külün bünyesinde bulunan SO_2 ve toprak alkali metal bileşiklerin büyük bir çoğunluğu saf suda çözünürler. Bunun dışındaki bileşikler çok az çözünür. Uçucu kül içerisindeki amorf ve camsı silis oda sıcaklığında ve saf suda çok az çözünür ancak sıcaklığın artması ile çözünürlükte belirgin bir artış izlenir, bu durum puzolanik özellik istenen karışımlar için iyi olmayan bir özelliktir (Volkan, 2006).

Uçucu Küllerin Alkaliliklerine Göre Sınıflandırılması: Kül su sisteminin pH’ının, uçucu küldeki Ca ve S konsantrasyonları arasındaki oran tarafından kontrol edildiği görülmektedir. Ancak diğer minör alkaliler ve magnezyum gibi alkali toprak katyonlarda dengeye katkıda bulunabilmektedirler. Küldeki Ca içeren fazların oluşumları ve seviyeleri kömürün yataklandığı çevreyle yakından ilişkilidir. Ca/S dengesi ve pH’ye göre uçucu küller üç ana gruba ayrılmaktadırlar (Kadıköylü, 2005).

Kuvvetli alkali küller: Liçte serbest kireç çözünmesi baskındır, pH seviyeleri tipik olarak 11-13 aralığındadır ve çözünenler içinde büyük miktarlarda Ca bulunmaktadır. Ca, S'ye göre baskındır ($Ca/S > 1$). Orta derecede alkali küllerin liçinde anhidrit çözünmesi baskındır. Düşük Ca seviyeleri görülmektedir ve orta derecede alkali şartlar (pH 8-9) ortaya çıkaran dengelenmiş Ca/S oranları mevcuttur (Görhan, 2009).

Asidik uçucu kül asidik bileşenler uçucu kül taneciklerinin yüzeyinde konsantre oldukça çözeltiye sülfürik asit olarak girmekte, sülfat içerikleriyle ilişkili olarak CaO ve MgO'te tüketilmekte ve böylece orjinal asidik karakteristiklerini korumaktadırlar.

Kül su sistemlerinin pH'ının statik olmadığı ve zamanla değiştiği göz önünde bulundurulmalıdır. pH'ı kontrol eden elementler suyun süzülmesiyle göç ettikçe hem asit hem de alkali küller doğala daha yakın pH değerleri gösterme eğilimine girmekte ve bazı elementlerin hareket kabiliyetlerini etkilemektedirler (Görhan, 2009).

Herhangi bir element uçucu külden çözünebilmekte ve daha duraylı ve daha az çözünebilir fazla halinde çökerebilmektedir. Sonuç olarak söz konusu element çözünenler içerisinde ayrılmaktadır. İlk fazın daima alkali külün su ile reaksiyonun sırasında gerçekleşen etrenjit gibi mineraller sayılı iz elementleri yakalayabilmektedir. Etrenjitin oluşması için Ca, Al, SO_4^{2-} içerikli su ve $pH > 11$ şartları gerekmektedir. Ca'un yapısına bağlı olarak, çeşitli Ca içeren türlerin çökmesi de ayrıca yaygındır. Fe oksitler üzerine sorpsiyon mekanizması, elementlerin hareket kabiliyetlerini azaltabilen bir prosesdir. Bunun nedeni Fe oksitlerin metal bağları için uygun bölgeler sağlanmasıdır. Bu bahsedilen prosesler hepsi pH'a duyarlıdır (Papastefanou, 2009).

2.4.2.4. Uçucu Küllerin Kimyasal ve Mineralojik Özellikleri

Kimyasal olarak uçucu küller başlıca camsı alüminosilikatlardan oluşur. Önemli bileşenleri: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO ve Fe_2O_3 'tür. Uçucu külün ana bileşenleri silisyum, alüminyum, demir ve kalsiyum oksitleri toplam bileşimin yaklaşık %80-95'ini oluşturur. Magnezyum, titan, sodyum, potasyum, kükürt ve fosfor gibi minör bileşenler ise toplam bileşimin yaklaşık %0,5-10'unu oluşturur. Uçucu küller Sb, Ar,

Ag, Ba, Be, B, Cu, F, Pb, Mn, Mg, Mo, Ni, Se, Te, Tl, Sn, Ti, U, V ve Zn gibi eser derişimlerde 20 ile 50 arasında element içerir (Douglas, 1988). Tablo 2.11’de örnek uçucu küllerin kimyasal analiz değerleri verilmektedir.

Tablo 2.11: Örnek bir uçucu kül kimyasal analiz değerleri (Görhan, 2009)

Oksit	Silikoalüminöz Uçucu kül	Sülfokalsik Uçucu kül	Silikokalsik Uçucu kül
SiO ₂	50,0	11,2	38,0
Al ₂ O ₃	30,0	12,0	22,0
Fe ₂ O ₃	7,0	7,0	4,0
CaO	2,6	47,0	24,0
MgO	1,1	1,4	5,0
SO ₃	0,5	6,0	1,0
K ₂ O	5,0	6,0	2,0
Na ₂ O	0,8	8,2	1,0
Diğer	3,0	1,2	3,0
Toplam	100	100	100

Kimyasal yapısı yaklaşık olarak %50 SiO₂, %30 Al₂O₃, % 7 Fe₂O₃ (Fe₂O₃, FeO veya Fe₃O₄ şeklinde), % 4 K₂O, %2 CaO, %2 MgO, % 1 TiO₂, %0,5 SO₃, % 1 Na₂O, eser miktarda berilyum, germanyum, fosfor, molibden ve bordan meydana gelmiştir. Yanma biçimine bağlı olarak esas elemanlar, silis ve alüminyum veya kireç ve kükürtdioksit olabilir. Fe₂O₃, CaO, MgO ateşten uzak olduğu oranda azalmakta, dolu küresel taneler artmakta ve birim hacim fazlalaşmaktadır (Krekdkj, 2002).

Tablo 2.12’de Türkiye’deki bazı termik santrallerde oluşan uçucu küllerin kimyasal içerikleri verilmektedir.

Tablo 2.12: Türkiye’deki bazı termik santrallerde oluşan uçucu küllerin kimyasal içerikleri (Ernazar, 2000)

Oksit	A-E	ÇA	SÖ	S	T	Y
SiO ₂	27,4	56,8	40,6	39,8	56,4	51,2
Al ₂ O ₃	12,8	24,1	9,1	22,3	23,0	22,9
Fe ₂ O ₃	5,5	6,8	7,7	4,4	10,1	7,8
S+A+F	39,7	87,7	57,4	66,5	89,5	81,9
CaO	47	1,4	19,9	25,4	2,1	13,0
MgO	2,5	2,4	8,1	1,9	3,3	2,8
SO ₃	6,2	2,9	10,6	4,8	0,4	0,3
Alkali	0,3	3,0	1,4	0,4	0,9	2,9
TiO ₂	0,7	1,1	-	0,6	-	0,9
K.K.	2,4	0,6	1,4	0,4	1,1	0,4

A-E: Afşin-Elbistan termik santrali
SÖ: Seyitömer termik santrali
T : Tunçbilek termik santrali

ÇA: Çatalağzı termik santrali
S : Soma termik santrali
Y : Yatağan termik santrali

Bazı elementlerde kaynama noktaları kazan sıcaklığından düşük olmasına rağmen yoğunlaşma özellikleri nedeniyle bacadan çıkamadan uçucu kül taneleri üzerinde birikme özelliği gösterirler. Bu elementlerin miktarı taban küllerinde daha az oranda izlenir. Tane yüzeylerine birleşen bu elementler kömür içindeki kil ve sülfür minerallerinden kaynaklanmakta ve matriks olmayan ya da kalkofil elementler olarak tanımlanmaktadır. Bu elementler yüzeye yoğunlaşma ve adsorbsiyon olayları ile zenginleştiğinden partikül boyutunun azalmasıyla element konsantrasyonunda artış gözlenir. Bu iz elementler, partikül yüzeyinde bulunduklarından sulu çözeltiler ile kolaylıkla serbest hale geçebilmekte ve bu durumda uçucu küllerin potansiyel bir kirletici olması sonucunu doğurmaktadır (Volkan, 2006). Uçucu külde bulunan başlıca elementler ve bunların minimum ve maksimum limit değerleri Tablo 2.13’de verilmiştir.

Tablo 2.13: Uçucu külde bulunan başlıca elementler (Osman, 2004)

ELEMENT	Uçucu Kül (mg/1)		ELEMENT	Uçucu Kül (mg/1)	
	Min.	Maks.		Min.	Maks.
Antimon (Sb)	0,8	1000,0	Kobalt (Co)	6,0	1500,0
Arsenik (As)	2,3	1700,0	Bakır (Cu)	30,0	3020,0
Baryum (Ba)	96,0	13900,0	Flor (F)	0,4	624,0
Berilyum (Be)	1,0	1000,0	Galyum (Ga)	10,0	1000,0
Bizmut (Bi)	10,0	30,0	Germanyum (Ge)	<10,0	11000,0
Bor (B)	<10,0	3000,0	Altın (Au)	0,004	0,5
Brom (Br)	0,3	670,0	Demir (Fe)	7800,0	289000,0
Kadmiyum (Cd)	0,1	250,0	Kurşun (Pb)	3,1	1600,0
Kalsiyum (Ca)	5400,0	17700,0	Lityum (Li)	77,0	77,0
Seryum (Ce)	28,0	320,0	Magnezyum (Mg)	4900,0	60800,0
Klor (Cl)	13,0	25000,0	Mangan (Mn)	31,0	4400,0
Krom (Cr)	11,0	7400,0	Civa (Hg)	0,01	22,0
Fosfor (P)	600,0	2500,0	Molibden (Mo)	6,5	500,0
Platin (Pt)	0,7	-	Nikel (Ni)	1,8	8000,0
Potasyum (K)	1534,0	34700,0	Gümüş (Ag)	1,0	50,0
Selenyum (Se)	1,2	<500,0	Sodyum (Na)	1180,0	20300,0
Silisyum (Si)	1960,0	2710,0	Tellür (Te)	0,1	10,0
Titan (Ti)	400,0	15900,0	Toryum (Th)	1,8	68,0
Tungsten (W)	2,9	42,0	Kalay (Sn)	<3,0	4250,0
Uranyum (U)	0,8	30,1			

Uçucu küllerdeki karbon miktarları yanma olayına bağlı olarak değişmektedir. Yanmanın iyi olduğu termik santrallerde karbon yüzdesi çok düşük (% 1-3) olmasına karşın eski tip santrallerde bu oran %10’a kadar yükselmektedir. Termik

santral kazanlarında yüksek sıcaklıktaki yanma sonucu kömür içindeki iz elementler büyük ölçüde değişime uğrarlar. Kimyasal davranışlarına göre iz elementler iki alt grup altında toplanmaktadır (Koçer, 2006). Bunlar:

a- Matriks Olamayan Elementler

Yanma süreci sırasında elementlerin kaynama noktası kazan sıcaklığından düşükse buharlaşır. Hg gibi elementler yüksek uçuculuğa sahip olduklarından atmosfere deşarj olurlar. Kaynama sıcaklığı 1550 °C altında bulunan element ve bileşikler genellikle matriks olmayan grup içerisinde yer almaktadır. Bir çok inorganik element matriks ve matriks olmayan elementler arasında davranış gösterirler. Bu elementler küllerin bünyesinde ve yüzeyine bağlanmış olarak gözlenmektedir. Camlar, ‘kristallenme olmaksızın katı halde soğuyan silisli inorganik maddeler’ olarak tanımlanır. Bunlar gerçek katı değildirler ve izotropik yapılarından dolayı çok viskoz sıvılar oldukları düşünülebilir (Volkan, 2006).

b- Bağlayıcı Elementler

Bağlayıcı elementler Al, Fe, Mg ve Si gibi uçucu olmayan majör elementlerden oluşmaktadır. Bağlayıcı elementlerin konsantrasyonları taban ve uçucu külde neredeyse aynı miktarda gözlenirler. Kaynama sıcaklığı 1550 °C’nin üstünde bulunan element ve bileşikler bu grup içerisinde yer alır (Bai, 2009).

Uçucu kül ve taban küllerinde bulunan mineralleri, daha önce açıklandığı gibi, beslenen kömür içinde bulunan ve yanma sonucunda değişim göstermeyen birincil mineraller ve yanma sonucunda oluşan ikincil mineraller oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen XRD çalışmalarıyla, bu küllerde amorf maddenin (cam) en önemli kısmı oluşturduğu ortaya çıkmaktadır. Uçucu ve taban külünde tanımlanan yeni oluşan (ikincil) mineraller, silikat eriyiklerinden kristalizasyonla, kısmi dehidratasyon ve katı faz reaksiyonu yoluyla oluşabilmektedir. Uçucu ve taban küllerinde saptanan anhidrit, hematit, manyetit, portlandit, mullit daha öncede açıklandığı gibi, ikincil olarak oluşmuş minerallerdir (Kırdım, 2006).

Taban külünde gözlenen kalsit, kömür içinde bulunan değişime uğramayan birincil ve/veya Ca, Mg, Fe oksitlerin organik maddelerden serbest hale geçen CO₂ ile reaksiyonu sonucu ikincil mineral olarak oluşabilmektedir. Örnekler içinde saptanan

anhidritin jipsin dehidratasyonu ve/veya organik maddelerden ve piritten serbest hale geçen kükürt oksitler ve kalsiyumun reaksiyonu sonucu oluştuğu, hematit ve manyetit ise kömür içerisindeki Fe içeren minerallerden (pirit, siderit ve ankerit) oluştuğu düşünülmektedir. Uçucu kül ve taban küllerinde saptanan mullitin yüksek sıcaklıkta eriyik hale gelen Si ve Al'un reaksiyonu sonucu oluştuğu tahmin edilmektedir. Portlanditin aragonitten serbest hale geçen CaO'nun H₂O ile reaksiyonu ile oluştuğu, tridimitin ise kuvarsın yanma esnasında yüksek sıcaklıklarda form değiştirmesi sonucunda oluştuğu düşünülebilir (Görhan, 2009).

2.4.3. Uçucu Küllerin Kullanım Alanları

Bütün dünyada bir yılda üretilen toplam uçucu külün ancak %25'den daha azı değerlendirilmektedir. Bununla birlikte Almanya, Hollanda ve Belçika'da üretilen uçucu külün %95'den fazlası, İngiltere'de ise yaklaşık %50'si kullanılmaktadır. Diğer taraftan büyük miktarlarda uçucu kül üretilen A.B.D. ve Çin'de sırası ile yaklaşık %32 ve %40 oranında uçucu kül kullanıldığı görülmektedir (Karaca, 2007).

Uçucu kül, son yıllarda yapılan çok sayıda araştırmayla çimento ve beton üretiminde yaygın olarak değerlendirilen, puzolanik özellikleri olan bir maddedir. Uygun oranlarda ve doğru kullanımı halinde betonun birçok özelliğini olumlu yönde etkilediği ve özellikle kimyasal etkilere dayanıklılığını arttırdığı bilinmektedir (Tankut, 2003).

Uçucu küller dünyada çimento ve beton olarak baraj duvarları köprü ayakları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında ve diğer pek çok inşaat yapılarında tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında, agrega olarak otoyol köprü yol ve biriket yapımında, asfalt içinde dolgu maddesi, yol drenaj kanallarında kullanılmaktadır (Dunxi, 2003).

Uçucu küller üzerinde yapılan araştırmalar son 30 yıl içerisinde büyük hız kazanmıştır. Önceleri daha çok uçucu külün genel yapısı ve özellikleri ile kullanım olanaklarına yönelik çalışmalar yapılırken, zamanla laboratuvar ve arazide gerçekleştirilen analizlerle geliştirilmiştir, sonuçta uçucu külün inşaat alanında, özellikle yol yapımında kullanılmasının, termik santrallerde büyük miktarlarda atık madde olarak oluşan bu maddenin uzaklaştırılması veya değerlendirilmesi çözüm

getireceği açığa kavuşmaktadır. 1960'lerden bu yana çeşitli araştırmalarda, Türkiye uçucu küllerinin genellikle iyi kalite olduğu ve çeşitli alanlarda kullanılabileceği ortaya konmuştur. Ancak malzeme ülkemizde pratik açıdan yeterli düzeyde tanınmamakta; kullanım alanları, teknik ve ekonomik yararlarına gerektiği kadar önem verilmemektedir. Dolayısı ile kullanımı yaygın hale gelmemiş durumdadır (Türkmenoğlu, 2010).

2.4.3.1. Uçucu Küllerin Kullanımında İz Elementlerin Etkileri

Konunun ortaya çıkması; alternatif yakıtlar ve hammaddeler olarak çimento endüstrisindeki atık maddelerin kullanımı, klinkere giren iz elementlerin miktarı önemli derecede arttığı gerçeği ile ilgilidir. Cr, Zn, Ba, Ni, Ti gibi bazı iz elementlerin klinker öğütülebilirliği üzerine etkisi incelendiğinde; bir yandan çalışılan iz elementlerin klinkerlerin öğütülebilirliğini memnun edici şekilde etkilediği ve geliştirdiği, diğer yandan da klinker yakımı sırasında silikat mineralleri olan katı solüsyonları oluşturduğu (alit ve belit) ve sertliklerini azalttığı sonucuna varılmıştır (Aruntaş, 2006).

Çimentonun toplam iz element konsantrasyonuna her bir tek giriş malzemesinin payı iz elementler arasında oldukça değişken olmuştur. Atığın kullanımı çimentoda; kadmiyum, antimon ve çinkonun konsantrasyonlarının artmasına yol açar. Kobalt, kurşun ve vanadyum için bu artış az farklıdır. Betonun iz element içeriği dikkate alınan çoğu elementler için agregalar tarafından hakim olunur. Bununla beraber; arsenik, kadmiyum, kurşun ve çinko için çimento ve katkılı kömür uçucu külü dikkate değer şekilde betondaki toplam iz element konsantrasyonuna katılır (Çil, 2003).

Çimento üretiminde, atık sadece klinker yakma prosesi için bir enerji taşıyıcı olarak kullanılmaz, fakat ikinci hammadde katkı olarak da kullanılır. Üstelik doğal malzemeler gibi klasik katkılar ve çakıl, kum gibi klasik agregalar beton üretimi sırasında ikincil malzemelerle yer değiştirebilir (Kantürk, 2006).

Çimento üretimi için kullanılan atık; klasik hammaddeler ve iz elementlerin değişen konsantrasyonlarını içerebilir. İz elementlerin nereye kadar çimento ve betonda taşınacakları, emniyetli şekilde betonda bulunup bulunmayacakları ve bu

elementlerin çevre etkilerinin çıkıp çıkmayacağı gibi sonuçlar ortaya çıkar. Alternatif yakıtlar ve malzemeler ile üretilen klinkerlerin dokusunun incelenmesi sırasında bu klinkerlerde alit ve belit kristallerinin şekil ve yapısı, bazı iz elementlerin etkisi ile karakteristik olarak değişmiş olmaktadır (Özyurt, 2006).

Agregalar çakıl ve kum durumunda olduğu gibi, düşük iz element konsantrasyonları gösterirse, çimento dikkate değer olarak toplam iz element konsantrasyonuna katılır. Bu; arsenik, kadmiyum, kurşun, nikel ve çinkoya uygulanır. Sadece az miktar (%2 kütlece) model hesaplamasında kullanılsa da, kömür külü bazı iz elementler için betonda konsantrasyonlara önemli şekilde katılır. Özel olarak, kurşun için katılımı %20'yi aşar. Bakır ve vanadyum için etki daha az olarak belirtilmiş olup, bununla beraber bu durumlarda kömür uçucu külü çimentodan daha yüksek veya onunla aynı paya sahiptir (Öztürk, 2012).

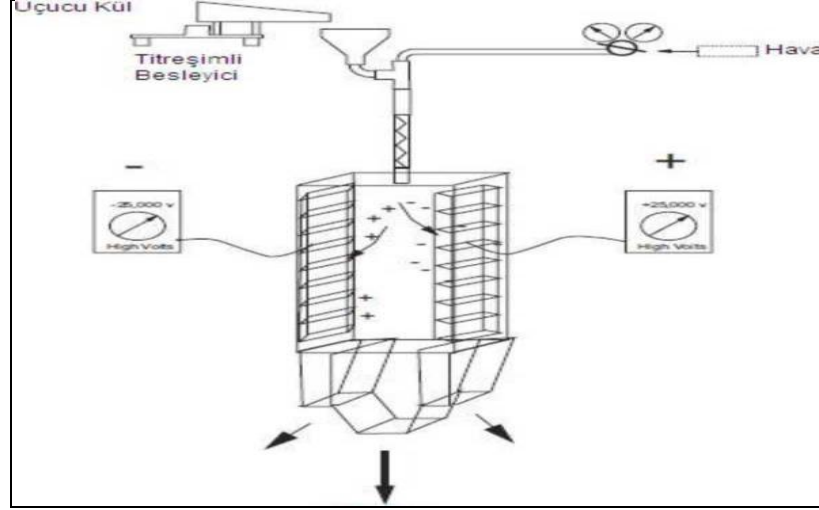
2.4.4. Uçucu Küllerin Değerlendirilmesinde Kullanılan Yöntemler

1990 senesinde çıkarılan 'The Clean Air Act'e göre atmosfere daha az NO_x'lerin bırakılması için, daha düşük sıcaklıkta yakmayı gerçekleştiren, yakma teknikleri geliştirilmiştir. Bu gelişmenin büyük faydaların yanı sıra, bazı olumsuzlukları da vardır. Örneğin, yakma işleminde karbonun yeterince yanmaması sonucu enerji ve kömür zayıatı olmakta, ayrıca küllerin en çok kullanıldığı çimento sanayinde de yüksek karbon içerikli küller kullanılamadığından da ekonomik kayıp söz konusu olmaktadır. Ayrıca değerlendirilemeyip atılmak zorunda kalan küller çevreyi de olumsuz etkilemektedir. Böylece, özellikle yanmamış karbonun külden uzaklaştırılması için kuru/yaş olmak üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir ve de geliştirilmektedir. Bunlardan en önemlileri ise elektrostatik ayırma, havalı klasifikasyon, köpük flotasyonu ve yağ aglomerasyonudur (Ernazar, 2000).

2.4.4.1. Kuru Ayırma Yöntemleri

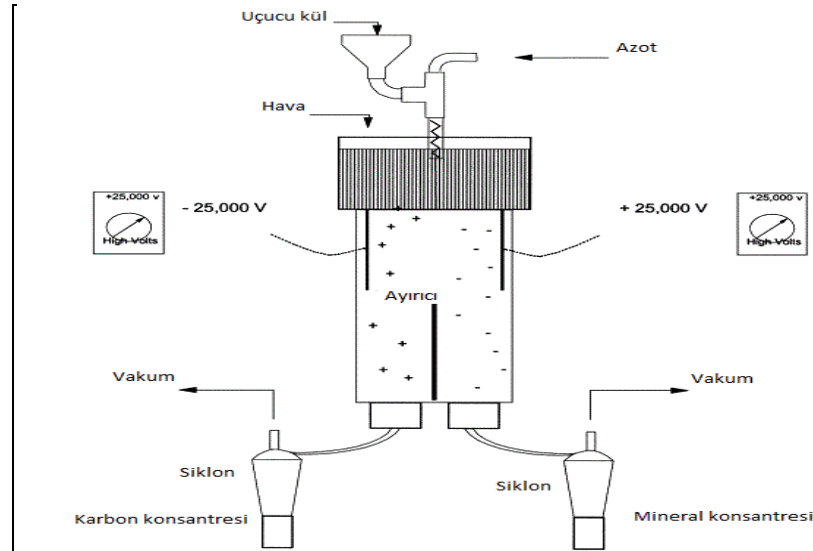
Triboelektrostatik ayırma yanmamış karbonu külden kazanmak üzere geliştirilmekte olan yeni yöntemlerin bir tanesidir. Burada organik madde ve organik olmayan parçalar zıt olarak yüklendikleri için elektrostatik olarak ayrılabilirler. Böyle bir ayırmanın uygulanabilmesi için önemli husus da ya çok temiz kömür ürününün alınması ya da karbonca fakir beton hammaddesinin elde edilmesidir (Ernazar,

2000). Şekil 2.13’de Paralel plakalı triboelektrostatik ayırıcısının şematik diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.13: Paralel plakalı triboelektrostatik ayırıcısının şematik diyagramı (Kuular, 2000)

Triboelektrostatik araştırma enstitüsü FETC, tamamen pnömatik olarak yüklenme sistemleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmalarında paralel plakalı ve de kafes plakalı ayırıcılar kullanmışlardır. Paralel plakalı ayırıcılar, basınçlı azot tarafından iletilen venturi besleme sistemi, üfleme memesi ve de yüksek gerilim ayırmasından ibarettir. Şekil 2.14’de Kafes plakalı triboelektrostatik ayırıcısının şematik diyagramı görülmektedir.



Şekil 2.14: Kafes plakalı triboelektrostatik ayırıcısının şematik diyagramı (Kuular, 2000)

Her iki cihazda da beslenen tanelerin yüklenme karakteristikler kullanılan bakır veya teflon yükleyicilere göre ayarlanabilmektedir. Kuru ayırmanın ekonomik olarak uygulanabilmesi için yöntemin düşük maliyetli, esnek ve uygulanabilir olması gerekir. İşin içine çok ince tanelerin triboelektrostatik özelliklerinin girmesi ile büyük miktarda yatırım ve araştırma gerekmektedir. Çünkü tane boyutlu, boyut dağılımı, tane şekli, tanelerin hızı ve yükleyici yüzey ile, kendi aralarında temasları, nem, ısı etkileri, tane yüzey özellikleri gibi bir çok fiziokimyasal faktörler yüzeylerin zıt olarak yüklenmesinin yanı sıra, tanelerin yüklenme derecelerine etkilemektedir (Kuular, 2000).

2.4.4.2. Yaş Ayırma Yöntemleri

Genel olarak aglomerasyon işleminde boyut ve yüzey oksidasyon etkilerinin fazla olmadığı düşüncesine dayanarak prosesin başarılı olacağına inanılır. Yapılan çalışmalarda aglomerant türleri, karıştırma hızı, hava akımı, pülp besleme hızı ve aglomerant kül oranları gibi çeşitli parametrelerin kazanıma etkileri ve optimum çalışma şartları incelenmiştir. Aglomerant olarak kullanılan çözeltilerden sikloheksan kullanımı en iyi sonuç vermiş olup %71,2 verimle %56,8 karbon içerikli konsantre elde edilmiştir (Ernazar, 2000).

Organik kısım genellikle hidrofob ve olefil, mineral tanesi ise aksi özelliklere sahip olur. İyice karıştırılan uçucu kül, su süspansiyonlarına az miktarda organik çözelti katıldığında, organik taneler aglomere olurken hidrofil mineral taneleri de disperse olarak su içinde farklı fazlar oluştururlar. Basit bir flotasyon süzme işi ile aglomere olan taneler kazanılabilmektedir. Genel olarak ortama havanın verilmesi ile % 65-71 karbon içerikli konsantreleri elde edilmiştir. Fakat hava miktarı arttıkça verimin düştüğü gözlenmiştir, bunun sebebi olarak oluşan çok sayıda kabarcığın türbülans etkisi yaratarak tanelerin aglomere olmasını engellediği düşünülmektedir (Ernazar, 2000).

2.4.4.3. Uçucu Küllerden İz Elementlerin ve Değerli Metallerin Kazanılması

Kömür ve kömür yanma ürünlerin de iz elementlerin miktarlarının bilinmesi hem çevre hem de ekonomik olarak değerlendirme bakımından önemli olmaktadır. Kömür ve kömür yanma ürünlerinin liçi, çözünme/çökelme reaksiyonları, redoks

özellikleri, sıvı özellikleri, adsorpsiyon/desorpsiyon prosesleri tarafından kontrol edilmektedir (Baba, 2001).

Önemli bir değişken ise çözeltilerin pH'sı olmaktadır. Oksitleyici çözeltilerinde Cd, Cu, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi elementler hidrate katyon halinde bulunmaktadır. Bunlar bazik ortamlarda minerallere adsorplanma, asidik ortamlarda ise desorplanma eğilimindedirler. Bu elementlerin oksid, sülfat ve karbonat katı fazları ise asidik ortamlarda çözülme (Özyurt, 2006).

Diğer taraftan As, Mo ve V elementleri oksitleyici ortamlarda oksianyon oluşturma eğilimindedirler, bunlar da yüksek pH'larda mineral yüzeylerinden desorbe olurken düşük pH'larında adsorbe olurlar. Yapılan liç işlemleri, çözeltinin pH'sı ve iz elementlerin davranışının bir dizi hızlı ve yavaş reaksiyonlardan etkilendiğini göstermiştir. Hızlı reaksiyonlar CaO gibi oksitlerin hidrolize uğraması, mineral yüzeylerinin çözünmesi ve alüminyum, demir hidroksitler gibi ikincil fazların çökmeye başlaması gibi yavaş reaksiyonlar inatçı fazların ve cam fazların çözünmesinden oluşur (Özyurt, 2006).

Uçucu külden minerallerin kazanılması için yapılan işlemler aşağıdaki işlemlerin tek başına veya beraber uygulanması şeklindedir:

- Liç Yöntemi,
- Sinter Yöntemi,
- Gaz-Katı Reaksiyonu.

Kimyasal Çözündürme:

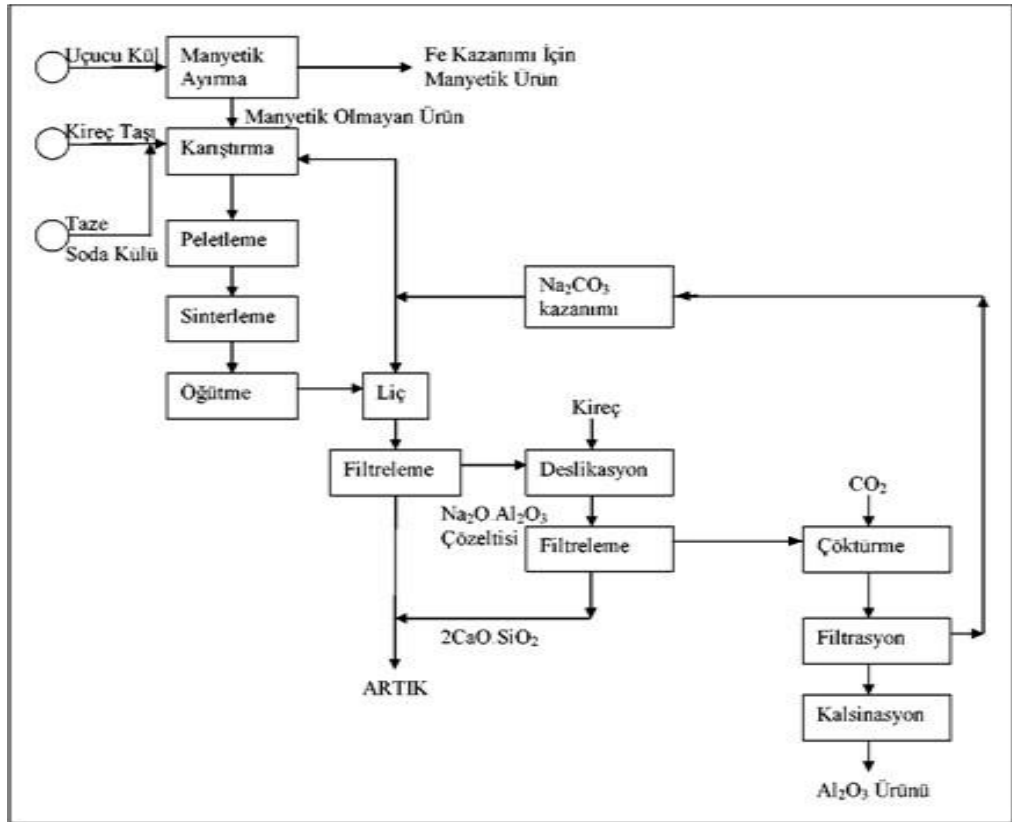
Liç işlemi temel olarak hidrometalurjik zenginleştirme yöntemlerinden biridir. Pirometalurjik işlemlere kıyasla, liçin uygulaması çok daha kolay ve işlem sırasında herhangi bir gaz salınımı olmadığı için çevreye çok fazla zarar vermemektedir. Liçin tek dezavantajı ise, düşük sıcaklık nedeniyle kimyasal reaksiyonların yavaş gerçekleşmesi ve bunun sonucunda tüm işlemin yavaş olmasıdır. Liç işleminde, malzeme içindeki kıymetli metaller asit ve baz gibi kimyasallarla sıvı forma geçerler. Liç prosesi genelde, mekanik ayrıştırmanın yetersiz kaldığı durumlarda

uygulanmaktadır. Liç uygulanacak malzeme kırma, öğütme ve bazı durumlarda da kavurma işlemleri ile hazırlanır (Baba, 2001).

Toksik Özellik Liç Prosedürü (EPA-TCLP1311): Bu yöntem genellikle Amerika’da katı atıkların liç davranışlarını kontrol etmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemle uzun süreli olarak depolanmış atıkların içerdikleri iz elementlerin liç davranışları saptanabilir (Baba, 2001).

Uçucu Külde Liç Yöntemiyle Metal Kazanımı: Uçucu külden alüminyum kazanımı için önerilen yöntemlerden birisi de kireç-sinter ve kireç-soda-sinter işlemleridir. Kireç- sinter işleminde CaCO_3 kireçtaşı olarak eklenir ve kalsiyum ortosilikat (2CaOSiO_2) oluşturmak için yaklaşık 1380°C ’de kül içindeki silisyum ile reaksiyona girer (Şekil 2.15) (Özyurt, 2006).

Kireç-soda-sinter işleminde ise kireçtaşına ilaveten bir miktar Na_2CO_3 ilave edilir. Çözünen metaller kristalizasyon ve ayırmayı takiben organik çözündürme ve iyon değişimi ile kazanılır (Özyurt, 2006).



Şekil 2.15: Uçucu külden alüminyum kazanımı için geliştirilen kireç-soda-sinter yöntemi akım şeması (Özyurt, 2006)

Afşin-Elbistan uçucu külünden metal oksitlerin (Al, Fe, Ti) kazanımı amacıyla yapılan çalışmalarda, Doğrudan asit liçi (DAL) yöntemi uygulanmış ve bu amaçla uçucu kül numunesi güçlü bir asit olan hidroklorik asit (HCl) ile muamele edilerek kimyasal çözündürme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bütün liç deneyleri karıştırma hızı ve sıcaklığın sürekli kontrol edildiği 500 ml'lik bir cam reaktörde yapılır. Reaktör, liç çözeltisiyle 250 ml'ye kadar çeşitli HCl konsantrasyonlarında (100-400 g/l) doldurularak istenen sıcaklığa (30-110°C) ısıtılır. Çözeltinin sıcaklığı sabitlendiğinde 20 gr ön ısıtmaya tabi tutulan ham uçucu kül sürekli karıştırma altında (500-1500 D/d) reaktöre yavaşça boşaltılarak liç işlemi bu şekilde başlatılır. Liç işlemi 6 saat sürdürüldükten sonra belirli zaman aralıklarında (1, 2, 3, 4, 5 ve 6 saat) her defasında 1 ml'lik çözelti liç süspansiyonundan alınır ve vakum filtrasyonundan geçirildikten sonra Atomik Absorpsiyon Spektrometre (AAS) cihazında Al, Fe ve Ti konsantrasyonları ölçülür (Özyurt, 2006).

Uçucu küllerden uranyumun kazanılmasında ise, 500 g uçucu kül örneğine önce 750 kg H_2SO_4 /t uçucu kül konsantrasyonunda asit ilave edilerek yapılmaktadır. K/S=4/10 oranını sağlayan su yavaş yavaş ilave edildikten sonra 16 kg H_2O_2 /t uçucu kül oksidant kullanılarak 60 °C sıcaklıkta, 18 saat karıştırma ile çözündürme yapılır. Elde edilen pulp vakum pompası yardımı ile süzülür ve koyu yeşil renkli yoğun bir yapıya sahip çözelti ele geçer. Geri kalan artığa % 5'lik H_2SO_4 ile K/S=2/3 olan 30 dakikalık yıkama çözeltisi uygulanır. Pulp süzüldüğünde açık yeşil berrak yıkama çözeltisi elde edilir. Çözeltilerdeki uranyum konsantrasyonları uranyum için spesifik ve duyarlı bir reaktif olan Arsenazo-III ile spektroskopik olarak tayin edilir. Liç işleminden sonra kalan artığa yıkama işlemi yapılarak uranyumun bir kısmının daha alınması sağlanır. Yıkamadan sonra çözeltiye alınan toplam uranyum, yıkama artığında kalan uranyumun uranyum analizörü kullanılarak standart katma metodu ile analizlenmesi ile de belirlenir. Sonuç olarak toplam uranyum kazancı % 86,4 olarak elde edilir (Özyurt, 2006).

Uranyumun kimyasal çözündürme ile küllerden kazanılması için farklı asitler kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. En uygun yöntem ise %10 sülfürik asit kullanılarak yapılan yığın liçi ön testlerinden 0,05-0,15 mol/L sülfürik asit konsantrasyonu ile 1/1 K/S oranında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu deneylerde 180kg/t kül H_2SO_4 kullanımıyla %80 uranyum çözünme verimi elde edilmiştir.

Yüklü sülfürik asit çözeltisindeki çoğu safsızlık çözeltiden çıkarılıp uranyum elde edildikten sonra anyonik reçine sütununa (Vionit ATH-1) gönderilmektedir. Reçine yıkama ise 0.1 mol/L HNO_3 + 0.9 mol/L NH_4NO_3 'den oluşan asidik çözelti ile gerçekleştirilmiştir. Yıkanmış çözeltideki uranyum içeriği 7-10 g/l olmuştur. Amonyak ile nötrleştirici yıkama sonucunda 55-60% U içeriğinde ürün elde edilmiştir (IEA, 2005).

2.4.5. Uçucu Küllerin Çevresel Etkileri

Linyit kömürleri yakan santraller, gaz emisyonları haricinde katı atıklar, uçucu kül ve cüruf ile de çevresel etkilere sebep olurlar. Birçok zehirli elementi içeren uçucu küller ve kazan altı külleri toplama havuzlarında yada yığınlar halinde depolanmaktadır. Kül havuzları veya yığınlardan hareket eden çözülebilir metal iyonları ve bileşiklerinden dolayı; toprak, yüzey ve yer altı suyunun potansiyel kirlenmesi büyük çevresel sorunlar yaratır (Görhan, 2009).

Termik santrallerin bacalarından SO_2 ve NO_x gibi gazların çıkarak çevreye yayıldığını ve bu gazların asit yağmurlarının oluşumunda birinci kaynak olduğunu açıklamıştır. Fabrika bacalarından çıkan kükürt hakim rüzgarlarla ortalama 2-7 gün içerisinde atmosfere taşınmakta, atmosferdeki su partikülleri ve diğer bileşenlerle tepkimeye girerek sülfüroz asit ve sülfirik asit oluşturmakta, aynı şekilde toprağa inmekte ve taban suyu ile birleşerek sülfirik asit şekline dönüşen SO_2 'nin bitki köklerini tahrip ederek besin ve su iletim sistemlerinin görevlerini yapamaz duruma getirmeleri sonucu kitlesel şoklu orman ölümlerinin meydana geldiğini belirtmiştir (Robert, 2005).

Yanma artığı olan bu küller genellikle geniş hacimli havuzlar veya düzenli depolama sahalarında depolanmaktadır. Özellikle As, Ba, Cd, Cr, Pb, Hg ve Se gibi toksik metaller büyük tehlike yaratabilirler. Potansiyel olarak zehirli (toksik) elementler uçucu külden liç olabilir ve toprağı, yer altı suyunu ve yüzey suyunu kirletebilir. Liç çalışmaları kül havuz atım teknikleri ile beraber çevresel etkiyi tahminde büyük öneme sahiptir (Özyurt, 2006). Şekil 2.16'da uçucu küllerin oluşturduğu bir atık yığını görülmektedir.



Şekil 2.16: Uçucu küllerin oluşturduğu bir atık yığını (Kantürk, 2006)

Karasal ekosistemler üzerinde kül atımının en önemli olumsuz etkileri şunlardır: Külden liç yoluyla toprağa ve yeraltı sularına geçen ağır metaller, bitkilerin kül üzerinde büyümesinde ve oluşmasında azalmalar, bitki element bileşiminin değişmesi ve toksik elementlerin besin zincirine girmesindeki artıştır (Volkan, 2006).

Temel olarak kirleticiler silisli külden kaynaklanan ağır metaller ve kalsiyumlu küllerin neden olduğu yüksek alkaliliktir. Ağır metaller ve iz elementlerin iyon miktarları kömürde çok az iken; bu iyonlar yanma sırasında konsantre haline gelmektedir. Yüksek sıcaklıklara (1000-1100°C) çıkılması sabit sülfat formlarının oksitlere dönüşmesine neden olmaktadır. Oksitler suda çözünmez, böylece kül depolarından gelen üst akış suyunda, kurşun ve arseniğin periyodik iyon konsantrasyon değerlerinin izin verilenin üstünde olduğu belirlenmiştir. Drenaj sularının incelenmesi sonucunda ağır metallerle rastlanmamıştır, bu da depolanan küllerin içinden geçen bu iyonları absorbladığı olasılığı ile açıklanmaktadır. Kalsiyumlu küller veya silis kalsiyum külleri için, yüksek alkalilikleri nedeni ile koruma önlemleri farklılık göstermektedir. Havayı, rüzgar ve hava akımları ile depolardan taşınan ince kül parçacıkları kirletir. Termik santraller genellikle nehir kıyılarına kurulmamaktadır, bu bölgelerde hava akımları kuvvetli ve sık oluşmaktadır. Hava kirliliğine neden olabilecek yeterli hava hızı 4 m/sn'dir. Rüzgar

erozyonundan korunmanın en iyi yöntemi, kül depolarının veya yığınlarının üzerini jeotekstil malzemeyle kaplamak veya kül üzerinde film oluşturacak şekilde emülsiyonlar uygulamaktır. Termik santrallerin çevresinde insanlar üzerinde ortaya çıkan toksik değeri olan bazı elementler ve zamana bağlı ortaya çıkardığı hastalıklar aşağıda verilmiştir (Perçinel, 2000).

As: Anemi, mide bulantıları, renal belirtiler, ülser, deri ve akciğer kanseri, kusurlu doğumlar. Solunduğunda güçlü bir kanserojen (kanseri yapıcı) olan arsenik, bağırsaklar ve karaciğer üzerinde yüksek derecede tahribata neden olur.

Be: Solunum, lenf, akciğer, dalak böbrek hastalıklarını etkiler ve kanserojendir.

Cd: Kansızlık, kuru ve kepekli cilt, nefes darlığı, yorgunluk, saç dökülmesi, kalp hastalığı, baskılanmış bağışıklık sistemi, yüksek tansiyon, eklem ağrıları, böbrek taşları veya hasarı, karaciğer yetmezliği veya hasarı, iştah kaybı, koku alma duygusunda kayıp, akciğer kanseri, sırt ve bacaklarda ağrı, sararmış dişler. Kadmiyum ve bileşiklerinin çözeltileri zehirlidir. Ağır metaller içerisindeki en tehlikeli ve toksit maddelerden biri kadmiyumdur (Perçinel, 2000).

Hg: Doğuştan ya da çocuklukta ortaya çıkan sinir sistemi ve fiziksel gelişim bozuklukları, kansızlık, iştahsızlık, anksiyete, körlük, kolit, depresyon, dermatitler. Çiğneme ve yutma güçlükleri, baş dönmeleri, duygusal dengesizlikler, yorgunluk, ateş, hallüsinasyonlar, baş ağrısı, duyma kaybı, yüksek tansiyon, uyku problemleri, böbrek hasarı veya fonksiyon bozukluğu, tad ve koku alma problemleri, hafıza kaybı, kas koordinasyonu kaybı, ağızda metalik tad, uyuşma hissi, psikozlar, el titremeleri, görme bozuklukları, vücut zayıflığı, kilo kaybı. Civa doğada bozulmadığından civa ve civa bileşikleri halk ve çevre sağlığı bakımından çok tehlikeli bir toksittir (Perçinel, 2000).

Ni: İştahsızlık, mavi renkli dudaklar, kanser, temas dermatiti, diyare, ateş, baş ağrısı, baş dönmesi, uyku problemleri, bulantı, hızlı kalp atışı, nefes darlığı, kusma. Kirli topraklardan elde edilen sebzelerin yüksek miktarda tüketilmesiyle nikel alımı artacaktır. Bitkilerin nikeli topladığı bilinir ve dolayısıyla sebzelerden nikel alımı yüksektir.

Pb: Karın ağrısı, kansızlık, iştahsızlık, anksiyete, kemik ağrısı, beyinde hasar, kafa karışıklığı, konsantre olamama, kabızlık, yorgunluk, baş ağrısı, hazımsızlık, adele koordinasyonunun kaybı, çabuk sinirlenme, el titremeleri, adele ağrıları, hamilelerde düşüktür. Kurşun beyin hücrelerini öldürücü bir maddedir (Kadıköylü, 2005).

Se: Mide ve bağırsak bulantıları, akciğer ve dalak tahribatı, anemi, kanser, teratojenik etkiler.

V: Akut ve kronik solunum fonksiyon bozuklukları (Perçinel, 2000).

Atmosferin etkilenmesi ise, hava kalitesinin partikül ve gaz yayılımları nedeniyle bozulması ve iklimin değişmesi şeklinde ortaya çıkar. Bu olası, hava, kara ve su kirliliği, canlıların ve bulundukları ortamların zarar görmesi kadar, çeşitli ekosistemlerin değişmesine ve yok olmasına, yiyecek kaynaklarının zarar görmesine ve çevresel değişimlere neden olabilir. Kömürle çalışan termik santrallerin deniz kıyısında işletilmesi halinde, NaCl içerikli deniz sularının santralden verilen dumanla teması sonucu önemli miktarlarda HCl meydana gelebilir. Asit depolanmasının ormanların ve eko sistemlerin tahribine neden olduğuna dair güçlü ve ayrıntılı bulgular mevcuttur (Doğan, 2007).

5 μm 'nin altındaki partiküller solunum yolu ile ciğerlere kadar ulaşabilir. 5 μm altındaki partiküller solunduğu zaman insan sağlığı için çok tehlikeli olur. Ağır metal içeren uçucu küllerin solunum yolu ile vücuda alınması çok daha tehlikelidir (Kantürk, 2006).

Dünya'da 234 adet tehlikeli hava kirletici listelenmiştir. Bunun 20 adetini toksit ağır metaller oluşturmaktadır. Hindistan'da kömür kullanan termik santralde yapılan bir çalışmaya göre santral bacası elektro filtrelerinden kaçan uçucu küllerin analizinde Ni, Cr ve Pb konsantrasyonlarının yüksek olduğu belirlenmiştir (Doğan, 2007).

Tablo 2.14'de uçucu kül içindeki ağır metal konsantrasyonu sınır değerini gösterilmektedir.

Tablo 2.14: Uçucu kül içindeki ağır metal konsantrasyonu sınır değerleri (Özyurt, 2012)

Ağır metaller (l/S=10lt/kg)	Sınır değeri (Mg/lt)
Arsenik	< 0,2-0,5
Civa	< 0,02-0,2
Kadmiyum	< 0,1-0,5
Krom	< 1-7
Kurşun	< 1-5
Nikel	< 1-7
Bakır	< 5-10

Eluat konsantrasyonu tehlikeli atık için belirlenen değerler arasında olan atıklar, tehlikeli atık düzenli depolama sahasında depolanırlar. Ancak, tehlikeli atık için belirlenen üst sınırdan daha yüksek eluat konsantrasyonu olan atıklar tehlikeli atık depolama sahasında depolanmadan önce ön işleme tabi tutulmalı ve üst sınır altına çekilmelidir. Bunun mümkün olmadığı takdirde, bu atıklar tehlikeli atık depolama alanında ayrı olarak (tek tür) depolanmalıdır (Özyurt, 2012). Tablo 2.14’de verilen sınır değerlerin üzerinde toksik ağır metal içeren uçucu küller özel olarak lisanslı tehlikeli atık depolama tesislerde depolanmalıdır. Bu sınır değerlerin üzerinde toksik ağır metal içeren uçucu külün gelişi güzel yerlere dökülmesi, atılması fevkalade tehlikelidir. Başta yüzeysel su kaynakları olmak üzere yer altı suyuna ve tarımsal toprağa ciddi zararlar verebilir. Depolandığı yeri de tehlikeli hale getirebilir. Sınır değerlerin üzerinde toksik ağır metal içeren uçucu küllerin tarımsal topraklara dökülmesi, atılması önlenmelidir. Tehlikeli olan bir atığın tehlikeli olmayan bir atıkla karıştırılması yasaktır. Böyle bir uygulama yapıldığı zaman tehlikeli olmayan bir atık, tehlikeli atık haline dönüşür. Tehlikeli atıkları depolama kriterleri ile tehlikeli olmayan atıkların depolama kriterleri çok farklıdır. Tehlikeli atık depolama alanlarında başta taban sızdırmazlığı olmak üzere çevresel olarak çok ciddi ve sıkı önlemler almak gereklidir. Çevresel önlemler alınmadan küller depolanarak kül dağları oluşturulmamalıdır (Özyurt, 2012).

2.4.6. İz Elementler, Radyoaktif Elementler ve Özellikleri

Atom numarası 57 olan lantan ile atom numarası 71 olan lutesyum arasında yer alan ve 15 elementten oluşan lantanidler, nadir toprak elementleri olarak adlandırılmaktadırlar. Atom numarası 39 olan itriyum ile 21 olan skandiyumda nadir toprak elementi sayılmaktadır. Nadir toprak elementleri (NTE) kullanım alanlarına

göre iki grup halinde toplanırlar. Bunlardan ilki seryum, ikincisi ise itriyum grubudur. Nadir toprak elementlerinin özellikleri tablo 2.15’de verilmiştir.

Tablo 2.15: Nadir toprak elementlerinin özellikleri (IEA, 2012)

Seryum Grubu	Sembol	Atom No	Atom Ağırlığı
Lantan	La	57	138.91
Seryum	Ce	58	140.12
Praseodimiyum	Pr	59	140.91
Neodimiyum	Nd	60	144.24
Prometiyum	Pm	61	147.00
Samariyum	Sm	62	150.35
Europiyum	Eu	63	152.00
Gadoliniyum	Gd	64	157.25
İtriyum Grubu	Sembol	Atom No	Atom Ağırlığı
İtriyum	Y	39	88.91
Terbiyum	Tb	65	158.92
Disprosiyum	Dy	66	162.50
Holmiyum	Ho	67	164.93
Erbium	Er	68	167.26
Tulyum	Tm	69	168.93
Ytterbiyum	Yb	70	173.04
Lutesyum	Lu	71	174.47

Her cevher yatağının nadir toprak elementleri içeriği ve nadir toprak oksit yüzdeleri farklı olmaktadır. Nadir toprak yatakları ve oksit yüzdeleri Tablo 2.16’da verilmiştir.

Tablo 2.16: Nadir toprak elementleri yatakları ve oksit yüzdeleri (IEA, 2012)

Bastnazit (Ce, La) CO ₃ F	%72
Monazit (Ce, La, Nd, Th) PO ₄	%60-70
KsenotimY PO ₄	% 53-65
Serit (Ca, Mg) ₂	%60-70
Oyksenit (Y, Er, U, Pb, Ca)(Nb, Ta, Ti) ₂ (O.OH) ₆	%16-29
Samarskit (Y, Er, Fe, Mn, Ca, U, Th, Zr) (Nb, Ta) ₂ (O.OH) ₆ F	%10-38
Ergusonit (Y, Ce, U, Th, Cu)(Nb, Ta, Ti)O ₄	%31-44

2.4.6.1. Nadir Toprak Elementlerinin Özellikleri

Periyodik sistemin üçüncü yan grubunda bulunan lantanitler nadir toprak elementleri olarak adlandırılırlar. Lantanitlerin kimyasal ve fiziksel özellikleri ise şöyledir.

a) Lantan :

Atom numarası 57 olan lantan La sembolü ile ifade edilmektedir. Doğada bastnazit ve monazit minerallerinin içinde bulunan lantan mavimsi beyaz bir renge sahiptir. Erime noktası 920 °C, kaynama noktası ise 3469 °C'dir (IEA, 2005).

b) Seryum:

Atom numarası 58 olan seryumun doğada bulunuşu ve kullanım alanların özellikleri lantanlara benzemektedirler. Seramik ve özellikle cam sanayi açısından kullanım alanları oldukça geniş olan seryum Ce sembolü ile ifade edilmektedir (IEA, 2005).

c) Praseodiyum:

Atom numarası 59 olan praseodimyum Pr sembolü ile gösterilir. En önemli özelliği hava korozyonuna karşı direncinin yüksek olmasıdır. Pr yumuşak, gümüşü ve boru şeklindedir. Kaynama noktası 3127 °C, yoğunluğu 6,77 gr /cm³ dür (IEA, 2005).

d) Neodmiyum:

Periyodik tablonun 3B grubunda yer alan neodmiyum, azrak toprak metalleri grubunda yer alan kimyasal bir elementtir. Atom numarası 60 ve sembolü Nd şeklindedir. Element halinde alaşımlarda oksit halde özel camlarda kullanılmaktadır. Kaynama noktası 3127 °C, erime noktası 1010 °C'dir (IEA, 2005).

e) Prometiyum:

Atom numarası 61 olan ve sembolü Pm şeklinde ifade edilen bir elementtir. Doğada sadece oyksenit minerallerinin içinde bulunmasından dolayı zor bulunan bir mineraldir. Bu yüzden hemen hemen yok sayılacak kadar az bir kullanım alanı vardır (IEA, 2005).

f) Samariyum:

Beyaz gri renkli, yoğunluğu 8 gr/cm³ civarında, 1400 °C'ye doğru eriyen bir elementtir. Tuzları açık sarı veya koyu kırmızı renklidir. Atom numarası 62 ve erime noktası 1072 °C, sembolü ise Sm şeklindedir (IEA,2005).

g) Europiyum:

Doğada oldukça fazla bulunan bir metaldir. Atom numarası 63 olup Eu ile gösterilmektedir. Eu yoğunluğu az olan metallerin en reaktifidir. TV ekranlarında kırmızı rengi üretmek için kullanılmaktadır. Gümüş beyazı tarzında bir rengi vardır (IEA, 2005).

h) Gadolinyum:

Atom numarası 64 olmakla beraber, ağırlığı 156,9 gr dır. 1200 °C'den yüksek sıcaklıklarda eriyen, parlak gri renkte bir katıdır. Genellikle lazerlerde ve X-ray camlarında kullanılmaktadır. Yeryüzünde çok az rastlanan bir elementtir (IEA, 2005).

j) İtriyum:

Atom numarası 39, sembolü Y şeklindedir. Bastnazit ve monazit dışında bütün nadir toprak cevherlerinde bulunmaktadır. Cevherler içinde bileşikler halinde bulunur. Genellikle TV tüplerinde ve kırmızı rengin elde edilmesinde önemli bir yeri bulunmaktadır (IEA, 2005).

k) Terbiyum:

Metalik terbiyum gümüş beyazı renktedir. Ancak havada oksitlenerek kararır. Tabiatta bolluk bakımından nadir toprak elementlerinden en az bulunanıdır. Atom numarası 65, sembolü ise Tb şeklindedir. Monazit kumlarından yan ürün olarak elde edilmektedir. Periyodik tablonun 3B grubunda bulunmaktadır (IEA, 2005).

l) Disprosiyum:

Atom numarası 66, sembolü ise Dy ile gösterilmektedir. Çok ender bulunan disprosyumun özel bir uygulaması yoktur (IEA, 2005).

m) Holmiyum:

Sembolü Ho, atom numarası 67 dir. Gümüşümsü bir renge sahiptir. Elementin kimyasal bir özelliği bulunmaktadır. Kullanım alanı sadece lazerlerdir. Bunun dışında hiçbir kullanım alanı yoktur (IEA, 2005).

n) Erbiyum:

Renk açma ve boya sektöründe kullanılmaktadır. Atom ağırlığı 68, sembolü ise Er şeklindedir. Element durumunda grimsi gümüş renkte olan erbiyumun bileşikleri pembedir. Düşük sıcaklıklarda erbiyum elementi iletkenliğe karşıt bir özellik gösterir, ama çok düşük sıcaklıklarda ise üstün iletken durumuna gelir. Doğal erbiyum altı kararlı izotopun karışımı şeklinde bulunmaktadır. Erbiyum, başta ksenotim ve öksenit olmak üzere bir çok nadir toprak elementlerinde bulunmaktadır (IEA, 2005).

Tablo 2.17'nin devamı

Erime Özel.		X												
Diğer Alaşımlar	X	X		X										X
Petrol Parçaları	X	X	X	X	X		X		X				X	
Egzoz Gazı Kontrolü		X												
Diğer Kat. Uyg.	X	X	X		X		X		X					
Seramik			X									X		X
Kaplama	X	X	X	X										X
Sırlama		X		X										X
Refrakter	X	X					X							
Parlaklık		X	X											X
Optik Cam	X						X							
Renk Açma	X	X	X	X	X					X	X			
Boyama		X	X								X			
Radyasyon Kontrol	X	X	X											
Kaplama	X	X	X	X										
Fluoresans	X	X	X	X										
Kalıcı Mıkn.				X	X									
Katod Işını Tüpü	X	X	X	X		X	X							X
X-Ray Camları	X					X	X	X						
Floresans Lamba						X								X
Lazerler				X			X			X				X
Nükleer Kullanım					X	X	X		X		X	X		
Mücevher														X
Tıp						X		X						
Güneş Enerjisi											X			X
Mikro Dalga							X					X		X
Kim.Lazer	X													
Soğutucular							X							
Mikroskop Camı	x													
Tekstil		X												

2.4.6.2. Uranyum

Uranyum 1789 yılında Martin Klaproth tarafından bulunmuştur. Tabiatta hiçbir zaman serbest olarak bulunmayan uranyum, çeşitli elementlerle birleşerek uranyum minerallerini meydana getirir. Atom numarası 92 olan uranyum, radyoaktif bir element olup α ve β ışınlarını içeren bir çok kademedan geçtikten sonra, kararlı

element olan kurşuna dönüşür. Uranyumun elektronik konfigrasyonu $(Rn)5f^3 6d^1 7s^2$ dir. En kolay oksijenle birleşir. Hemen her tip kayık içerisinde ve sularda eser miktarda da olsa bulunabilir. Yeraltı su tablasının üstünde, satır ve sathı yakın yerlerdeki mevcut oksidasyon şartlarında +6 değerklikli uranyum içeren ikincil uranyum mineralleri kolayca eriyebilirler (sudaki pH değerklinin artmasıyla) ve uranil iyonları halinde solüsyona geçerek yeraltı suları vasıtasıyla uzun mesafelere taşınırlar. Taşınma sırasında uygun redüksiyon (indirgeme) şartlarıyla karşılaştıklarında +4 değerklikli uranyuma redüklenerek uraninit ve pitchblende (uranyum oksit içeren maden cevheri) halinde çökeler ve böylece uranyum yatakları oluşur (IEA, 2012).

1 kilogram uranyumdan elde edilen enerji için, 3.000.000 kilogram (3000 ton, 25 adet ağır yük tren) kömür veya 2.700.000 litre (2700 metreküp, 135 adet büyük boy akaryakıt tankeri) petrol gerekmektedir. Bu kadar az miktarda uranyum kaynağından yüksek miktarda enerji üretildiğinden nükleer santrallerin atık miktarı da bu oranda fosil yakıtlardan çok daha azdır (IEA, 2012).

Kanada uçucu küllerindeki uranyumun çözünme davranışlarını temel alarak Warren ve Dudas, bu elementin kül partikülerinde halihazırda çözünabilir ve nispeten çözünemez fazlar şeklinde yaklaşık olarak eşit olarak bölümlendiğini belirlenmişlerdir. İngiliz uçucu küllerinde yüzey ilişkisi ayrıca önemli olmaktadır. Quero ve diğerleri uçucu küldeki uranyumun halihazırda değıştirilebilir olduğunu ancak suda çözünabilir olmadığını bulmuşlardır. İngiltere uçucu küllerinin su ile çözünmesinden çok az miktarda (tipik olarak 0,005 mg/kg) uranyum ortama geçmektedir. Bununla beraber literatürde konyula ilgili mevcut verilerin kısıtlı olmasını nedeniyle, bu örneklerin verileri tipik liç olabilirlik verileri olarak kabul edilememektedir. Bununla beraber uranyumun karbonat bileşiklerinin çözünabilirliği pH ile artabilmektedirler. Literatürde kullanılan teknikler uranyumun konyula ilgili özelliklerini belirlemede yetersiz kalmaktadırlar (Kadıköylü, 2005).

Uranyum ve Bileşiklerinin Kullanım Alanları : Doğal uranyum, büyük oranda ^{238}U izotopunu ve az miktarda ^{235}U izotopunu içermektedir. Tabiatda doğal olarak bulunan tek bölünebilen madde ise ^{235}U 'tir. ^{235}U termal veya hızlı nötronların çarpması ile kolayca fisyon yapabilir. Yaygın ticari reaktörler için üretilen uranyum

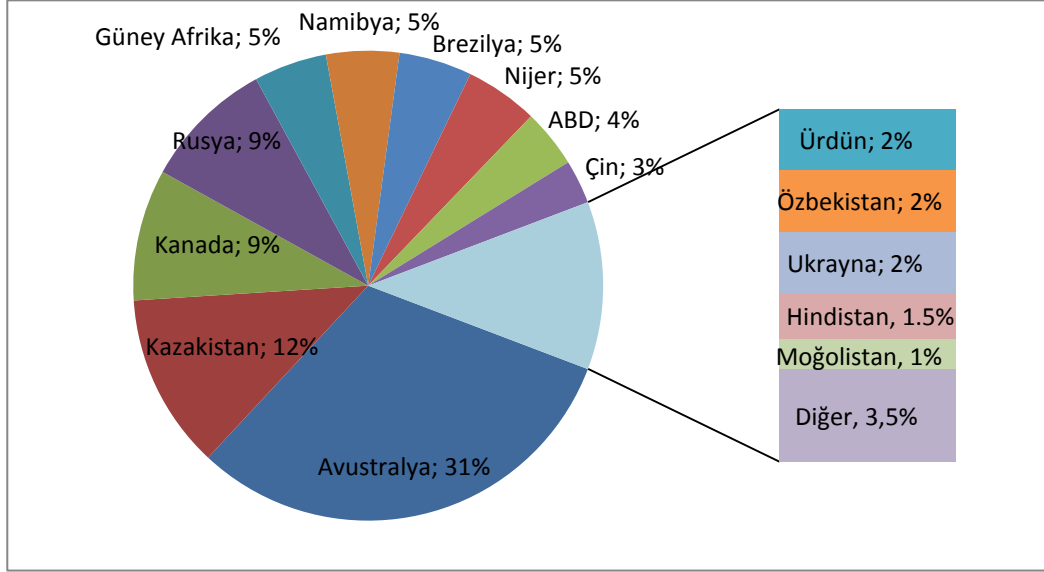
yakıtlarında, tabiatta bulunan orandan (%0,711) daha yüksek konsantrasyonlarda ^{235}U kullanılmaktadır (%2-5). Bu yüksek konsantrasyon zenginleştirme ile elde edilir. Doğal uranyumu yakıt olarak kullanan ticari reaktörler de mevcuttur (IEA, 2012).

Bütün durumlarda, orta ürün ‘sarı pasta’ uranyum cevherinden üretilir. UO_2 ye kıyasla yüksek termal iletkenliği ve daha yüksek yoğunluğu nedeni ile UC (uranyum karpit) bazen sodyum soğutmalı hızlı beslemeli reaktörlerde kullanılmasına rağmen, endüstriyel olarak en önemli uç ürün sadece güç istasyonu reaktörlerinde kullanılan nükleer yakıt UO_2 ’dir (IEA, 2012).

Uranyum metali test ve magnoks reaktörlerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Son derece yüksek yoğunluğundan dolayı, geniş hava araçlarında ağırlığı düzenlemek için seyreltilmiş uranyum kullanılmaktadır. Bir Boeing Jumbo Jet, 360 kg seyreltilmiş uranyum metali içerir. Ayrıca yine yüksek yoğunluğu sebebi ile seyreltilmiş uranyumdan, radyoaktiviteye karşı kalkan olarak faydalanılmaktadır. U-Zr alaşımları marine reaktörlerinde, araştırmalarda ve test reaktörlerinde yakıt olarak kullanılmaktadır. Hidrojenli U-Zr alaşımı (UZrH_x) yakıt olarak kullanılır (uzay aracı reaktörleri içindeki moderatör sistemler). Uranyum silikatlar, prensipte hafif su reaktörlerinde kullanılabilsede su ile girdikleri tepkime yüzünden kullanılmazlar. U-Al alaşımları materyal testleri ve araştırma reaktörleri için kullanılmaktadır. Eskiden uranyum tuzları, parlak renkleri dolayısıyla seramiğin içine katılmışlardır. Fakat günümüzde radyasyon sebebi ile pek tercih edilmemektedir (IEA, 2012).

Uranyum Rezervleri: Uranyumun dünya rezervleri içerisinde büyük bölümünü oluşturan minerali uraninitdir. Uraninit, hem rezervi konusunda hemde işlenmesinin ekonomikliği sebebi ile nükleer santrallerin en önemli hammadde kaynağıdır. Kristalize uraninit, pegmatitlerde, granitik yada siyenitik kayalarda, monazit, zirkon ve turmalin ile birlikte ve hidrotermal damarlarda bulunur. Uranyumun, dünya rezervlerinin büyük bölümünü oluşturan başka bir önemli biçimi de yaklaşık %0,02 - %4 oranında uranyum içeren tortul kütlelerdeki birikintilerdir. Bunlar, A.B.D. ve Kanada’da büyük miktarlara ulaşır. Güney Afrika’daysa, altın ile birlikte bulunduğundan, ya artıklardan yeniden elde edilir ya da doğrudan doğruya çıkarılır.

Şekil 2.17’de Dünya’da bilinen uranyum kaynakları görülmektedir. Tablo 2.18’de ise Dünya ülkelerinde uranyumun rezervleri verilmiştir (IEA, 2012).



Şekil 2.17: Dünya’da uranyumun bilinen kaynakları (IEA, 2012)

Tablo 2.18: Dünya uranyum rezervleri (IEA, 2012)

Ülke	Uranyum (Ton)
Avustralya	1.673.000
Kazakistan	651.000
Kanada	485.000
Rus	480.000
Güney Afrika	295.000
Namibya	284.000
Brezilya	279.000
Nijer	272.000
ABD	207.000
Çin	171.000
Ürdün	112.000
Özbekistan	111.000
Ukrayna	105.000
Hindistan	80.000
Moğolistan	49.000
Diğer	150.000
Dünya Toplam	5,404,000

Türkiye’de Uranyum: Uranyum Türkiye’de, Aydın Söke, Çanakkale Küçükkuyu, Giresun Şebinkarahisar, Manisa Salihli, Uşak Eşme ve Yozgat Sorgun’da bulunur. Bugüne kadar yapılan aramalarda Türkiye’nin uranyum rezervinin 9 bin ton civarında olduğu tespit edilmiş ve rezervlerin en büyük kısmının Yozgat’ta olduğu

ve bu bölgede 4000-4500 ton civarında uranyum bulunduğu tahmin edilmiştir. Bölgede sondaj ile arama çalışması yapılmakta ve bu bölgede toplam 7000 ton rezerv olduğu belirlenmiştir. Tablo 2.19’da Dünya uranyum üretimi verilmiştir (IEA, 2012).

Tablo 2.19: Dünya uranyum üretim miktarı (ton U) (IEA, 2012)

Ülke	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Kazakistan	3719	4357	5279	6637	8521	14020	17803	19451
Kanada	11597	11628	9862	9476	9000	10173	9783	9145
Avustralya	8982	9516	7593	8611	8430	7982	5900	5983
Nijer	3282	3093	3434	3153	3032	3243	4198	4351
Namibya	3038	3147	3067	2879	4366	4626	4496	3258
Rus	3200	3431	3262	3413	3521	3564	3562	2993
Özbekistan	2016	2300	2260	2320	2283	2657	2874	3000
ABD	878	1039	1672	1654	1430	1453	1660	1537
Ukrayna	800	800	800	846	800	840	850	890
Çin	750	750	750	712	769	1200	1350	1500
Malawi	-	-	-	-	-	104	670	846
Güney Afrika	755	674	534	539	655	563	583	582
Hindistan	230	230	177	270	271	290	400	400
Brezilya	300	110	190	299	330	345	148	265
Çek Cumh.	412	408	359	306	263	258	254	229
Romanya	90	90	90	77	77	75	77	77
Almanya	77	94	65	41	0	0	0	52
Pakistan	45	45	45	45	45	50	45	45
Fransa	7	7	5	4	5	8	7	6
Toplam	40 178	41 719	39 444	41 282	43 798	51 450	54 660	54 610
ton U O _{3 8}	47 382	49 199	46 516	48 683	51 651	60 675	64 461	64 402
Dünya talebinin yüzdesi	-	65%	63%	64%	68%	78%	78%	85%

Enerji Üretiminde Uranyum: Dünya elektrik üretiminin %14’ünden fazlası nükleer reaktörlerde uranyumdan elde edilmektedir. Bu miktar, yıllık 2500 milyar KWs’ı aşmaktadır. Bu ise 1960’lardaki dünya çapındaki tüm kaynaklardan yapılan üretime eşdeğerdir. Günümüzde 30 ülkede, toplam kapasiteleri yaklaşık 377000 megavat olan 440 kadar nükleer santral mevcuttur. 60’tan fazla reaktör ise inşaat, 150 kadarı da planlama aşamalarında (IEA, 2012).

Belçika, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Finlandiya, Fransa, Macaristan, Japonya, Güney Kore, Slovakya, Solvenya, İsveç, İsviçre ve Ukrayna elektrik üretimlerinin %30’undan fazlasını nükleer santrallerden elde etmektedirler. ABD, 100’den fazla

alışan reaktöre sahiptir ve bunlar elektrik üretiminin %20'sini karşılamaktadır. Fransa ise elektrik üretiminin 3/4'n uranyumdan yapmaktadır (İEA, 2012).

2.4.6.3. Toryum

İsveçli kimyacı 'Baron Jons Jakobn Berzelius' tarafından 1828 yılında Norveç'te Brevig yakınındaki Lvn adasında bulunan şimdi 'thorite' denilen mineralin analizi esnasında keşfedilmiş bir elementtir. Toryum ismi İskandinav mitolojisindeki savaş tanrısı 'Thor'a izafeten verilmiştir. Berzelius 1829 yılında ilk defa toryum metalini, toryum tetra klorürü sodyum ve potasyum ile metalotermik olarak indirgeyerek elde etmiştir. 1860 - 1870 yıllarında Mendeleev, toryumun özelliklerini inceleyerek, bu elementi kendi tablosunda, tabiatta genellikle beraber bulunduğu nadir toprak elementleriyle aynı gruba koymuştur. Bugün ise toryum periyodik sistemde aktinitler grubundadır. Nadir toprak elementleri ise lantanitler grubunu oluştururlar (Talip, 2007).

Oluşumu bakımından uranyum, zirkonyum ile hafniyuma benzer. Genellikle nadir toprak elementleriyle birlikte bulunur. Th^{232} doğada bulunan toryum izotopları arasında en yaygın olanıdır radyoaktif alfa partikülleri yayar, uzun bir yarılanma süresi vardır. Toryum büyük ölçüde nadir minerallerin yan ürünü olarak elde edilmektedir. En zengin toryum minerali torianit olup % 90 toryum oksit, uranyum ve nadir mineral ihtiva eder. Bilinen en ağır minerallerden biridir. Yoğunluğu $9,7 t/m^3$ 'e kadar çıkabilir ve Madagaskar'da mevcuttur. Toryum, 60 civarında mineralin yapısı içinde yer almaktadır. En önemli toryum mineralleri monazit, torit ve thorianit'tir. Başlıca toryum mineralleri Tablo 2.1'de verilmiştir. Toryum retiminde, bu minerallerden sadece monazit $[(Ce, La, Nd, Th, Y)PO_4]$ ve torit $[(Th, U) SiO_4]$ kullanılmaktadır. Bu mineraller de genellikle nadir toprak elementleri (lantanitler, skandiyum ve itriyum) ile birlikte bulunurlar. Tablo 2.20'de başlıca toryum mineralleri verilmiştir (Baba, 2001).

Tablo 2.20: Başlıca toryum mineralleri (Talip, 2007)

Mineral	Bileşimi	Bulunduğu yer
Monazit	(La, Ce, Th)PO ₄	Brezilya, Hindistan, Siri Lanka, Avustralya, G. Afrika, ABD
Brockite	(Ca, Ce, Th)((PO ₄). (CO ₄)).H ₂ O	ABD
Thorianite	ThO ₂	Siri Lanka, Kanada
Uranothorianite	(U,Th)O ₂	Madagaskar Cumhuriyeti
Thorogummite	ThO ₂ .UO ₃	Brezilya
Thorite	ThSiO ₄	İdaho ve Montana
Auralite	ThSiO ₄ .YPO ₄	İdaho ve Montana
Uranothorite	(U, Th)SiO ₄	Blind River, Ontario
Brannerite	(U, Th,Ca ₂ ,Fe ₂)Ti ₂ O ₆	Blind River, Ontario
Bastnaesite	(La, Ce, Th)FCO ₃	Kaliforniya
Pyrochlore	(Na ₄ , Ca ₂ , U, Th)(Nb, Ta) ₄ O ₁₂	Kolorado
Allanite	(Ca, Ce, Th) ₂ (Al, Fe, Mn, Mg) ₃ (SiO ₄) ₃ OH	İdaho ve Montana

Toryumun Kimyasal Özellikleri: Toryum minerali uranyuma nazaran korozyona daha dayanıklı bir mineraldir. Parlatılan bir toryum yüzeyi çok uzun süre parlaklığını muhafaza eder. Tablo 2.21’de önemli toryum kompleks iyonları verilmiştir (Talip, 2007).

Tablo 2.21: Değişik anyonlarla toryum iyonunun kompleks oluşumuna ilişkin denge sabitleri (Talip, 2007)

Reaksiyon	İyonik Kuvvet	Denge Sabiti
$\text{Th}^{+4} + \text{Cl}^- = \text{ThCl}^{+3}$	2	1,21
$\text{Th}^{+4} + 2\text{Cl}^- = \text{ThCl}_2^{+2}$	2	0,1
$\text{Th}^{+4} + 3\text{Cl}^- = \text{ThCl}_3^{+1}$	2	0,2
$\text{Th}^{+4} + 4\text{Cl}^- = \text{ThCl}_4$	4	0,018
$\text{Th}^{+4} + \text{NO}_3^- = \text{Th}(\text{NO}_3)^{+3}$	5,97	2,83
$\text{Th}^{+4} + 2\text{NO}_3^- = \text{Th}(\text{NO}_3)_2^{+2}$	5,97	1,41
$\text{Th}^{+4} + \text{ClO}_3^- = \text{Th}(\text{ClO}_3)^{+3}$	0,5	1,84
$\text{Th}^{+4} + \text{HSO}_4^- = \text{ThSO}_4^{+2} + \text{H}^+$	2	159
$\text{Th}^{+4} + 2\text{HSO}_4^- = \text{Th}(\text{SO}_4)_2^{+2} + \text{H}^+$	2	2850
$\text{Th}^{+4} + 2\text{HSO}_4^- = \text{Th}(\text{HSO}_4.\text{SO}_4)^{+1} + \text{H}^+$	2	800
$\text{Th}^{+4} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Th}(\text{H}_3\text{PO}_4)^{+4} + 2\text{H}^+$	2	78
$\text{Th}^{+4} + \text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Th}(\text{H}_2\text{PO}_4)^{+3} + \text{H}^+$	2	150
$\text{Th}^{+4} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Th}(\text{H}_2\text{PO}_4.\text{H}_3\text{PO}_4)^{+3} + \text{H}^+$	2	1400
$\text{Th}^{+4} + 2\text{H}_3\text{PO}_4 = \text{Th}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2^{+2} + 2\text{H}^+$	2	8000
$\text{Th}^{+4} + 2\text{HF} = \text{ThF}_2^{+2} + 2\text{H}^+$	0,5	$2,9 \times 10^7$
$\text{Th}^{+4} + 3\text{HF} = \text{ThF}_3^{+2} + 2\text{H}^+$	0,5	$9,4 \times 10^8$

Sulandırılmış HF, HNO₃, H₂SO₄ asitleri ve konsantre H₃PO₄ veya HClO₃ asitleri toryum metale yavaş yavaş etki ederler. Toryum iyonu, anyonlarla, asidik veya nötr çözeltilerde kompleksler yapmaya yatkındır (Talip, 2007).

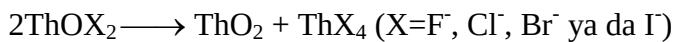
Toryum asıl olarak kömürdeki minerallerle ilişkilidir. Buna bağlı olarak toryum uçucu küldeki camsı matriks içerisinde oluşmaktadır. Warren ve Dudas (1988) uçucu küldeki toplam Th %50-80'nin az çözünebilir olduğunu ortaya koymuştur. Yine aynı yazarlar toryumun muhtemelen oksihidroksidler olarak adsorplandığını veya çökeldiğini belirtmişlerdir (Talip, 2007).

Fiziksel Özellikleri: Atom numarası 90, atom ağırlığı 232,0381 g/mol, molar hacmi 19,80 ml/mol olan, gümüş beyazlığında ve gümüş sertliğinde bir metaldir. Toryum minerali uranyuma nazaran korozyona daha dayanıklı bir mineraldir. Nemli atmosferde ve su içinde normal sıcaklıkta toryum korozyona dayanıklıdır. Sıvı metallerle karşı toryum alaşımlarının (sodyum, lityum ve ötektik potasyumlu alaşımları) korozyona dayanıklılığı hayli yüksektir (Volkan, 2007).

Toryumun Çözelti Kimyası: Toryum birçok oksiasidin kararlı tetravalent tuzunu oluşturur. Bu tuzlar, toryum hidroksit ya da bazik toryum karbonatın uygun asitle çözülmesiyle elde edilirler. Toryum nitrat suda iyi çözünür (20 °C'de 65.6 g/L). Önemsiz tetrahidrat olarak çözeltilerden kristalleştirilebilir. Toryum nitrat çözeltileri solvent ekstraksiyonu ile toryumun saflaştırılmasında kullanılır (Talip, 2007).

Susuz toryum sülfat suda 0 °C'de ağırlıkça %20 dolayında çözünmesine rağmen çözelti yarı karardır ve bekletildiğinde hidratlar çöker. Toryum minerallerinin liçi için kullanılan çözeltiler gibi yüksek sıcaklıklarda kararlı çözeltiler ortamda serbest sülfürik asit bulunmasını gerektirir (Talip, 2007).

ThCl₄ su ile reaksiyon verdiği zaman ThOCl₂ çözeltisi elde edilir. Kuruluğa kadar yapılan buharlaştırma işlemi, yapısı kesin belli olmayan bir hidrattan geçerek, 250 °C'ye kadar ısıtıldıktan sonra susuz ThOCl₂ elde edilir. Çok sağlam olmayan toryum oksiklorür, disproporsiyonasyona uğrayarak oksit ve halojenür oluşturur (Talip, 2007).



Çözünebilir florür, toryum nitrat çözeltisine ilave edildiği zaman, sulu toryum florür çöktürülür. Thorex işleminde (toryumun TBP ile özütlenmesinde) alüminyum nitrat ilavesiyle, florür iyonu ile kompleks oluşturarak çökelme önlenabilir. Toryum hidroksit ($\text{Th}(\text{OH})_4$), alkali hidroksitlerin toryum tuzları içeren çözeltilere eklenmesiyle çöktürülür. Sulu toryum çözeltisine %30'luk hidrojen peroksit katıldığında, toryum peroksit (Th_2O_7) çöker. Toryum nitrat ya da sülfat içeren nötral veya zayıf asidik çözeltilerden fosfat iyonu ile toryum orta fosfat, $\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$, çöktürülür. Toryum tuz çözeltisine alkali karbonatlar katılırsa, değişik bileşimlerde bazik toryum karbonat çökeleği oluşur. Toryum karbonat da, uranil karbonat gibi karbonatlı ortamda, kompleks oluşturarak çözünür. Bu ortamda oluşan kompleks iyon, $[\text{Th}(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2]^{-6}$ tir (Talip, 2007).

Th kimyasal olarak aktif maddedir. Seyreltik asitlerden yavaş etkilenir. Konsantre HCl'de hızla çözünür. Konsantre HNO_3 ile reaksiyonu hızlıdır. Sulu alkali çözeltiyle reaksiyona girmez. Oda sıcaklığında tozlaştırılmış Th metali havada ThO_2 'e dönüşür. Th'un su ile reaksiyonu 100 °C'de yavaştır, sıcaklık arttıkça hızlanır ve 345 °C'de şiddetlenir. H_2O ile toryum hidriti oluşturur. Th metali halojenlerde 450 °C veya daha yüksek ısıda, azotla ise 300-400 °C'de reaksiyona girer (Talip, 2007). Tablo 2.22'de düşük çözünürlük gösteren toryum bileşiklerinin suda ve bazı reaktiflerdeki çözünürlüğü görülmektedir (Parisara, 2007).

Tablo 2.22: Düşük çözünürlük gösteren toryum bileşikleri (Parisara, 2007, 2007)

İyon	Çökelme	Suda Çözünürlüğü	Diğer Reaktiflerdeki Çözünürlük
OH^-	$\text{Th}(\text{OH})_4$	Çözünmez	Asitlerde, amonyum oksalatta, alkali karbonatlarda, sodyum hitratta çözünür
F^-	$\text{ThF}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Çözünmez	Asitli alüminyum nitrat eriyiğinde çözünür
$\text{KF} + \text{HF}$	K_2ThF_6	Çözünmez	-
IO_3^-	$\text{Th}(\text{IO}_3)_4$	Çözünmez	IO_3^- 'ü parçalayan reaktiflerde çözünür
PO_4^{3-}	$\text{Th}_3(\text{PO}_4)_4$ $\text{Th}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ $\text{Th}(\text{HPO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Çözünmez	Konsantre asitte zorlukla çözünür
$\text{H}_2\text{P}_2\text{O}_6^{-2}$	$\text{ThP}_2\text{O}_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Çözünmez	4NHCl'de 1.65×10^{-4}
SO_3^{-2}	$\text{Th}(\text{SO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	-	Sülfitte kısmen çözünür
Cr_2O_7	$\text{Th}(\text{CrO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	Çözünmez	Konsantre asitte çözünür

Dünyanın ikinci büyük toryum rezervlerine sahip olan Türkiye'nin en önemli toryum yatağı Eskisehir-Beylikahır bölgesi ve Sivrihisar-Kızılcaören

yakınlarındadır. Bunun dışında Malatya-Darende-Kuluncak, Kayseri-Felahiye ile Sivas ve Diyarbakır il sınırları içinde toryum izlerine rastlanmıştır. MTA tarafından yapılan çalışmalarda Koca Devebağirtan ve Küçük Höyükli yörelerinde görünür rezerv olarak % 2,78 ortalama tenörlü toplam 4500000 ton nadir toprak oksiti (NTO) ile % 0,21 ortalama tenörlü yaklaşık 380000 ton toryum oksit (ThO_2) olduğu belirlenmiştir. Aslında bu görünür rezerv Türkiye'nin kesin potansiyeli değildir. Toryum rezervinin kesin olarak tespiti için çalışmalar sürdürülmektedir (Talip, 2007).

Tablo 2.23: Dünya toryum rezervleri (OECD, 2012)

Ülkeler	OrtalamaTh (Ton)	(%)
Avustralya	452000	18
ABD	400000	16
Türkiye	380000	15
Hindistan	319000	13
Venezuela	300000	12
Brezilya	221000	9
Norveç	132000	5
Mısır	100000	4
Rusya	75000	3
Diğer	149000	5
Toplam	2528000	100

2.4.6.4. Kömürde Radyoaktivite

Kömür, doğada bulunan bir çok materyaller gibi iz miktarda ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleri ile birlikte ^{40}K içermektedir. Kömürdeki ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları ^{238}U , ^{232}Th ve bozunum ürünleri için 20 Bq kg^{-1} ve ^{40}K için 50 Bq kg^{-1} olarak verilmektedir. Genelde kömürdeki doğal radyonüklit aktivite içeriği, yer kabuğundaki ortalama konsantrasyonlardan daha küçüktür. Bununla birlikte, linyit gibi düşük kaliteli kömürlerin (özellikle genç linyitlerin), uranyum içeriğinin yüksek olduğu gözlenmiştir (Bukova, 2006).

Yılda 1 GW elektrik enerjisi üretmek için yaklaşık $3 \times 10^9 \text{ kg}$ kömür yakılması gerekmektedir. Termik santrallerde, toz haline getirilen kömür, $1500-1800 \text{ }^\circ\text{C}$ ' de yakılmaktadır. Yanma işleminde kömürde bulunan birçok mineral eriyerek kül içinde camlaşmakta ve bu ağır külün bir kısmı tamamen yanmayan organik madde ile birlikte dip külü veya cüruf olarak fırının dibine düşmektedir. Ancak hafif olan

uçucu kül, sıcak gazlarla ve herhangi bir uçucu mineral bileşiği ile birlikte bacadan çıkarak atmosfere yayılmaktadır. Bacadan çıkan uçucu külün miktarı elektrostatik filtrelerin tutucu verimine (% 90-99,5) bağlı olarak değişmektedir. Kömürde gazlar ve uçucu mineraller hariç yanmayan mineral maddenin içerdiği radyonüklit miktarı dip külü (%20) ve uçucu kül (%80) arasında paylaşılmaktadır. Kömürün yanmasında, organik bileşenlerin eliminasyonu esas olduğundan kömürden küle aktivite konsantrasyonları bir kat veya daha fazla zenginleşmektedir (Bukova, 2006).

Kısaca, bir termik santralde açığa çıkan dip külü ve uçucu küle, doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları yerkabuğunda bulunan konsantrasyonlarından çok daha yüksek olmaktadır. Ortalama doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları ^{40}K için 265 Bq kg^{-1} ; ^{238}U için 200 Bq kg^{-1} ; ^{226}Ra için 240 Bq kg^{-1} ; ^{210}Pb için 930 Bq kg^{-1} ; ^{210}Po için 1700 Bq kg^{-1} ; ^{232}Th için 70 Bq kg^{-1} ; ^{228}Th için 110 Bq kg^{-1} ve ^{228}Ra için 130 Bq kg^{-1} 'dir. Bu doğrultuda, kömüre dayalı termik santraller, teknolojik olarak zenginleşmiş doğal radyoaktivitenin en önemli kaynağı olarak işaret edilmektedir (Schwandorf, 2001).

Bir güç santralinde, birim elektrik üretimi başına atmosfere bırakılan doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonları;

- Kömürdeki doğal radyonüklit aktivite konsantrasyonuna,
- Kömürün kül oranına,
- Yanma sıcaklığına,
- Uçucu kül ve dip külü paylaşım oranına,
- Filtre sisteminin verimine bağlı olarak değişmektedir.

Bundan dolayı farklı santrallerde birim enerji başına açığa çıkan doğal radyonüklit aktiviteleri arasında fark beklenmelidir (Bukova, 2006).

Atmosferde, ^{226}Ra konsantrasyonunun son 80 yılda 100 faktörüyle arttığı ve bu artışın temelde kömüre dayalı termik santrallerden kaynaklandığı işaret edilmektedir (Bukaova 2006). Yunanistan'da linyit yakılan bir santralde bir yılda kömürdeki ^{226}Ra içeriğinin %80'inden fazlasını oluşturan $1.6 \times 10^{12} \text{ Bq } ^{226}\text{Ra}$ 'nın gaz veya uçucu küllerle açığa çıktığını hesaplamışlardır. Eğer bu santrallerden ^{226}Ra , gaz formunda

da açığa çıkıyorsa ve bu bulgu doğrulanırsa, kömür yakıt çevriminden ^{226}Ra 'nın global atmosferik akışının düzeltilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Kömür santrali çevresinde yaşayan insanlar için zenginleşmiş doğal radyasyona maruz kalmanın iki yolu vardır. Bunlardan ilki bacadan çıkan dumanın solunması diğeri ise yeryüzüne doğru zenginleşmiş doğal radyonüklit depozisyonunu takiben dışsal gama radyasyonuna maruz kalmalarıdır. Eski kömür santrallerinde GWyıl başına tahmin edilen kollektif etkin doz eşdeğeri 6 insan Sv/GWyıl, yenilerde ise 0.3 insan Sv/GWyıl'dır (Mara, 2007).

Radyonüklit Zenginleşme Faktörü: Radyonüklitlerin kömürden-küle zenginleşme oranları, zenginleşme faktörü ile karakterize edilmekte ve aşağıdaki eşitlikle verilmektedir (Bukova, 2006).

$$EF = \frac{(X)_{\text{örnek}} / (^{40}\text{K})_{\text{örnek}}}{(X)_{\text{kömür}} / (^{40}\text{K})_{\text{kömür}}}$$

K-40 aktivitesi hemen hemen bütün kül tiplerinde sabit kaldığından zenginleşme faktörünü tayin etmek için ^{40}K referans radyonüklit olarak kullanılmaktadır. Kömürden küle radyonüklit zenginleşme oranına bakıldığında en çok zenginleşmenin ^{210}Po ve ^{210}Pb konsantrasyonlarında ve bunları takiben ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra ve ^{232}Th olduğu görülmektedir. Çeşitli tip termik santrallerden alınan küllerde doğal radyonüklit zenginleşmesinin partikül boyutu ile çok fazla değiştiği bulunmuştur (Bukova, 2006).

Yüksek zenginleşme oranları 2.4 μm çapındaki partiküllerde gözlenmiştir ve EF değerleri ^{226}Ra için 1.9, ^{238}U için 2.8 ve ^{210}Pb için 5.0 olarak saptanmıştır. Genel bir kural olarak zenginleşme faktörü kömürün yanma sıcaklığı ile artmakta ve partikül boyutu (1 μm 'den daha büyük olduğunda) ile azalmaktadır. Uçucu külde parçacık boyutuna göre rapor edilen zenginleşme faktörlerinin, ^{238}U için 1-3, ^{226}Ra için 1-2, ^{210}Pb için 1-5, ^{232}Th için 1.0-1.2 arasında değiştiği Tablo 2.24'de görülmektedir.

Tablo 2.24: Uçucu külde parçacık boyutuna göre zenginleşme faktörleri (Bukova, 2006)

Partikül Boyutu (μm)	^{238}U	EF(Zenginleşme Faktörü) ^{228}Th	^{226}Ra	^{210}Pb
0-2.5	2.8	1.9	1.2	4.9
2.5-5	2.2	1.6	1.1	4.1
5-10	1.6	1.4	1.1	2.9
>10	1.3	1.0	1.0	1.5

Kömürün yanması sırasında, ^{40}K ve ^{232}Th izotopları alüminyum silikat mineralleri ile birlikte erir ve dip külü olarak çökerken, uranyum izotopları kömürdeki kimyasal veya mineralojik formlarına göre davranmaktadır. Uranyum kömür içinde cöfinit olarak mineralize olmuşsa dip külünde kalır, ancak uraninit olarak dağılmışsa UO_3 formunda uçucu olabilir ve uçucu kül partikülleri üzerine yoğunlaşarak birlikte hareket eder. Uranyumun bozunum ürünü olan radyum da benzer şekilde davranmaktadır (Bukova, 2006).

Ancak, ^{232}Th 'in bozunum ürünü olan ^{228}Ra uçucu kül partiküllerinin matrisi içinde kalmaktadır. Uçucu külde ^{226}Ra zenginleşmesinin ^{228}Ra 'den daha yüksek olması her iki izotopun, ana elementlerinin kömür matrisi içinde farklı formda bulunmalarından kaynaklanmaktadır. ^{210}Po ve ^{210}Pb radyonüklitleri ise oldukça uçucudur ve yanma sırasında buharlaşarak, büyük yüzey hacim oranına sahip ince uçucu kül partikülleri üzerinde yoğunlaşmaktadır. Özetle, kömürden küle doğal radyonüklit zenginleşme faktörü, kömürün mineorolojik yapısına, yakma tipine ve yanma sıcaklığına ve partikül boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Radyolojik açıdan, uçucu kül partikülleri üzerine yoğunlaşarak birlikte hareket eden ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb ve ^{210}Po 'un yanı sıra dip külünde kalan ^{40}K , ^{232}Th ve bozunum ürünleri oldukça önemlidir. Kömürün yanması sırasında, farklı fizikokimyasal özelliklere sahip olan ^{238}U , ^{226}Ra , ^{210}Pb ve ^{210}Po farklı davranış sergilemekte ve kömürden-küle farklı oranlarda zenginleşerek, kömürün aksine külde radyoaktif dengesizliğe yol açmaktadır. Uranyum serisinin yanı sıra, toryum serisinde de ürünler lehine gelişen bu radyoaktif dengesizlik, dip külü ve uçucu külün farklı radyolojik karakteristikler göstermesine neden olmaktadır (Bukova, 2006).

2.4.6.5. Linyitlerde Uranyum ve Toryum Birikimi

Linyitlerin orijini bilindiği gibi bitkilerdir. Bitkiler bünyelerinde uranyum ihtiva etmemektedirler. Bitkilerde bakterilerin sebep olduğu biyolojik bozunmayla bitki bünyesindeki ligninin hümitik komponentleri meydana getirdiği kabul edilmektedir. Bu maddelerin yapısı henüz kesin olarak bilinmemekle beraber hümitik asitlerin ve bunların polimerizasyonu ile oluşan hümititlerin çok sayıda aromatik halka ihtiva ettikleri ve bu halkalar üzerinde fenolik hidroksil, metöksil, karboksil ve diğer grupların bulunduğu bilinmektedir. Linyitlerden ekstrakte edilen hümitik asitler

linyitlere nazaran uranyuma daha büyük bir adsorbsiyon kapasitesi göstermişlerdir. Bugün linyitlerde uranyumun birikimine dair en çok tutulan hipoteze göre;

- a) Uranyumun primer kaynağı olan granitler kimyasal bozunmaya uğrarlar.
- b) Uranyum alkali uranil karbonat şeklinde çözeltiye geçerek deniz sularına karışırlar.
- c) Bu bileşikler lagün havzalarında veya bataklıklarda organik maddelerin su altında çürümesiyle hasıl olan hümitik maddeler tarafımdan adsorbe edilirler.

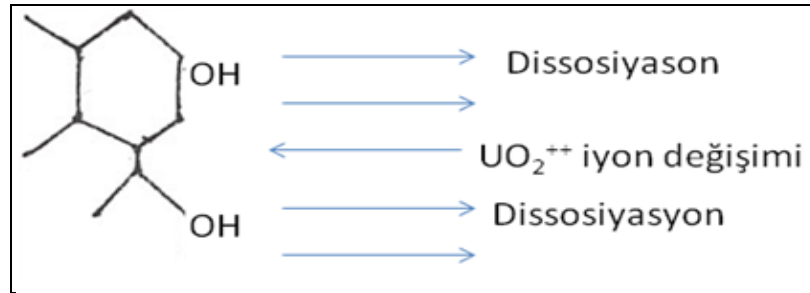
Kömürleşme olayıyla beraber uranyum biolitlerin hümitik asit muhtevaları tarafından kuvvetli bağlarla organik bünyeye bağlanırlar (Hepşen, 1976).

Linyit kömür ve diğer karbonlu materyaller içindeki uranyum nereden ve nasıl geldiği üzerinde muhtelif hipotezler ortaya atılmıştır. Esas olarak uranyum bitki bünyesinde bulunan bir element değildir. İkinci bir prosesle kömür yataklarına dahil olmuştur. Büyük bir ihtimalle kompleks alkali uranil karbonatlar kömürle temasa geldiğinde hemen adsorbe olmakta çatlak ve yarıklardan kömür yatağının içine nüfuz edebilmektedir. Ortam şartlarına bağlı olarak bu bileşikler indirgenmekte uraninit ve kofinit şeklinde bünyeye dahil olmaktadır. Bu mineraller çok ince bir dispersiyon göstermekte olup ancak yüksek miktarda uranyum ihtiva eden özel numunelerde tesbit edilmişlerdir. Başka bir hipoteze göre alkali uranil karbonat kompleksleri sularla kömür havzalarına taşınmakta hafif asidik bir ortamda uranil iyonları salınmaktadır. Bu iyonlar kömürde mevcut organik komponentlerle iyonik uranil-organik bileşikleri meydana getirmektedirler. Organik bünyeye dahil olan uranyum pH'ı 2,2 den fazla olan ortamlarda çözünmez (Hepşen, 1976).

Szalay'a göre ise uranyumun linyitlerde birikimi şöyle olmaktadır. Eğer çürümüş bitki artıkları tarafından, su altında çok seyreltik uranyum çözeltilerinden uranyumun adsorbe edildiğini düşünürsek bu özelliğin günümüzde de geçerli olması gerekmektedir. Bu maksatla kömürleşme başlangıcındaki turbalar toplanmış, içindeki kum, kil ve diğer atıklardan sedimentasyonla temizlenip toz haline getirilmiştir. Kurutulan turbadan 1 gram numune alınmış nemlendirildikten sonra üzerine %1'lik uranil nitrat çözeltisinden damla damla dökülmüştür. Altan alınan berrak çözeltide yapılan analizler tüm uranyumun turba tarafından tutulduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu olay uranyumun biojeokimyasal olarak zenginleşmesinin

anahtarıdır. Adsorbsiyon olayı kısa sürede gerçekleşmiştir. Daha sonra çok miktarda suyla yapılan yıkamalarda yıkama suyunun uranyum ihtiva etmediği görülmüştür. Aynı deney linyitlerde de tekrarlanmış ve linyitlerinde aynı özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Linyit bünyesindeki reçinemsî kısımların uranyum adsorbsiyonunda önemli rol oynadığı görülmüştür. Sodyum uranil karbonat kullanılarak tekrarlanan deneyler aynı neticeyi vermiştir. Bu deneyin önemi hipoteze göre uranyumun granitlerin kimyasal bozunması sırasında alkali karbonatlar şeklinde çözeltiye geçtiği varsayımından ileri gelmektedir. Turbanın gramı başına ve cinsine göre 50-250 mgr arasında değişen miktarlarda uranyum tutulmuştur. Linyitlerde ise bu adsorbsiyon kapasitesi daha küçüktür (Hepşen, 1976).

Bitkilerde bakterilerin sebep olduğu biyolojik bozunmayla bitki bünyesindeki ligninin hümitik komponentleri meydana getirdiği kabul edilmektedir. Bu maddelerin yapısı henüz kesin olarak bilinmemekle beraber hümitik asitlerin ve bunların polimerizasyonu ile oluşan hüminitlerin çok sayıda aromatik halka ihtiva ettikleri ve bu halkalar üzerinde, fenlik hidroksil, metoksil, karbonsil ve diğer grupların bulunduğu bilinmektedir. Szalay tarafından linyitlerden ekstrakte edilen hümitik asitler linyitlere nazaran daha büyük bir adsorbsiyon kapasitesi göstermişlerdir. Uranyumun kömüre bağlanması Şekil 2.18’de görülmektedir (Hepşen, 1976).



Şekil 2.18: Uranyumun kömüre bağlanması (Hepşen, 1976).

Kömürleşme sırasında teşkil eden hümitik asit ve bunların polimerizasyonu ile oluşan hüminitlerin her linyitte bölgesel koşullara bağlı olarak değişiklikler gösterebileceği dolayısıyla her linyitten uranyum ekstraksiyonunun bu kadar güç olmayabileceği daha sonraki çalışmalarla ortaya konmuştur. Mesela İspanyol linyitlerinden daha az asit sarfıyla ve daha iyi randımanla uranyum alınabilmektedir. Bu sebeple değişik

bölge linyitlerinden uranyum ekstraksiyonu için yeni araştırmalar yapılması gerekeceği açıktır (Hepşen, 1976).

2.4.6.6. İz Elementlerin Liç Özellikleri

Kömürdeki iz elementlerin oluşum şekilleri, iz elementlerin uçucu küldeki oluşum şekilleri üzerinde ve bu elementlerin kül tanecikleri bünyesinde dağılımları üzerinde önemli bir role sahiptir. Uçucu kül tanelerinin çekirdeğinde zenginleşen elementler direkt olarak liçe maruz kalmamakla birlikte, yüzeyle ilişkili elementler sulu bir ortamda liçe daha fazla yatkındırlar. Böylece kömürdeki oluşum şekilleri, bir elementin taşınabilir olup olmayacağı veya kolaylıkla çevreye salınıp salınmayacağını büyük ölçüde kontrol etmektedir (Yıldırım, 2007).

Be, Cd, Co, Cu, Fe, Mg, Mn, Ni, Pb, Re, Si, Sn, Th, Ti, U ve Zn elementlerinin genel bir özelliği pH 7-10 aralığında minimum çözünübilirlik göstermeleridir. Bu elementler, alkali uçucu külde çevresel şartlar (örneğin orta derece asidikten alkali pH'a kadar) altında düşük öneme sahip olarak nitelendirilmektedirler. Bunların liç olabilirlikleri düşüktür ve küldeki konsantrasyonları ile bağlantılı değildir, ancak pH'a bağlıdır. Böylece uçucu küldeki bu metallere herhangi birinin yüksek derecede zengin bir kömüre bağlı olarak yüksek miktarda bulunması çeşitli uygulamalar için sınırlı bir etken olarak değerlendirilmemelidir. Ancak bu tanım, üstte verilen elementlerin hareket kabiliyetleri pH ile azaldığı için asidik uçuküllerde geçerli değildir (Izquierdo ve Querol, 2012).

Bunun tam tersi olarak As, B, Mo, Sb, Se, V ve W gibi oksianyonik oluşan elementler pH 7-10 aralığında maksimum çözünübilirlik göstermektedirler. Bu nedenle bu elementleri içeren alkali küllerin bertarafına özellikle dikkat edilmelidir. Bunlar haricinde asıl önem As, B, Cr, Mo ve Se'ye de yöneltilmelidir. Bu elementler hem bitki hemde hayvanlara potansiyel olarak zararlı oluşuyla, suda yüksek çözünübilirlikleriyle ve buna bağlı olarak yüzey ve yeraltı sularında yüksek hareketlilikleriyle öne çıkmaktadırlar. Ca varlığında çözünübilirliği sınırlayıcı fazların oluşmasına bağlı olarak As ve V'nin liç olabilirlikleri azalmaktadır. Etrenjit As, B, Cr, Sb, Se ve V elementlerini kafes yapısı içerisine yakalama açısından yüksek afinite göstermesi dolayısıyla metaloid süpürme için büyük potansiyele sahiptir (Querol, 2012).

2.5. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kerkdijk ve arkadaşlarının (1982) yaptıkları bir çalışmada üç adet uçucu kül numunesi üzerinde yüksek alan şiddetli manyetik ayırıcı kullanılarak temel deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada hammadde kazanımının ve atık durumdaki uçucu küllerden çözünebilecek zararlı elementlerin uzaklaştırılmasının ekonomik olup olmayacağını belirlenmesi için iz elementlerin zenginleşip zenginleşmeyeceği incelenmiştir.

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 (CO₂ 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, EI, ağır metal ve iz element) de yapmıştır.

Topçu (2001) endüstriyel bir atık olan uçucu külün betonda bağlayıcı malzeme olarak kullanımının özelliklere etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla Çayırhan termik santralinden elde edilen uçucu kül, Eskişehir bölgesi agregaları ve PKÇ/B 32.5R çimentosu kullanılarak beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler 300, 350, 400 kg/m³ dozaj ve bu dozajların her biri için çimento yerine % 20 ve % 40 oranında uçucu kül katılarak elde edilmiştir. Üretim sırasında taze betonlarda çökme, yayılma ve birim ağırlık deneyleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir. Laboratuvar ortamında bekletilen numuneler 7, 28 ve 60 günün sonunda yapılan deneylerle uçucu külün beton üzerindeki fiziksel ve mekanik etkileri belirlenmiştir.

Akbulut (2005) ileri teknoloji elementlerinin (Ga-Ge-Se-Te) bazı kömür yataklarındaki konsantrasyonlarının araştırılması yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Bu tez kapsamında Muğla ili civarında yeralan Yatağan sektörü Eskihisar, Bağyaka ve Tınaz linyit açık ocakları ve Milas Yeniköy İşletmesine bağlı

İkizköy, Sekköy, Hüsamlar açık ocakları ile Alatepe kapalı linyit ocaklarında yapılan saha gözlemleri ve ocaklardan derlenen oluk örnekleri üzerinde PED XRF yöntemi kullanılarak ana ve eser element analizleri yapılmıştır. İncelenen ve derlenen kuru bazda kömür analizlerinin eser element içerikleri, genellikle dünya ortalamaları içinde bulunurken sadece W, Mo, Ta ile Co, Ni ve U, Th değerleri bazen dünya ortalamalarının üst sınırı yakalamakta ve onları geçmektedir.

Akbulut (2005) Soma termik santrali uçucu kül ve polipropilen atıklarının yeni bir malzeme üretiminde değerlendirilmesi konusu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Bu çalışmada, Soma termik santrali uçucu küllerinin ve polipropilen atıklarının yeni bir kompozit malzeme üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaç ile % 10 - %90 hacim oranlarda Soma termik santrali uçucu külü içeren dokuz çeşit kompozit malzemeler üretilmiştir. Bu çalışmada farklı türde iki atık malzeme olarak Soma termik santrali uçucu külü ile atık polipropilen kullanılarak yeni bir kompozit malzeme elde edilmiştir. Üretilen yeni malzemede kül oranı arttıkça ısı iletim katsayısının küçüldüğü görülmüş ve en küçük ısı iletim katsayısı kül oranı % 70 olan numunelerde tespit edilmiştir. Ayrıca, numunelerde polipropilen oranı arttıkça basınç ve aşınmaya karşı dayanımın da arttığı görülmüştür. Numunelerin aşınma değerlerinin çok küçük ve basınç dayanımının büyük olması nedeniyle marley türü döşeme kaplaması olarak kullanılabilirdiği saptanmıştır. Sonuçta, elde edilen kompozit malzemenin gerek dış duvar kaplaması, gerek döşeme kaplaması olarak kullanılmasının mümkün olabileceği böylece, hem ısı kazanç açısından hem de çevre kirliliğini azaltması açısından yarar sağlayacağı tespit edilmiştir.

Gören'in 2005'te hidrolik asit çözeltileri ile uçucu külden Ca, Mg ve Fe çözünürlüğü konusunda yaptığı çalışma, Seyitömer (Kütahya) linyitik kömür yanma yan ürünü uçucu külden Ca, Mg ve Fe iyonlarının, konsantrasyonu 0,1-2N aralığında değişen HCl çözeltilerinde çözünabilirlik miktarının analizini içermektedir. XRD analizlerine göre uçucu kül, belirgin amorf ve kristalin kuvars fazlarının yanında, Fe, Al, Si, Ca, Mg metallerin bireysel ve kompleks oksit bileşiklerine ait fazlar içermektedir. Çözünürlük çalışmaları, uçucu külün ısı işlenmemiş ve işlenmiş üç farklı örneğinde gerçekleştirilmiştir. Ca^{2+} , Mg^{2+} ve Fe^{3+} in CaO, MgO ve Fe_2O_3 şeklindeki oksitleri cinsinden en yüksek çözünürlük değerleri 650°C'ta 2 saat ısı işlenmiş kül örneğin 2N HCl çözeltisinde 6 saat liçi ile elde edilmiştir. En yüksek

çözünürlük sonucuna göre, uçucu kül kompozisyonundan CaO, MgO ve Fe₂O₃ sırasıyla ve ağırlıkça yüzde olarak ~ %75, 93 ve 50 miktarında azalmıştır.

Kantürk (2006) Ege bölgesi uçucu küllerinden sentetik zeolit üretimi parametrelerinin araştırılması konusunu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Bu çalışma kapsamında Soma ve Yatağan termik santrallerinin uçucu külleri kullanılarak alkali esaslı bir ortamda, ısıtma işlemi ve hidrotermal işlemler uygulanarak sentetik zeolit üretimine çalışılmış, bu işlemler sonrasında ürün karakterizasyonu elektron mikroskopunda yapılmış ve EDX ve XRD ile bazı analiz sonuçları alınmıştır. Elde edilen ürünlerin sentetik zeolit yapısına çok benzeyen sodalit olduğu saptanmıştır. Sodalit oluşumunun nedenleri belirtilmiştir.

Aruntaş (2006) uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli konusu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, uçucu küllerin inşaat sektöründe çok büyük kullanım potansiyelinin bulunduğunu göstermektedir. Uçucu küllerin kullanımının özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde daha yaygın olduğu görülmektedir.

Kırdım (2006) Seyitömer (Kütahya- Türkiye) termik santralinde yanan kömürlerin ve oluşan katı atıkların mineralojisi ve petrografisi konusunu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Termik santralda yanan kömürlerden, uçucu küllerden ve taban küllerinden 8 hafta boyunca toplam 24 adet örnek alınmış, tez kapsamında mineralojisi, petrografisi ve element içeriği değerlendirilmiştir. Termik santralda yanan kömürlerde SEM-EDX çalışmalarıyla mikron büyüklüğündeki mineraller, örneğin FeNi-sülfür (pentlandit), rutil, apatit, barit ve sfalerit; uçucu küllerde Fe, Ni-sülfür (pentlandit), rutil, apatit, barit, melilit ve yanmamış karbon (char) saptanmıştır. Taban küllerinde ise uçucu küllerde saptanan minerallere ilave olarak siderit ve selsian tespit edilmiştir.

Volkan (2006) Afşin-Elbistan termik santrali uçucu küllerinden yanmamış karbonun geri kazanımı konusunu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Uçucu küller içerisinde bulunan yanmamış karbon taneciklerinin flotasyon yöntemi ile geri kazanımları incelenmiştir. Uçucu küller içerisinde bulunan yanmamış karbon tespiti için analizler yapılmıştır. Bu analizler sonucunda kül numunesinde % 6,5 ila % 9 arasında yanmamış karbon bulunduğu görülmüştür. Yanmamış karbon taneciklerinin geri

kazanımı için en önemli sorun pülpün pH yüksekliğidir. Bu nedenle pülpün pH'ının düşürülmesi için gerekli katı/sıvı oranı belirlenmiştir. Seçimliliğin artması için 3 basamaklı flotasyon deneyi yapılmıştır. Deneyler sonucunda tek basamaklı deneylerde % 81,79 kazanma verimi 3 basamaklı deneylerde ise % 59,14 kazanma verimi elde edilmiştir.

Bukova (2006) kömür yataklı termik santral küllerinde radyoaktif dengenin araştırılması ve radyolojik açıdan incelenmesi konusunu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Bu doğrultuda sunulan çalışmada, Batı Anadolu' da yer alan 'Soma, Yatağan, Yeniköy, Kemerköy, Orhaneli, Tunçbilek, Seyitömer ve Çan' termik santrallerini besleyen kömürlerde ve açığa çıkan küllerde radyoaktivite içeriği, radyonüklit zenginleşme faktörü ve radyoaktif dengeyi de kapsayan radyolojik karakteristiklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, termik santralleri besleyen kömürlerin ve açığa çıkan küllerin radyolojik özelliklerinin incelenmesinin, tesis çevresinde teknolojik olarak zenginleşmiş radyasyona maruz kalma ile oluşan radyolojik riskin tahmininde ve bu malzemenin inşaat sektöründe değerlendirilebilmesinde oldukça önemli olduğunu göstermektedir.

Cao (2008) uranyum kimyasal çözündürme ile küllerden kazanılması için farklı asitler kullanılarak çeşitli çalışmalar yapılmıştır. En uygun yöntem ise %10 sülfürik asit kullanılarak yapılan yığın liçi ön testlerinden 0.05–0.15 mol/L sülfürik asit konsantrasyonu ile 1/1 K/S oranında en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu deneylerde 180kg/t kül H_2SO_4 kullanımıyla %70 uranyum çözünme verimi elde edilmiştir. Yüklü sülfürik asit çözeltisindeki çoğu safsızlık çözeltiden çıkarılıp uranyum elde edildikten sonra anyonik reçine sütununa (Vionit ATH-1) gönderilmektedir. Reçine yıkama ise 0.1 mol/L HNO_3 + 0.9 mol/L NH_4NO_3 'den oluşan asidik çözelti ile gerçekleştirilmiştir. Yıkanmış çözeltideki uranyum içeriği 7-10 g/L olmuştur.

Demir (2009) kömür hazırlama teknikleri kullanılarak Türkiye'deki kömürlerin iz element içerikleri açısından değerlendirme olanaklarının araştırılması konusunu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Bu çalışmada Türkiye'deki kömürlerin ve küllerinin içerisindeki iz elementler incelenmiştir. Çalışma iki ana bölüme ayrılmaktadır. Birinci bölümde kömürler ve iz elementler ile ilgili bilgiler, ikinci bölümde ise deneysel çalışmalar yer almaktadır. İstanbul - Ağaçlı, Zonguldak -

Kozlu, Muğla - Yatağan ve Manisa – Soma'dan alınan kömür numuneleri üzerinde yüzdürme batırma ve flotasyon deneyleri yapılmıştır. Bunun sonucunda kömür hazırlama ve yakma yöntemleriyle iz elementlerin değişimleri ve hareket mekanizmaları araştırılmıştır. Ayrıca Yatağan ve Soma Termik santrallerinden alınan kül numuneleri üzerinde yapılan esas ve iz element analizleri ile termik santral küllerinin değerlendirilebilirliğinin bir ön araştırması yapılmıştır.

Hiçyılmaz (2009) kömür ve kömür külü ile biyomas kilindeki radyoaktif izotopların ortamdan uzaklaştırılması ve küllerin çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla yaptığı çalışmada, uranyum, toryum içeren Yatağan, Tunçbilek ve Silopi linyit ve asfaltitleri ile İsveç ve Kuzeydoğu Karadeniz'den alınan odun küllerinde bulunan Cs-137 radyoizotoplarından temizlenmesi işlemleri incelenmiştir. Düşük pH ortamlarında hızlı liç işlemiyle bu metallerin kömür, kömür külü ve biyomas küllerinden uzaklaştırılması mümkün olmuştur.

Türkmenoğlu (2010) 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 seyreltici, faz oranının, çözücü yüzdesinin, sulu faz pH'sının, karıştırma süresinin ve kademe sayısının etkilerini incelemiştir.

Günindi (2010) Yumurtalık Sugözü uçucu külü içeren betonların basınç, eğilme ve aşınma dayanımlarının araştırılması konusu yüksek lisans tezi olarak çalışmıştır. Bu çalışmada, yüksek oranda Yumurtalık- Sugözü uçucu külü içeren betonun basınç, eğilme ve aşınmaya karşı direnci deneysel olarak incelenmiştir. Çalışmada değişik miktarlarda uçucu kül kullanılarak farklı beton karışımları elde edilmiş ve süper akışkanlaştırıcı yardımı ile sabit su-çimento oranında betonlar üretilmiştir. Bu beton karışımlar teste tabii tutulmuş olup, elde edilen deney sonuçları aralarında karşılaştırılmıştır. Uçucu kül içeren betonun dayanım özellikleri ile normal betonun özellikleri arasındaki ilişkinin benzer olduğu sonucuna varılmıştır. Laboratuvar da elde edilen verilere dayanarak mevcut uçucu külün çimentoyu %10-%40 oranında

ikame edebileceği ve incelenen betonun, uygun bir şekilde dizayn edildiği takdirde özellikle beton yol kaplaması olarak kullanılabileceği kanaati oluşmuştur.

Haktanır'ın (2010) Muğla-Yatağan termik santrali emisyonlarının etkisinde kalan tarım ve orman topraklarının kirlilik veri tabanının oluşturulması ve emisyonların vejetasyona etkilerinin araştırılması konulu araştırmasında, Muğla-Yatağan termik santrali emisyonlarının santral çevresindeki tarım ve orman topraklarının ağır metal kapsamı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla hakim rüzgar yönü ile diğer yönlerde olmak üzere santrale 721 m ile 15 km uzaklıkta değişen mesafelerden 27 adet toprak ve 41 adet bitki örneği toplanmıştır. Toprakların ağır metal ve S kapsamının santrale olan mesafe ile ilişkili olmadığı, daha çok hakim rüzgar yönüne bağlı olarak etkilendiği belirlenmiştir. Toprak örneklerinin ağır metal kapsamının toprak pH'sı ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Bitkilerde bulunan ağır metal miktarlarının yüksek olduğu saptanmıştır. Çam ağaçlarının iğne yapraklarında alınabilir S miktarı diğer bitkilerden daha yüksektir. Susam ve havuçta Cu, Cd, Zn oldukça yüksek bulunmuştur.

Türkmenoğlu (2010) uçucu küllerin liç karakteristiklerinin ve çevreye etkilerinin araştırılması konusunu doktora tezi olarak çalışmıştır. 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. Afşin Elbistan-A termik santrali dışında; Sugözü, Yatağan, Soma, Seyitömer, Tunçbilek, Çatalgazi 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.

2.6. ÇALIŞMA SAHALARI

Tez kapsamında Yatağan ve Soma termik santrallerinden bir ay boyunca farklı zamanlarda uçucu kül örnekleri alınarak biriktirilmiş, deneysel çalışmakta esas olan numuneyi oluşturmuştur. Numuneler termik santrallerin elektrolfiltrelerinde birikmiş numunelerden örneklenmiştir. Kül örnekleri alınan termik santrallerin yer bulduru haritası Şekil 2.19’da verilmektedir.



Şekil 2.19: Kül örnekleri alınan termik santrallerin yer bulduru haritası (EUAŞ, 2011)

2.6.1. Yatağan Termik Santralinin Tanıtımı

Muğla sınırları içerisinde yer alan Yatağan termik santrali Muğla-Yatağan linyit havzasındaki düşük kalorili kömürün değerlendirilmesi ve ulusal sistemin enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla 1975 yılında yatırım programına alınmıştır. I. Ünite 1982; II. Ünite 1983; III. Ünite 1984 tarihlerinde devreye girmiştir (Baba, 2006).

2.6.1.1. Yerleşim Bölgesinin Tanıtımı

Yatağan, Muğla’nın bir ilçesidir. Muğla-Aydın karayolunun 26 kilometresinden ayrılan Milas-Bodrum karayolu kavşağı yakınında kurulmuştur. İlçede biri merkezde olmak üzere 6 belediye teşkilatı ve 36 köy bulunmaktadır. İlçeye bağlı beldeler Turgut, Yeşilbağcılar, Bozüyük, Bozarmut ve Bencik kasabalarıdır (YEAS, 2008). Şekil 2.19’de Yatağan termik santralinin resmi gösterilmektedir.



Şekil 2.20: Yatağan termik santrali (KSR, 2009)

Yatağan ve yakın çevresi yerleşim için ideal özelliklere sahiptir. Deniz seviyesinden yaklaşık 350 m yükseklikte olduğu için nem yoktur. Yatağan'ın hemen yakınında bulunan çam ormanları, özellikle Katrancı köyü civarındaki fıstık çamı ormanları havayı temizledikleri gibi çevreye doğal bir güzellik katarlar. Bütün bu elverişli özellikleri nedeniyle Yatağan ve çevresi çok eski zamanlardan beri insanların yerleşim yeri olmuştur (YEAŞ, 2008).

Yatağan'ın ilk imar planı 1966'da yapılmıştır. Bu yöreye elektrik enerjisi ise ilk olarak 1967'de jeneratörle ve 1971'de Kemer hidrolik santralinden sağlanmıştır. İlçe ekonomisi genellikle tarım, sanayi ve ormancılığa dayalıdır. İlçede çiftçi hane sayısı 8930 olup toplam hane sayısına oranı %79'dur. Halkın büyük bir kısmı tütün, tahıl, zeytin ve diğer bazı tarım ürünlerini yetiştirmek ile uğraşır. Yatağan ve çevresinde çıkan madenler öncelikle linyit kömürü olmak üzere mermer ve zımpara taşıdır (Haktanır, 2007).

2.6.1.2. Yatağan Termik Santralinin Kuruluş Amacı ve Yer Seçimi

Yatağan Termik Santrali, sanayide başka amaçla kullanılamayan Muğla-Yatağan linyit havzasındaki düşük kalorili kömürün değerlendirilmesi ve Türkiye'nin enerji

sistemi ihtiyacının karşılanması maksadıyla 1975 yılında yatırım programına alınmıştır. Santralin yer seçiminde aşağıda belirtilen ölçütler dikkate alınmıştır:

- Kömür yatakları ile kül ve cüruf atma sahasına yakınlığı,
- Santralin ihtiyacı olan suyun bulunabilirliği ve yakınlığı,
- Elektrik tüketim merkezlerine yakınlığı,
- Depreme mukavemet bakımından fay hattında bulunmayışı,
- Karayolu ulaşım kolaylığı,
- Rüzgar yönü,
- Kömür temini.

Muğla yöresi Türkiye'nin en önemli kömür havzalarından biri olup TKİ ve MTA tarafından 800 milyon tonluk kullanılabilir kömür varlığı ifade edilmektedir. Yörede mevcut linyit kömürünün alt ısı değeri 1750-2100 kcal/kg olduğundan termik santralde elektrik üretiminden başka herhangi bir sanayide kullanmaya elverişli değildir (YEAŞ, 2008).

Yatağan termik santrali, Yatağan-Milas karayolunun kuzeyinde, Yatağan ilçesine 3 km uzaklıktaki Yatağan ovasında yer almakta olup, 1163000 m²' lik bir alan kaplamaktadır. Bu ovanın rakımı 325 m iken ovanın kuzeyinde Yatağan tepesinde 718 m, kuzeybatıda Aladağ tepesinde 776 m, güneyde Bakladağ tepesinde 778 m, Akdağ tepesinde 1210 m, ve Kocakarlık tepesinde 1396 m'dir. Dolayısıyla küçük bir ova düzlüğü ve bu düzlüğü çevreleyen tepe ve dağlardan oluşan Yatağan yöresinde jeolojik yapı neojen yaşlı marn ve gölsel (lakustrin) yumuşak kalkerler ile permien-mesozoik yaşlı jerizitli-kloritli şistlerden ve sert kalkerlerden oluşmaktadır (ETKB, 2012).

Yatağan termik santralinin etkisi altında bulunan topraklar genel olarak kollüviyal özellikte olup, kırmızı kahverengi Akdeniz büyük toprak grubuna girmektedir. Eğimleri % 2-6 arasında değişmekte olan bu topraklar genelde killi bünyede ve orta ve derin profillere sahip bulunmaktadırlar. Topraklar hafif alkali özelliktedir. Ormanlık bölgede ise kahverengi orman ve kireçsiz kahverengi orman toprakları yaygındır (KSR, 2011).

Yapılan bir araştırma ile Yatağan termik santralinde kullanılan kömürlerin nem içeriğinin % 32, kuru nem içeriğinin % 10,6, kül kapsamının % 39, buharlaşabilir madde miktarının % 33, C'nun % 33,8, sabit C'nun % 18, toplam S'ün % 2,6, H'nin % 2,1, N'un % 0,8, O'nin % 22 olduğu; mineral madde kapsamının (kuru ağırlık olarak); % 2,3 illit, % 5 kaolinit/klorit, % 16,3 kuvars, % 11 kalsit, %1,6 pirit, % 0,3 jips, % 36,6 toplam minerallerden oluştuğu belirlenmiştir (Koray, 2007). Tablo 2.25'de Yatağan termik santralın 2007-2011 yılları arasındaki üretim miktarı verilmektedir. Tablo 2.26'da Yatağan termik santralinin teknik özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 2.25: Yatağan Termik Santrali'nin yıllık üretim miktarı (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2012)

Yıllar	Elektrik enerjisi üretimi (GWh)			
	1. Ünite	2. Ünite	3. Ünite	Toplam
2007	1048,8	767,4	946,0	2762,2
2008	1014,0	1238,5	1383,0	3635,5
2009	926,2	937,6	1103,8	2967,6
2010	782,8	632,9	915,7	2331,4
2011	883,8	1045,8	1006,2	2935,8

Tablo 2.26: Yatağan Termik Santrali'nin teknik özellikleri (EUAŞ, 2011).

KAZAN KARAKTERİSTİKLERİ		
Yapımcı Firma	RAFAKO/POLONYA	
Kazan Tipi	OB-660	
Ana Buhar Çıkış Sıcaklığı	°C	535 + 8
Ana Buhar Çıkış Basıncı	kg/cm ²	139
Tekrar Kızdırıcı Buhar Sıcaklığı	°C	535
Tekrar Kızdırıcı Buhar Basıncı	kg/cm ²	24
Nominal Debi	ton/saat	660
Besleme Suyu Eko Giriş Sıcaklığı	°C	243
Besleme Suyu Eko Giriş Basıncı	kg/cm ²	157
Ana Yakıt Yakıcı Sayısı (Değirmen)	Adet	6/Ünite
Yardımcı Yakıt Yakıcı Sayısı	Adet	6/Ünite
Ana Yakıt Kül Oranı	%	28
Ana Yakıt Nem Oranı	%	32
Luvo Çıkışı Gaz Sıcaklığı	°C	160
Kazan Verimi	%	87,5

Tablo 2.26'nın devamı

TÜRBİN KARAKTERİSTİKLERİ		
Yapımcı Firma	ZAMECH / POLONYA	
Türbin Tipi	13 K 215	
Türbin Devir Sayısı	d/d	3000
Nominal Yükte Buhar Tüketimi	ton/saat	620
Kızgın Buhar Giriş Sıcaklığı	°C	535
Kızgın Buhar Giriş Basıncı	kg/cm ²	130
Tekrar Kızdırıcı Buhar Giriş Sıcaklığı	°C	535
Tekrar Kızdırıcı Buhar Giriş Basıncı	kg/cm ²	22,8
Kodense Vakum Basıncı	Ata	0,0726
Kodense Soğutma Suyu Miktarı	ton/saat	33000
Kodense Soğutma suyu sıcaklığı	°C	27
Isı Sarfıyatı	kcal/kWh	1968
Türbin Verim	%	43,75
BACA GAZI ARITMA TESİSİ KARAKTERİSTİKLERİ		
Yapımcı Firma	L.L. Bischoff Güriş. Konsorsyumu	
Baca Gazı Debisi	Nm ³ /saat	Islak:1.450.000
	Max 1 Ünite	Kuru:1.189.000
Giriş SO ₂ Yoğunluğu	Nm ³ /saat	Islak:8.400
	Max 1 Ünite	Kuru:10.240
Çıkış SO ₂ Yoğunluğu	Nm ³ /saat	Kuru:136,4
	Max 1 Ünite	
Kullanılan Kireçtaşı Miktarı	ton/saat	19,53
	3 Ünite Max	
İç Enerji Tüketimi	MW	24,1
	3 Ünite Max	
GENERATÖR KARAKTERİSTİKLERİ		
Yapımcı Firma	DOLMEL/POLONYA	
Generatör Tipi	TWW - 215 – 2	
Gücü	kVA	247.000
Gerilimi	V	15750 + % 5
Frekansı	Hz	50
Generatör Verimi	%	98,6
İkaz Gerilimi Ve Akımı	V,A	330V 2700A
Soğutma Sistemi Tipi	H2 + Su	
Ana Trafo Yapımcı Firma	Elta	
Ana Trafo Çevirme Oranı	15,75/430,415,400,385,376	

2.6.1.3. Santralde Kaynaklanan Çevre Sorunlarının Giderilmesi Çalışmaları

Son yıllarda Türkiye’de giderek yaygınlaşan çevreyi koruma bilinci ve yoğunlaşan şikayetler sonucu, santralde de çevre sorunlarının giderilmesi yönünden çalışmalar başlatılmış olup bu çalışmalar halen devam etmektedir. Santralin çevreye etki eden atıklarını üç ana başlık altında toplamak mümkündür (YEAS, 2008).

Katı Atıklar: Santralde kömürün kazanda yakılması sonucu ortaya çıkan kül ve cüruf, konveyörlerle kül atma sahasına gönderilmektedir. Bu işlem esnasında veya depolanmasından sonra külün rüzgar etkisiyle çevreye yayılması başlangıçta önemli

bir sorun teşkil etmekte iken, bu durumun önlenmesi için yapılan çalışmalar ve alınan önlemler aşağıda anlatılmaktadır (YEAŞ, 2008).

Yatağan termik santral atıklarının, yöreye zarar vermeden depolanabilmesi için kül, cüruf gibi atıklar santralin yaklaşık 2 km güney batısında yer alan sahada depolanmaktadır. Depolanan atıkların çevreye yayılmasını önlemek amacıyla kül atıklar su ile karıştırılmaktadır. Böylece, su içinde çökelerek sert bir zemin oluşturan külün rüzgar ile uçuşması önlenmektedir. Atık depolama barajında 32.000.000 m³ atık depolanmaktadır. Ancak, atıklar su ile karıştırıldığından sert bir zemin oluşturan bu alanda sular toplanmış ve günümüzde 15.000.000 m³ bir atık su barajı niteliğine dönüşmüştür (Baba, 2006).

Santralde mevcut %99,2 verimle çalışan elektrofiltreler yardımıyla bacalardan kül çıkışı hemen hemen tümüyle önlenmektedir. Ancak santrale verilen kömürdeki kül oranının yüksek olması halinde % 35 kül oranına göre projelendirilmiş olan kül sevk tesisatında kapasite yetersiz kalmaktadır. Bu durumda önlem olarak ünitelerden yük düşülmekte ve böylece kül miktarı azaltılmaktadır. Ayrıca ünitelerin devreye alınış ve devreden çıkarılışları sırasında baca gazı sıcaklığı 135 °C'ye ulaşmadan elektrofiltreler devreye alınamadığı için yaklaşık 1-2 saat süre ile bacadan kül çıkışı önlenememektedir. Elektrofiltrede tutulan külün basınçlı hava yardımıyla gönderildiği ve konveyörlere verilmeden önce depolandığı yer olan kül silolarının artı basınçlı olarak dizayn edilmesi ve kül tutucu torbaların zaman zaman kirlenmesi ve tıkanması sonucu, silo içi basınç artmakta ve emniyet valfi açarak çevreye az miktarda da olsa kül yayılmasına sebebiyet vermektedir (YEAŞ, 2008).

Kül ve cüruf karışımının silolardan alındıktan sonra konveyörle gönderildiği yer olan kül stok sahasından, rüzgarın etkisiyle uçuşan külün çevre yerleşim birimlerine ve tarım alanlarına yayılması en önemli çevre sorunlarından birini oluşturmakta, dolayısıyla bu durumun önlenmesi için çeşitli önlemler alınmaya çalışılmaktadır. Öncelikle külün çevreye yayılmasını önlemek amacıyla kül stok sahasının toprakla örtülmesi işi ihale edilmiş, ilk etapta 180 dönümlük alan 60 cm kalınlığında toprakla örtülmüştür. Bu alanda gerek erozyonun önlenmesi gerekse doğal görüntünün sağlanması amacıyla 1992 baharında düz olan kısımlara 60000 adet ağaç dikilmiş ve eğitilmiş yüzeylere de korunga bitkisi ekilmiştir. Stoklanan külün çevreye

yayılmasını önlemenin bir diğer yolu ise külü su ile karıştırarak atmaktır. Su içinde çökerek sert bir zemin oluşturan külün rüzgar ile uçması zorlaşmaktadır. Bu amaca yönelik olarak projelendirilen ve ihale edilen kül barajının yapımı 1992 yaz mevsiminde tamamlanmıştır. Kül barajı için 450.000 m³ gövde dolgusu yapılmış ve dolgunun Yatağan tarafına korunga otu ekilmiştir. Kül barajının başlangıçtaki hacmi 1.700.000 m³'tür ve beş kademede kül serildikten sonra 32.000.000 m³ kül stoklanmış olması planlanmıştır (YEAS, 2008).

Alçı taşı ve külün su ile karıştırılarak kül barajına atılması için gerekli olan su, santralin evsel atık suları da dahil olmak üzere tüm atık sularından ve santral sahasından çıkan kaynak suyundan sağlanmaktadır. Külün su ile karıştırılarak atılması sırasında bir hat ile alınan bu su kül stok sahasında bulunan ağaçların ve bitkilerin sulanması için kullanılmıştır (YEAS, 2008).

Sıvı Atıklar: Santrale gerekli olan yumuşak suyun üretildiği su ön arıtma sisteminde atık olarak çıkan kireçli su karışımı önceleri mevcut iki büyük dinlendirme havuzunda bekletilmekte ve çökdikten sonra kuruyan kireç kamyonlarla atılmıştır. Zaman zaman kamyon veya kepçe temininde karşılaşılan güçlükler nedeniyle havuzlar kireçle dolmuş ve kireçli su karışımı dinlendirilmeden Yatağan deresine karışmıştır. 1992 yılı başlarından itibaren yapılan çalışmalar sonucu söz konusu kireçli su karışımının pompalarla doğrudan kül stok sahasına basılması ve külün sulu olarak atılmasında değerlendirilmesi sağlanmıştır. Bu şekilde bir çevre sorunu teşkil eden kireçli su izole edildiği gibi bir başka ihtiyacı da karşılaması mümkün olmuştur. Ancak miktar olarak kireçli su karışımı ünitelerden çıkan külün tümünün atılmasına yeterli olmadığı için, kül dağınının su ihtiyacını karşılamak amacıyla santral sahası içinde bulunan çeşitli kaynaklardan çıkan veya kaçaklardan oluşan yaklaşık 400 m³/saat debideki suyun santral dışına boşuna çıkıp gitmesini önlemek için bir yer altı boru hattı çekilmiştir. Bu iş için yapılan masrafları minimuma indirebilmek için santral sahası içinde atık durumda bulunan çeşitli variller uç uca kaynatılarak boru şekline getirilmiş ve gerekli topografik çalışmalar yapılarak suyun pompa kullanmadan kendi hareketi ile akışı sağlanmıştır (YEAS, 2008).

Bu şekilde elde edilen su, daha önce kireçli su dinlendirme havuzu olarak kullanılan büyük havuzlarda toplanarak ve dinlendirilerek yapılan yeni bir havuza

alınmaktadır. Bu yeni havuzdan pompa emişiyle alınan su ise hem kül stok sahasında külün sulu sistem ile atılmasında değerlendirilmekte hem de santral içerisinde ve kül stok sahasına dikilen ağaçların sulanmasında kullanılmaktadır. Ayrıca bu sudan kül silolarından bantlara alınan külün nemlendirilmesi için faydalanılmaktadır (YEAS, 2008).

2.6.2. Soma Termik Santralinin Tanıtımı

Soma'da 1913 yılından itibaren kömürün varlığı bilinmesine yalnız teshinde kullanılmasına rağmen ancak 1953'de santral kurulması gündeme gelmiştir. Bu nedenle 21 Ekim 1953 tarihli Bakanlar Kurulu Kararıyla 2x22 MW'lık Soma-A termik santralının kurulmasına karar verilmiştir (ETKB, 2012).

2.6.2.1. Yerleşim Bölgesinin Tanıtımı

Ege bölgesinin kuzeyinde bulunan Soma Manisa ilinin 16 ilçesinden biridir. Manisa'nın kuzeyinde İzmir ve Balıkesir ileri ile komşudur. İlçe, Ege bölgesinin kuzeyindedir. Denizden yüksekliği 175 metredir. Yerleşim olarak Yunt dağının uzantılarının eteklerinde kurulmuştur. Ancak, coğrafi yönden en büyük özelliği, Savaştepe fay hattı üzerinde yani Türkiye'nin en aktif fay hattı üzerinde bulunmasıdır. Deniz kıyısına olan bağlantısı, 40 km. uzaklıktaki Dikili üzerindedir. Bölge arazisinin büyük bölümü, dağlıktır. Özellikle, güney bölüm tepeler ve yüksek dağlarla çevrilidir.

2.6.2.2. Soma Termik Santralinin Kuruluş Amacı ve Yer Seçimi

1967 Yılında Soma'da yapılan araştırmalar sonunda kalitesi düşük, sanayi ve teshilde kullanılmayan kömürlerin tespiti nedeniyle 165 MW gücündeki ünitelerin yapılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla 165 MW gücündeki I.ve II. Üniteler Skodaexport, Metex ve Gama A. Firmaları tarafından inşa edilerek I.Ünite 1981, II.Ünite ise 1982, III.Ünite 1985, IV Ünite ise 1986 yılında, V ve VI Üniteler ise 1992 yılında devreye alınmıştır (SEAS, 2008). Şekil 2.21'de Soma-B termik santrali görülmektedir.



Şekil 2.21: Soma-B termik santrali (SEAS-1, 2012)

Santralin $2 \times 22 = 44$ MW gücündeki üniteleri 3500 kcal/kg kalorili, %27 küllü ve %22 rutubetli, 4×165 MW gücündeki 1-4 üniteleri ise 2400 kcal/kg kalorili, %32 küllü ve %21 rutubetli, 2×165 MW gücündeki 5-6 üniteleri ise 1550 kcal/kg kalorili, %52 küllü ve % 18,8 rutubetli kömürlere göre dizayn edilmiştir (SEAS-1, 2008).

Santral kazanlarında yakılan kömürler T.K.İ. Soma bölge müdürlüğü tarafından temin edilmektedir. Elektrik üretimi için ihtiyaç duyulan su $127.000.000 \text{ m}^3$ 'lük Sevişler barajından karşılanmaktadır. Santral elektrik üretiminde Türkiye'nin % 5'ni karşılamaktadır. Santralin kurulu gücü $165 \times 6 + 22 \times 2 = 1034$ MW'dır. Üniteler yıllık ortalama 6500 saat çalışmaları dikkate alınarak yılda 8.186.000 ton kömür yakılarak, 6.721.000.000 KWh elektrik enerjisi üretebilecek kapasitededir (SEAS, 2008).

Santralin ilk devreye alındığı 1953 yılından 31.12.2005 tarihine kadar; 140.297.371 ton kömür yakılarak 111.584.844.680 kWh elektrik enerjisi üretilmiştir. Santral işletme müdürlüğü olarak faaliyetini sürdürmekte iken TEK yönetim kurulunun 12.01.1993 Tarih, I-23 sayılı kararıyla $2 \times 22 = 44$ MW gücündeki Soma-A termik santrali Soma-B termik santrali işletme müdürlüğüne bağlanarak, Soma Termik Santrali İşletme Müdürlüğüne dönüştürülmüştür (SEAS, 2008).

Soma A santralının çevresinde yapılan ölçümlerde, Dünya Sağlık Örgütü'nün kabul ettiği sınırlara göre havadaki toz konsantrasyonu 10-30 misli fazla, SO_2 açısından 3-

4 misli fazladır. Asidik etki nedeniyle metal ve mermerden yapılmış tarihi eserlerin etkilendiği belirtilmektedir (Çağatay, 1997).

Soma termik santrali, Soma ve civarında üretilen 2500 kcal/kg ısı değerinden düşük kalorili kömürlerin yakılarak elektrik enerjisi üretmek, Batı Anadolu'nun elektrik ihtiyacının en kısa mesafeden karşılamak ve yörenin sosyal ve ekonomik yönden kalkınmasını sağlamak amacıyla, 1034 MW kurulu gücünde ve yıllık üretimi 7,45 milyar KWh olarak Manisa ili Soma ilçesine bitişik Bakır çayı vadisinde 12000 m²'lik bir alan üzerine kurulmuştur. Sekiz tane üniteye sahiptir. Santralin kömür ihtiyacı TKİ genel müdürlüğüne bağlı ELİ merkez bölgesinin Darkale ocaklarından sağlanmaktadır (SEAS, 2008).

Bölgede 2000-5000 kcal/kg ısı değerine sahip ocaklarından üretilen kömürler, I-IV. ünitelere %50'si bant - %50'si kamyon, V ve VI. ünitelere tamamı bant, VII ve VIII. ünitelere ise kamyonla nakledilmektedir. Kamyon nakliyatında kömürün santrale ulaşması için kat edilmesi gereken mesafe, bant nakliyatındaki 10 km yerine 30 km'dir. Elektrik üretiminde ihtiyaç duyulan su, kullanma hakkı tamamen şirkete ait 127000 m³ hacimli Seyisler barajından 80 cm çapında çelik borularla sağlanmaktadır. Soma termik santral tarafından yayınlanan rapora göre; 1998 yılında toplam 34.255.500 m³ su harcarken, 1999 yılında ise 40.868.500 m³ su harcamıştır. Kömür; 1600 ton/saat kapasiteli bantlar ve kamyonlarla santrale gelmekte kırma ve eleme tesislerinde 0-30 cm ebadında hazırlanarak stok sahasına serilmektedir. Kömür stok sahası santralin bir aylık kömür ihtiyacının karşılayacak durumdadır. Yıllık kömür ihtiyacı 7,2 milyon ton olan sistemde yanan kömür miktarının tespiti için radyoaktif kantarlar kullanılmaktadır. İkinci eleklerden ve kömür stok sahasından alınan kömür, bunkerlere her biri 800 ton/saat kapasiteli biri yedek, iki bantla taşınmaktadır. Bant uzunluğu 17,036 km'dir. Konveyör uzunluğu ise 8456,5 metredir. Kazanın temel dengesi için kömür bunkerleri her biri 500 m³ olarak dört ayrı köşeye yerleştirilmiştir. Her kazanda 37 ton/saat kapasiteli ve 550 KW gücünde 6 adet değirmen bulunmaktadır. Değirmenlerin 4 adedi direkt birer bunkerden, 2 adeti çift bunkerden beslenmektedir. Öğütülen kömür, değirmenin yarattığı hava akımı ile kazanın içine toz halinde püskürtülerek yakılmaktadır. Yanma sonucu meydana gelen küller gazla birlikte bacaya giderken %99 verimle çalışan elektrofiltreler yardımıyla tutulmakta ve cüruf ile elektrofiltrelerin alt çıkışından

alınıp su ile karıştırılarak (1/7,9 litre) su toplama havuzuna buradan da pompalar yardımıyla kül barajına pompalanmaktadır. Dolan baraj kademelerinin üzeri topraklanarak, düzgün tarım alanı haline getirilmektedir. Tablo 2.27’de Soma termik santralin 2007-2011’ yıllarda üretilen hizmetleri verilmektedir (SEAS, 2008). Tablo 2.28’de Soma termik santralinin teknik özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.27: Soma Termik Santrali’nin yıllık üretim miktarı
(Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2012)

Yıllar	Elektrik enerjisi üretimi (GWh)		
	Soma-A	Soma-B	Toplam
2007	292,2	4396,1	4688,1
2008	273,9	5208,4	5482,2
2009	300,3	4495,9	4795,9
2010	29,22	3867,7	3896,9
2011	-	5019,5	5019,5

Tablo 2.28: Soma Termik Santrali’nin teknik özellikleri (EÜAŞ, 2011)

KAZAN KARAKTERİSTİKLERİ		
Yapımcı Firma	SES TLMACE(Çek Cum.)	
Kazan Tipi	Tabii sirkilasyonlu – radyasyonlu tekrar kızdırıcı	
Ana Yakıt Yakıcı Sayısı (Değirmen)	1-4	/Ünite
	5-6	/Ünite
Yardımcı Yakıt Yakıcı Sayısı (Ünite)	1-4	/Ünite
	5-6	/Ünite
Ana Yakıt Kül Oranı	%	41
Ana Yakıt Nem Oranı	%	27
Kazan Verimi	%	87,83
TÜRBİN KARAKTERİSTİKLERİ		
Yapımcı Firma	SKODA (Çek Cumhuriyeti)	
Türbin Tipi	Üç kademeli kondenserli	
Türbin Verim	%	40
GENERATÖR KARAKTERİSTİKLERİ		
Yapımcı Firma	SKODA (Çek Cumhuriyeti)	
Generatör Tipi	Hidrojen Soğutmalı- Statik ikazlı	
Gücü	MVA	194,12
Gerilimi	KV	15
Frekansı	Hz	50
Generatör Verimi	%	98,6
Frekansı	Hz	50
İkaz Gerilimi Ve Akımı	KV	630 v - 2840 A
Soğutma Sistemi Tipi	Hidrojen	
Ana Trafo Yapımcı Firma	SKODA (Çek Cumhuriyeti)	
Ana Trafo Çevirme Oranı	KV	420 / 15 kV

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. UÇUCU KÜLLERİN KARAKTERİZASYONUNDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Bu çalışma kapsamında kullanılan numuneler Manisa Soma ve Muğla Yatağan termik santrallerinden temin edilen uçucu kül numuneleridir. Numuneler her iki santralin de elektrofiltrasyon bölümünden bir ay süreyle her vardiyada alınarak biriktirilmiştir. Karakterizasyon çalışmaların amacı; bu numuneler üzerinde bir dizi nem, tane boyutu, yoğunluk tayini, pH profili ölçümleri, zeta potansiyeli ölçümleri, mineralojik analizler, XRD, taramalı elektron mikroskobu (SEM) gibi deneyler yapılarak, sonuçlar ışığında küllerin farklı liç koşullarındaki çözünme davranışlarının araştırılmasıdır.

3.1.1. Numune Hazırlamada Kullanılan Cihazlar

3.1.1.1. Bilyalı Değirmen

Kül numunelerinin karakterizasyon çalışmalarına ve liç deneylerine hazırlanmasında boyut küçültmek amacıyla bilyalı değirmen kullanılmıştır. Bilyalı değirmen öncesi ve sonrası birkaç numunede tam kimyasal analiz yapılarak kontaminasyon durumu kontrol edilmiştir.



Şekil 3.1: Deneylerde kullanılan laboratuvar tipi Denver markalı bilyalı değirmen ve değirmen tahrik ünitesi

Denver markalı laboratuvar tipi bilyalı değirmenin teknik özellikleri:

Boy: 30cm

Çapı: 20cm

Bilya çapı: 2,5-2,8cm

3.1.1.2. Agat Öğütücü

Elementer analizler için numune hazırlamada Şekil 3.2’de görülen Retsch marka agat havan kullanılmıştır.



Şekil 3.2: Numune öğütmede kullanılan Retsch marka agat öğütücü

Retsch marka agat öğütücünün teknik özellikleri:

Besleme malzemesi: Yumuşak sert, kırılğan, lifli - kuru veya ıslak,

Malzeme besleme boyutu: <500 μm ,

Minimum malzeme çıkış boyutu: <1 μm ,

Kapasite: 50 gr/deney.

3.1.2. Fiziksel Analizler

3.1.2.1. Nem Analizleri

Bu çalışma kapsamında toplam nem (örneğin laboratuvara getirildiği durumda içerdiği nem) analizleri yapılmıştır. Analizler TS 690 ISO 598 (Metod-C) standardına göre yapılmıştır. Nem analizlerinde Memmert ULM500 etüv (Şekil 3.3) kullanılmıştır.



Şekil 3.3: Nem analizlerinde kullanılan Memmert ULM500 etüv

3.1.2.2. Tane Boyutu Analizleri

Uçucu küllerin tane boyutları öncelikle kullanılan kömürün öğütülme derecesine bağlıdır. Termik santrallerden alınan küller boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmadan orjinal halleri ile boyut analizine tabi tutulmuşlardır. Kül numunelerinin tane boyut analizlerinde yaş eleme yöntemi kullanılmıştır. Analizler TS ISO 2395 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Elek analizlerinde Retsch marka elek serisi kullanılmıştır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4: Tane boyutu analizlerinde kullanılan Retsch marka elekler

3.1.2.3. Yoğunluk Tayini

Tez kapsamında alınan uçucu kül numunelerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla piknometre ile yoğunluk analizleri yapılmıştır. Yoğunlukları belirlemek için 50 ml'lik piknometre kullanılmıştır. Tüm yoğunluk deneylerinde distile su kullanılmıştır.

Deney adımları şu şekildedir:

1. Numunenin tamamı 0,2 açıklığındaki bir elekten geçebilecek şekilde agat öğütücü ile öğütülür. Daha sonra numune 105 °C' da (24 saat) fırında kurutulur ve 1 saat desikatörde soğumaya bırakılır (Piknometre de 105 °C 'da 24 saat bırakılır).
2. Piknometrenin boş ağırlığı ölçülür (P_1).
3. Yaklaşık 5-7 gr numune piknometreye konularak tartılır (P_2).
4. Numunenin tam olarak ıslanması için saf su ile piknometrenin üstüne kadar çalkalayarak doldurulur ve tartılır (P_3).
5. Piknometre temizlendikten sonra ağzına kadar (üstüne kadar) saf su ile doldurulup tartılır (P_4).
6. Su yoğunluğu (P_w)

Mineral tane yoğunluğu
$$P_g = \frac{(P_2 - P_1) * P_w}{(P_4 + P_2) - (P_3 + P_1)} \quad (\text{Ateşok, 2004})$$

3.1.3. Kimyasal Analizler

3.1.3.1. X-Ray Fluorescence (XRF) Analizleri

X-ray fluorescence (XRF) katı, toz ve sıvı numunelerin içerdiği elemanların nitel ve nicel analizlerini yapmak için kullanılmaktadır. XRF berilyumdan uranyuma kadar olan elementlerin ppm seviyesinden %100'e kadar ölçümleri yapılabilmektedir. X-ışınları floresans spektroskopisi yöntemi ile kül örneklerinin nicel analizi yapılmaktadır. XRF analizi için örnekler, parçacık büyüklüğü 200 μm 'nin altında olacak şekilde (pudra) öğütülmektedir. Elde edilen pudra örnekten tablet hazırlanmaktadır. Bunun için yaklaşık 10 gr pudra örnek üzerine %5'lik polivinil piroolidon (bağlayıcı malzeme) çözeltisinden 10 damla damlatılarak homojenlik sağlanana kadar karıştırılmaktadır. Daha sonra alüminyum kapsüle konulmaktadır. Hidrolik preste 10-12 tonluk basınç uygulanarak tablet haline getirilmektedir. Bu tabletler 40-50 °C'de etüvde birkaç saat bekletildikten sonra analize hazır duruma getirilir ve standart kullanılarak Rigaku model X- Işınları floresans spektrometresi ile doğrudan derişim değerleri saptanabilmektedir (İAL, 2013).



Şekil 3.5: Rigaku model X- Işınları floresans spektrometre cihazı (İAL, 2013).

3.1.3.2. İndüktif Eşleşmiş Plazma- Emisyon Spektrometresi (ICP ES) ve İndüktif Eşleşmiş Plazma- Kütle Spektrometresi (ICP MS) Analizleri

Numunenin komple kimyasal analizi kapsamında; majör oksitlerin ve çeşitli minör elementlerin toplam içerikleri, 0,2 gr örnek üzerinde gerçekleştirilen ICP-ES (emisyon spektrometrisi) analizi, akabindeki lityum metaborat/tetraborat füzyonu ve seyreltik nitrik çözündürme işlemleri sonucu belirlenmiştir. Kızdırma kaybı ise

numunenin 1000 °C'ye ısıtılması sonrasında hesaplanan ağırlık değişimi ile bulunmaktadır (ACME, 2013).

Nadir toprak elementleri, iz element ve refrakter element içerikleri ise yine 0,2 gr örnek üzerinde gerçekleştirilen ICP-MS (kütle spektrometrisi) analizi, akabindeki lityum metaborat/tetraborat füzyonu ile nitrik asitte çözündürme işlemleri sonucu belirlenmiş ve raporlanmıştır (ACME, 2013).

Thermo Elemental X Series ICP-MS Cihazı direkt, hızlı ve uygun kütle aralığıyla çözültide eser element tayinine uygundur. Bir çok element için gözlenebilme sınırı ppb'nin altındadır. Birçok elementi tayin edebilme özelliği sayesinde kantitatif analizlerde ve izotop oranlarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Farklı derişime sahip elementlerin aynı anda tayinine olanak sağlamaktadır (İAL, 2013).



Şekil 3.6: İndüktif eşleşmiş plazma kütle spektrometresi (İAL, 2013).

3.1.3.3. pH Profili Ölçümleri

İz elementlerin su içindeki hareket kabiliyetleri büyük ölçüde pH'a bağlıdır. Uçucu kül suspansiyonlarının pH-profilini çıkartmak amacıyla %1 katı oranında suspansiyon hazırlanmıştır. Bunun için 1 g kül, pH'sı belirlenmiş 100 g saf su ile bir beher içerisinde manyetik karıştırıcı ile karıştırılmış ve bu işlem esnasında belirli periyotlarla süspansiyonun pH değerleri okunmuştur. Uçucu kül suspansiyonlarının pH-profilini ölçümleri Hanna HI221 markalı Microprocessor meter cihazı kullanılarak yapılmıştır (Özdemir, 2001).

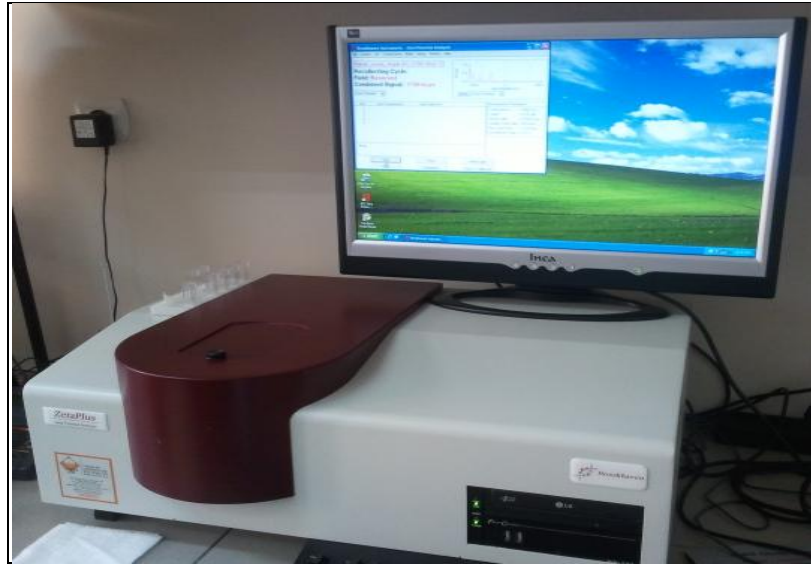
3.1.4. Elektrokimyasal Ölçümler

3.1.4.1. Zeta Potansiyeli Ölçümleri

Katı bir madde kırılıp su içine konulduğu zaman, su içinde başka iyonlar bulunmasa bile, katı maddeden suya geçen iyonlar ve suyu meydana getiren H^+ ve OH^- iyonları nedeniyle katı madde yüzeyi pozitif veya negatif işaretli bir elektrik yükü kazanır. Elektrik yüklü bir yüzey ile bunu çevreleyen ve çeşitli iyonları ihtiva eden çözeltinin birbirine nazaran hareketleri elektrokinetik olayları meydana getirir. Yüzey ve zetapotansiyeli, elektriksel çift tabaka, Stern düzlemi, yaygın ve çift tabaka gibi olaylar elektrokinetiğin temel elemanlarıdır. Zeta potansiyel, taneler arasındaki itme veya çekme değeri ölçümüdür. Zeta potansiyel ölçümü dağılma mekanizmaları ile ilgili ayrıntılı bilgi verir ve elektrostatik dağılma kontrolünün anahtarıdır. Zeta potansiyel değerini ölçmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Özdemir, 2001). Bu yöntemler şunlardır;

- Mikro elektroforetik yöntem,
- Elektroosmoz yöntemi,
- Akma potansiyeli,
- Çökme potansiyeli.

Şekil 3.7’de Zeta potansiyel ölçümlerinin yapıldığı Zeta Plus cihazı görülmektedir.



Şekil 3.7: Zeta potansiyel ölçümlerinin yapıldığı Zeta Plus cihazı

3.1.5. Mineralojik Analizler

Yatağan ve Soma termik santralleri uçucu küllerinin mineralojik yapısı hakkında bilgi edinilmesi amacıyla İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarında uçucu kül örneklerinin XRD (X-Ray Diffraction) analizleri gerçekleştirilmiştir. Uçucu külün yan ürünlerinin daha iyi belirlenmesi amacıyla uçucu kül numunelerinin boyuta bağlı olarak mikroskop fotoğrafları çekilmiştir. Mineralojik analizler kapsamında ayrıca SEM analizleri ve ince kesit çalışmaları da gerçekleştirilmiştir.

3.1.5.1. X-Ray Difraktometre (XRD) Analizleri

X-ışını kırınım yöntemi (XRD), her bir kristalin fazın kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak X-ışınları karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanır. Her bir kristalin faz için bu kırınım profilleri bir nevi parmak izi gibi o kristali tanımlar. X-ışını kırınım analiz metodu, analiz sırasında numuneyi tahrip etmez ve çok az miktardaki numunelerin dahi (sıvı, toz, kristal ve ince film halindeki) analizlerinin yapılmasını sağlar. X-ışını kırınım cihazıyla kayaçların, kristalin malzemelerin, ince filmlerin ve polimerlerin nitel ve nicel incelemeleri yapılabilmektedir (İAL, 2013).

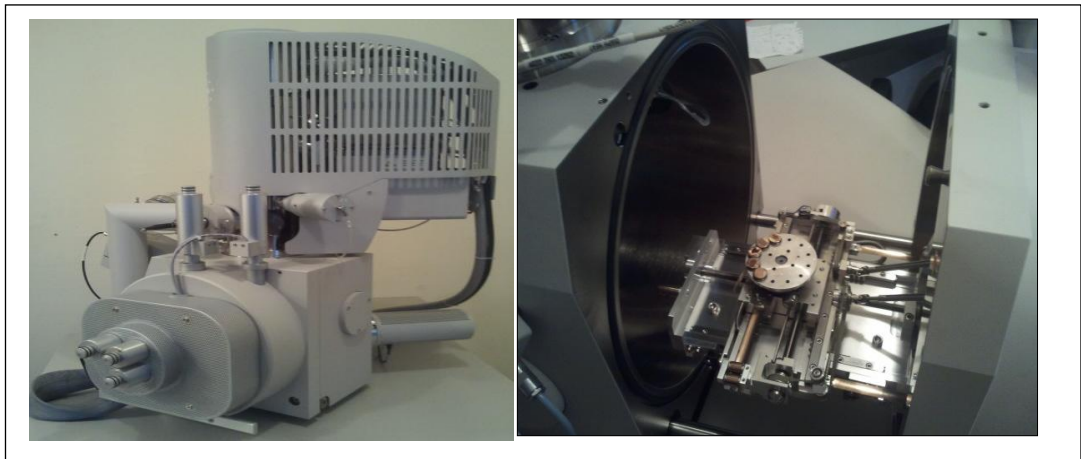
İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarı (İAL)’nda bulunan Rigaku D/Max-2200/PC XRD cihazı 200 Vac 3q 20 A/50 Hz güç kapasitesine sahiptir ve standart ve yüksek sıcaklık fırın üniteleri ile kullanılmaktadır. Cu kaynaklı (A4 1L-Cu / 60 kV, 2.0 kw) X ışını tüpü ve tüpün ani sıcaklık değişimlerini kontrol eden su soğutucusuna (Thermo NESLAB, M 100) sahip olan cihazda monokromatize X-ışını elde edilmesini sağlayan grafit monokromatör kullanılmaktadır. Maddenin X-ışını kırınım deseni verilerinin Jade 6.5 yazılım programında bulunan, PDF kart numaralarına sahip yaklaşık 120.000 civarında madde ile karşılaştırılması sonucu kalitatif mineral analizi yapılmaktadır. Cihazın yüksek sıcaklıkta ölçüm almasını sağlayan yüksek sıcaklık fırın ünitesi mevcuttur. Yüksek sıcaklık ünitesi sayesinde termal değişikliğe uğrayan çeşitli maddelerin faz diyagramları ve kristal yapı değişimleri gözlenebilmektedir (İAL, 2013).



Şekil 3.8: Max-2200/PC XRD cihazı (İAL, 2013).

3.1.5.2. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analizleri

Taramalı elektron mikroskobunda (SEM) görüntü, yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan çeşitli girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması ve sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. Modern sistemlerde bu algılayıcılardan gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir (İÜMM, 2013). Şekil 3.9'da Quanta FEG 450 markalı taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı görülmektedir.



Şekil 3.9: Quanta FEG 450 markalı taramalı elektron mikroskobu (SEM) cihazı

Quanta FEG 450 cihazın özellikleri:

Büyütme: x18' den x300.000' e kadar (136 kademe)

Yüksek voltaj: 0.5 ile 30 kV arası (53 kademe)

Görüntü modları:

- İkincil elektron görüntüsü
- Geri saçılmış elektron görüntüleri:
 - i. Kompozisyon görüntüsü
 - ii. Topografik görüntü
 - iii. Gölge görüntüsü

Görüntü: 640x480 piksel veya 1280x960 piksel

Görüntü formatları: BMP, TIF, JPG Görüntüleme fonksiyonları: Tek, ikili ve dörtlü kayıt

Numune Hazırlama: Mikroskopta bir seferde 10 mm yüksekliğinde 9 mm çapında 4 adet numune incelenebilmektedir. Mikroskopta yapılacak incelemelerde numuneler genellikle inorganik ve organik olarak iki grupta toplanabilir. Ayrıca inorganik numuneler de metal ve metal-olmayanlar şeklinde iki gruba ayrılabilir. Metal numuneler iletken oldukları için yüzeyleri kaplama yapılmadan incelenebilir. Ancak metal olmayan yalıtkan numunelerin yüzeyleri en fazla 20 mm mertebesinde iletkenliği sağlayan altın veya karbon ile kaplanması gerekmektedir. Karbon kaplama genellikle X-ışınları ile yapılacak analizlerde uygulanır. Mevcut sistemde her iki kaplama ünitesi de bulunmaktadır. Yüksek çözünürlüğe ve kontrasta sahip numune görüntüsü elde etmek için, incelenecek numuneler metal olsa bile yüzeylerine altın kaplama işlemi uygulanmaktadır. Organik numunelerin incelenebilmesi için numunelerin yüksek vakuma dayanıklı olması gerekmektedir (İÜMM, 2013).

Demet Numune Etkileşimi ve Sonuçları: Yüksek enerjili demet elektronları numune atomlarının dış yörünge elektronları ile elastik olmayan girişimi sonucunda düşük enerjili Auger elektronları oluşur. Bu elektronlar numune yüzeyi hakkında bilgi taşır ve Auger Spektroskopisinin çalışma prensibini oluşturur. Yine yörünge elektronları ile olan girişimler sonucunda yörüngelerinden atılan veya enerjisi azalan demet elektronları numune yüzeyine doğru hareket ederek yüzeyde toplanırlar. Bu elektronlar ikincil elektron olarak tanımlanır. İkincil elektronlar numune odasında bulunan sintilatörde toplanarak ikincil elektron görüntüsü sinyaline çevrilir. İkincil elektronlar numune yüzeyinin 10 nm veya daha düşük derinlikten geldiği için

numunenin yüksek çözünürlüğe sahip topografik görüntüsünün elde edilmesinde kullanılır (İÜMM, 2013).

3.2. LİÇ ÜNİTESİ

Lіç işlemlerinde Wise Bath marka karıştırılmalу su banyosu kullanılmıştır. Cihazın görünümü Şekil 3.10’da, teknik özellikleri ise Tablo 3.1’de görölmektedir. Liç işlemi sonrasında ise çözeltilere katı sıvı ayırımı uygulanmıştır. Katı sıvı ayırımında Whatman marka 4 µm açıklığа sahip 1 numaralı filtre kağıtları kullanılmıştır .



Şekil 3.10: Wise Bath WSB30 karıştırılmalу su banyosu

Tablo 3.1: Wise Bath WSB30 karıştırılmalу su banyosunun teknik özellikleri (Witeg, 2013)

Kapasite	30 Lit.
Isıtıcı Gücü	1,8 kW
Maks.Çalkalama Kap. (Erlen)	250 ml* 8 adet
Sıcaklık Aralığı	Oda sıcaklığı +5 °C’den 100 °C’ye kadar
Sıcaklık Hata Oranı	± 0,1 °C
Sıcaklık Üniformluk	± 0,5 °C
Sensör	PT100
Kontrol	Çevir+Bas Dijital Fuzzy Kontrol
Çalkalama Hızı	20 – 250 devir/dak.
Çalkalama Genliği	20 mm (Fabrika Ayarı)
Ekran	Arkadan Aydınlatmalı Dijital LCD
Zamanlayıcı	99 saat 59 dakika (Gecikme ve Devamlı Fonksiyonlu)
İç Malzeme	Paslanmaz Çelik
Dış Malzeme	Toz Kaplı Çelik
Raf	Evrensel Tip Paslanmaz Çelik Yay Raf
Boşaltma	Var
Güvenlik Aygıtları	Aşırı Isı ve Aşırı Akım Koruyucu, Sensör Hatası Algılayıcı



Şekil 3.11: Liç sonrası katı sıvı ayırımı işlemi

4. BULGULAR

Bu bölümde tez kapsamında deneylere esas olan numunelerin karakterizasyon çalışmalarının ve farklı koşullarda liç deneylerinin sonuçları verilmiştir. Tez çalışması kapsamında, Yatağan Termik Santralinden ve Soma Termik Santralinden kül numuneleri alınarak İstanbul Üniversitesi Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Laboratuvarları'na getirilmiştir. Çalışma kapsamında kimyasal analizler İstanbul Üniversitesi'nin İleri Analizler Laboratuvarı ve Kanada'daki ACME Laboratuvarları'nda yapılmıştır.

4.1. NUMUNELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ

Deneysel çalışmalara esas olan numunelerin fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla nem analizleri, tane boyut analizleri, yoğunluk tayini, pH profili ölçümleri ve zeta potansiyeli deneyleri yapılmış ve sonuçları sunulmuştur.

4.1.1. Nem Analizi Sonuçları

Deneylere esas olan numunelere orjinal nem içeriklerini kaybetmeden gerçekleştirilen nem analizlerinin sonucunda, Soma TS uçucu kül numunesinin toplam %3,27, Yatağan TS uçucu kül numunesinin ise toplam %4,21 nem içerdiği belirlenmiştir.

4.1.2. Tane Boyutu Analiz Sonuçları

Termik santrallardan alınan küller boyut küçültme işlemlerine tabi tutulmadan orjinal halleri ile boyut analizine tabi tutulmuşlardır. Kül numunelerinin tane boyut analizlerinde yaş eleme yöntemi kullanılmıştır.

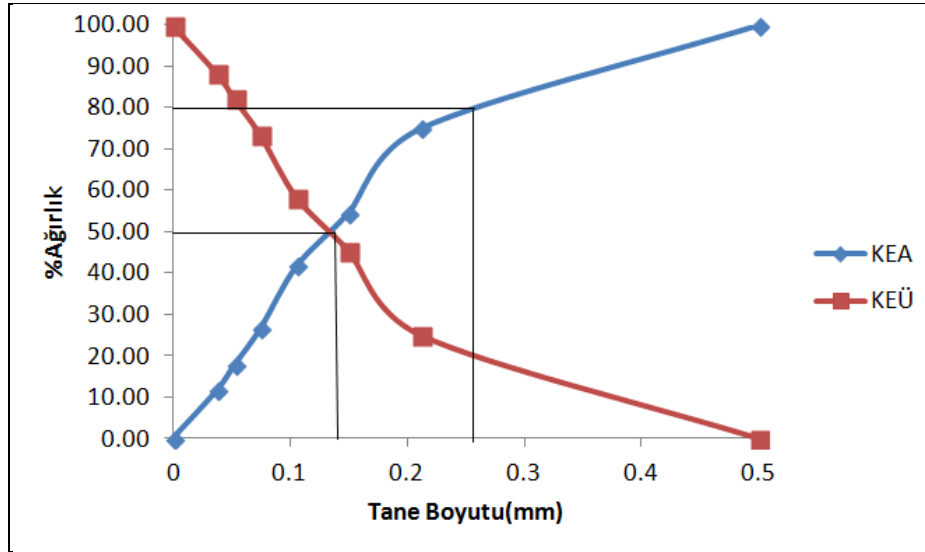
4.1.2.1. Yatağan TS Külünün Tane Boyutu Analizi Sonuçları

Yatağan TS numunesinin yaş elek analizi sonucunda elde edilen veriler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Yatağan TS külünün elek analizi sonuçları

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (%)	K.E.Ü.	K.E.A.
+0.212	24,97	24,97	100,00
-0.212+0.15	20,48	45,45	75,02
-0.15+0.106	12,76	58,21	54,55
-0.106+0.075	15,15	73,36	41,78
-0.075+0.053	8,71	82,08	26,63
-0.053+0.038	6,16	88,24	17,92
-0.038	11,76	100,00	11,76
Toplam	100,00		

Uçucu küllerin tane boyutları öncelikle kullanılan kömürün öğütülme derecesine bağlıdır. Bacada kullanılan filtre ve kullanılan yakıtın cinsi tane boyutunu etkileyen diğer faktörlerdir. Tablo 4.1’deki veriler kullanılarak oluşturulan ve Şekil 4.1’de verilen elek altı – elek üstü grafiklerinden d_{50} : boyutu 0.13 mm ve d_{80} : boyutu 0.27 mm olarak bulunmuştur (Şekil 4.1).

**Şekil 4.1:** Yatağan TS külünün kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği

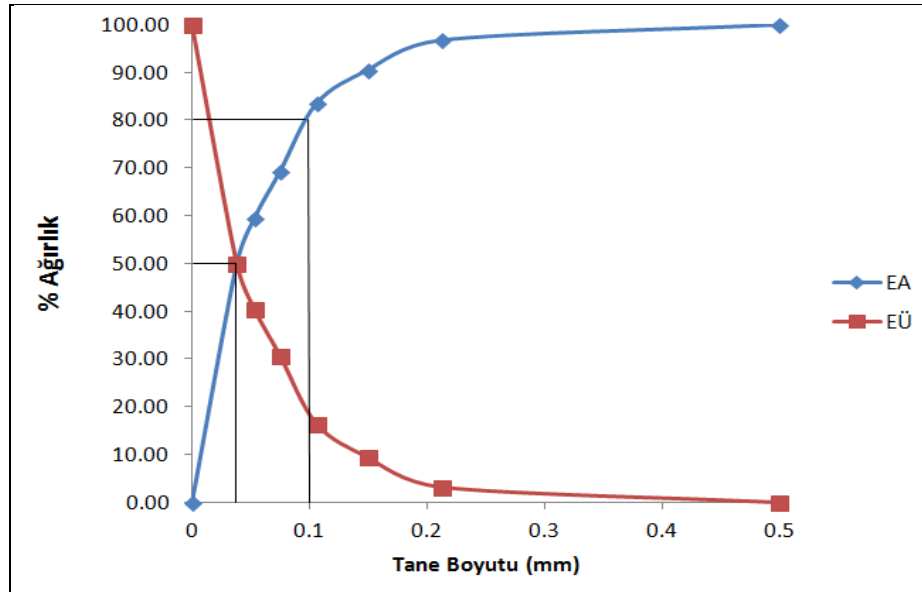
4.1.2.2. Soma TS Külünün Tane Boyutu Analizi Sonuçları

Tablo 4.2’de Soma TS külünün elek analizi sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.2: Soma TS külünün elek analizi sonuçları

Elek Aralığı (mm)	Ağırlık (%)	K.E.Ü.	K.E.A.
+0.212	3.23	3.23	100.00
-0.212+0.15	6.20	9.43	96.77
-0.15+0.106	7.06	16.49	90.57
-0.106+0.075	14.22	30.71	83.51
-0.075+0.053	9.86	40.57	69.29
-0.053+0.038	9.54	50.11	59.43
-0.038	49.89	100.00	49.89
Toplam	100.00		

Tablo 4.2’deki veriler kullanılarak oluşturulan ve Şekil 4.2’de verilen elek altı – elek üstü grafiklerinden d_{50} :boyutu 0.04 mm ve d_{80} :boyutu 0.10 mm olarak bulunmuştur.



Şekil 4.2: Soma TS külünün kümülatif elek altı ve elek üstü grafiği

Sonuç olarak yaş elek analizleri sonucunda elde edilen verilerden ve bu veriler kullanılarak oluşturulan elek altı ve elek üstü grafiklerinden Yatağan TS numunesinin d_{50} ve d_{80} boyutlarının sırasıyla 0.13 mm ve 0.27 mm, Soma TS numunesinin d_{50} ve d_{80} boyutlarının ise 0.04 mm ve 0.10 mm olduğunu bulunmuştur. Bu sonuçlar ışığında Yatağan TS numunesinin Soma TS numunesine göre daha iri boyutta olduğu görülmüştür.

4.1.3. Yoğunluk Tayini Sonuçları

Tez kapsamında alınan uçucu kül numunelerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla piknometre ile yoğunluk analizleri yapılmıştır.

4.1.3.1. Yatağan TS Külünün Yoğunluk Deneyi Sonuçları

P1= 15.19	P1= 15.19
P2=20.19	P2=20.19
P3=	P3= 42.69
42.75	$Pg = \frac{(20.19-15.19)*1}{(40.06+20.19)-(42.75+15.19)}$
P4= 40.06	P4= 40.06
Pg= 2.2	Pg= 2.14

P1= 15.19
P2=20.19
P3=
42.73
$Pg = \frac{(20.19-15.19)*1}{(40.06+20.19)-(42.73+15.19)}$
P4= 40.06
Pg= 2.18

Yapılan ölçümlerde hata payını azaltmak için her numunede deneyler üç defa tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlara göre Yatağan Termik Santrali külünün ortalama yoğunluğu 2.17 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

4.1.3.2. Soma TS Külünün Yoğunluk Deneyi Sonuçları

P1= 15.19	P1= 15.19
P2=20.19	P2=20.19
P3= 42.88	$Pg = \frac{(20.19-15.19)*1}{(40.06+20.19)-(42.88+15.19)}$
P3= 42.97	$Pg = \frac{(20.19-15.19)*1}{(40.06+20.19)-(42.97+15.19)}$
P4= 40.06	P4= 40.06
Pg= 2.29	Pg= 2.39

$$P1= 15.19$$

$$P2=20.19$$

$$P3= 42.94 \quad P_g = \frac{(20.19-15.19)*1}{(40.06+20.19)-(42.94+15.19)}$$

$$P4= 40.06$$

$$P_g= 2.35$$

Yapılan ölçümlerde hata payını azaltmak için her numunede deneyler üç defa tekrarlanarak ortalamaları alınmıştır. Yapılan deneylerin sonuçlara göre Soma termik santral külünün ortalama yoğunluğu 2.34 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

4.1.4. Numunelerin pH Profilleri

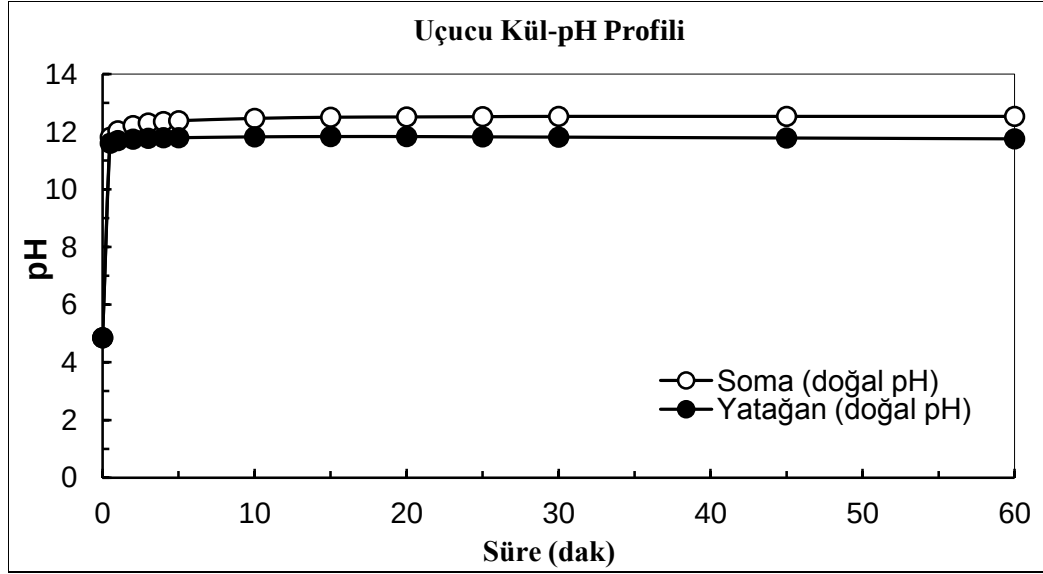
İz elementlerin su içerisindeki hareket kabiliyetleri büyük ölçüde pH'a bağlıdır (Doğan, 2007). Kül su sistemlerinin pH'ının statik olmadığı ve zamanla değiştiği göz önünde bulundurulmalıdır. pH'ı kontrol eden elementler suyun süzülmesiyle göç ettikçe hem asit hem de alkali küller doğala daha yakın pH değerleri gösterme eğilimine girmekte ve bazı elementlerin hareket kabiliyetlerini etkilemektedirler (Görhan, 2009).

Uçucu kül numunelerinin elektrokinetik özelliklerinin tespiti amacı ile ilk önce her bir numunenin su içerisindeki pH profili çıkarılmıştır. Buna göre her numunenin süreye bağlı pH değişimi incelenmiştir. Tablo 4.3'de her bir numunenin pH profilleri değerleri ve eğrileri görülmektedir.

Tablo 4.3: Yatağan ve Soma TS küllerinin saf su içerisinde süreye bağlı pH profilleri

Doğal pH		Doğal pH
Yatağan TS külü		Soma TS külü
Süre (dak)	pH	pH
0	4.85	4.85
0.5	11.60	11.81
1	11.69	12.03
2	11.74	12.21
3	11.77	12.30
4	11.79	12.35
5	11.79	12.38
10	11.82	12.46
15	11.83	12.50
20	11.83	12.51
25	11.82	12.52
30	11.81	12.53
45	11.78	12.53
60	11.75	12.53

Şekil 4.3’de Yatağan ve Soma TS’leri kül numunelerinin pH profilleri göstermektedir.



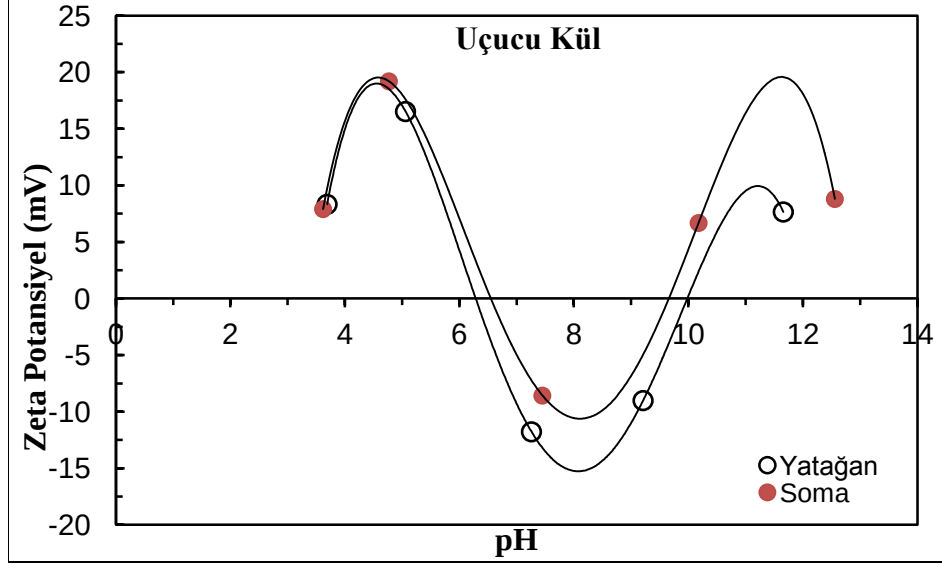
Şekil 4.3: Yatağan ve Soma TS küllerinin pH profilleri

Süreye bağlı olarak elde edilen uçucu kül numunelerinin su içerisindeki pH değerlerinin bazık olduğu görülmektedir. Bu bilgi daha önce yapılan Türk küllerinin pH değişimi ile ilgili çalışmalarda veriler ile örtüşmektedir. Genelde uçucu kül pH'si 8'in altına düşmez. Uçucu küller %2-3 oranında suda çözünürler. Oluşan çözelti, kalsiyum sülfat içerdiği için alkali tepkime vermektedir (Özdemir, 2003).

4.1.5. Zeta Potansiyeli Ölçümlerinin Sonuçları

Sıfır yük notalarının (syn) bulunması için, her bir numunenin zeta potansiyel ölçümleri pH'ya göre yapılmıştır. Zeta potansiyel grafiğinde görüldüğü üzere her iki TS kül numunesinin de tek bir sıfır yük noktası bulunmamaktadır. Her iki numunede de ölçüm alınan pH aralıklarında iki sıfır yük noktası gözlenmiştir. Yaklaşık olarak pH=6,5 ile pH=9,8 aralıklarında numunelerin yüzey yüklerinin negatif olduğu görülmektedir. Bunun nedeninin numunede bulunan amorf camsı silikatlardan ortama geçen Si^{+4} ve Al^{+3} veya Ca^{+2} gibi iyonların etkisi olduğu düşünülmektedir. pH< 6,5 ve pH> 9,8 durumlarında ise yüzey yükleri pozitif olmaktadır. Bunun neden ise 10 dan yüksek pH değerlerinde yüzey yükünün Ca^{+2} , Mg^{+2} ve Al^{+3} gibi iyonların etkisi sonucunda artması, pH=6,5dan düşük pH değerlerinde ise Si^{+4} iyonu etkisi ile yine yüzey yükünün pozitif değerlerde artmasına bağlanabilir. Uçucu küllerde çift sıfır yük noktası gözlenmesi durumu Özdemir ve Çelik (2002) tarafından da ortaya

konulmuştur. Buna göre zeta potansiyeli ölçümleri bu konu ile ilgili bulguları desteklemektedir. Şekil 4.4’de numunelerinin zeta potansiyel eğrileri görülmektedir.



Şekil 4.4: Yatağan ve Soma TS küllerinin zeta potansiyel grafiği

4.2. NUMUNELERİN MİNERALojİK ÖZELLİKLERİ

4.2.1. Soma ve Yatağan TS'lerine Beslenen Kömürlerin Mineralojik Özellikleri

Yatağan ve Soma bölgesine ait termik santrale beslenen kömürlerin mineralojik incelemeleri Tablo 4.4 ve 4.5’de verilmektedir.

Tablo 4.4: Yatağan TS’ne beslenen kömürlerin mineralojik özellikleri (Ateşok, 2004)

Mineraloji	Ocak	Kuvars	Kalsit	Pirit	Jips	Mika	Kaolinit	Klorit	Plj
İnor.Toplam (%29)	Bağyaka	10,85	8,18	4,46	2,83	1,10	0,63	0,63	0,32
İnor.Toplam (%33)	Eskihisar	13,43	1,94	9,38	1,13	0,97	2,91	2,91	0,33

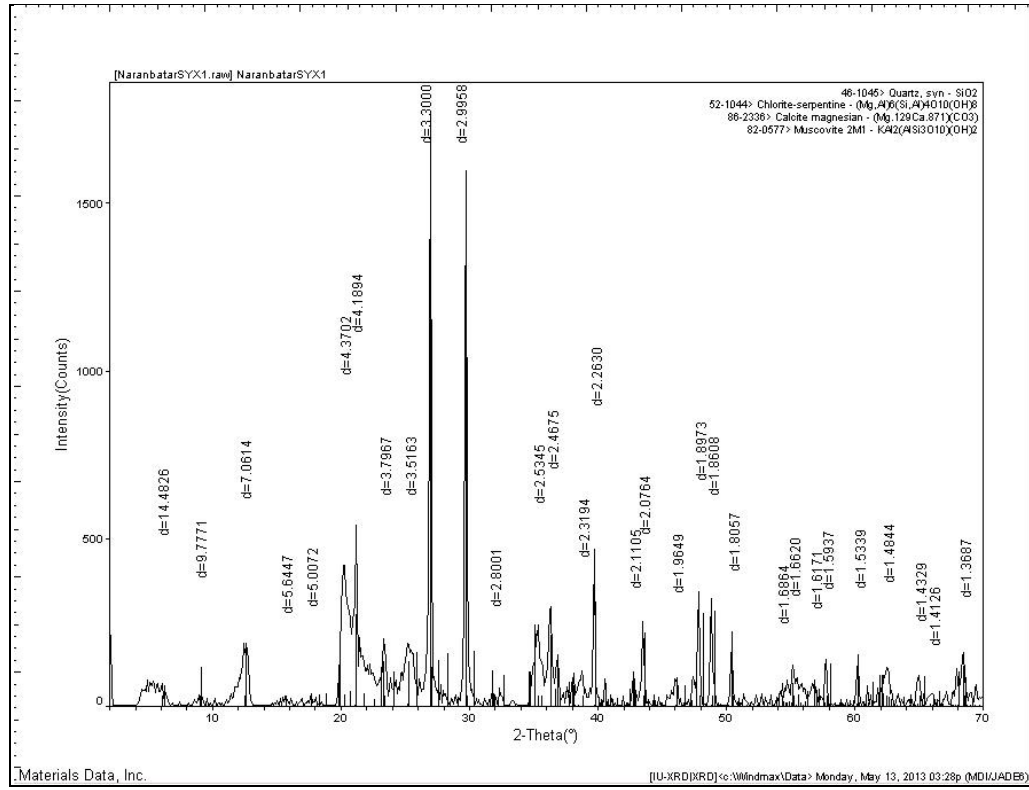
Tablo 4.5: Soma TS’ne beslenen kömürlerin mineralojik özellikleri (Ateşok, 2004)

Mineraloji	Ocak	Kuvars	Kalsit	Pirit	Jips	Mika	Kaolinit	Simektit	Plj
İnor.Toplam (%10)	Deniş 1	2,10	6,48	0,31	0,35	0,24	0,38	0,14	-
İnor.Toplam (%29)	Deniş 2	10,82	2,91	1,36	3,73	1,36	1,82	4,09	2,91

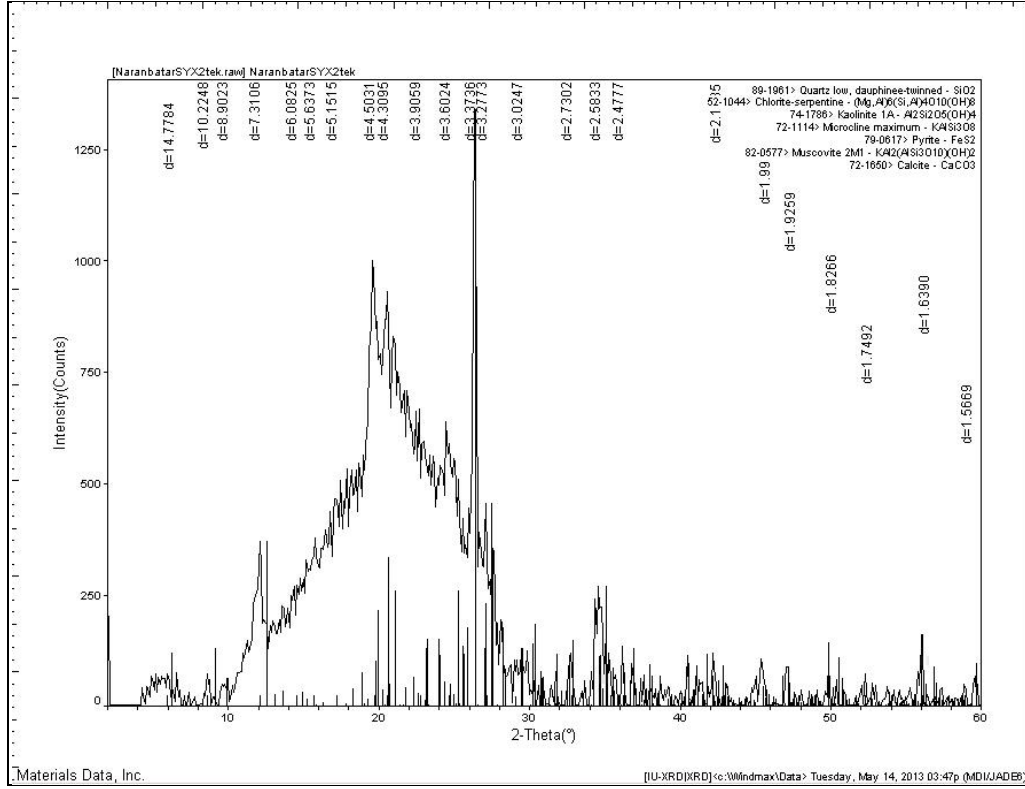
Yatağan TS’ne Bağyaka ocağından beslenen kömürde önemli inorganik mineral içeriği olarak %10,85 kuvars ve 6,48 kalsit dikkat çekmektedir. Eskihisar ocağından

beslenen kömürde ise %13,43 kuvars, %9,38 pirit, %2,91 kaolinit ve %2,91 klorit yüksek inorganik mineral içeriği olarak göze çarpmaktadır. Yine Soma TS'ne Deniz 1 ocağından beslenen kömürde önemli inorganik mineral içeriği olarak %2,10 kuvars ve %6,48 kalsit dikkat çekmektedir. Deniz 2 ocağından beslenen kömürde ise %10,82 kuvars, %2,91 kalsit, 3,73 jips ve %4,09 simektit inorganik mineral içeriği olarak göze çarpmaktadır. Sonuç olarak Yatağan TS'ne beslenen kömürlerin ortalama inorganik madde içeriklerinin Soma TS'ne nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir.

Yatağan TS ve Soma TS'lerine beslenen kilce zengin kömür numunelerinin XRD sonuçları Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



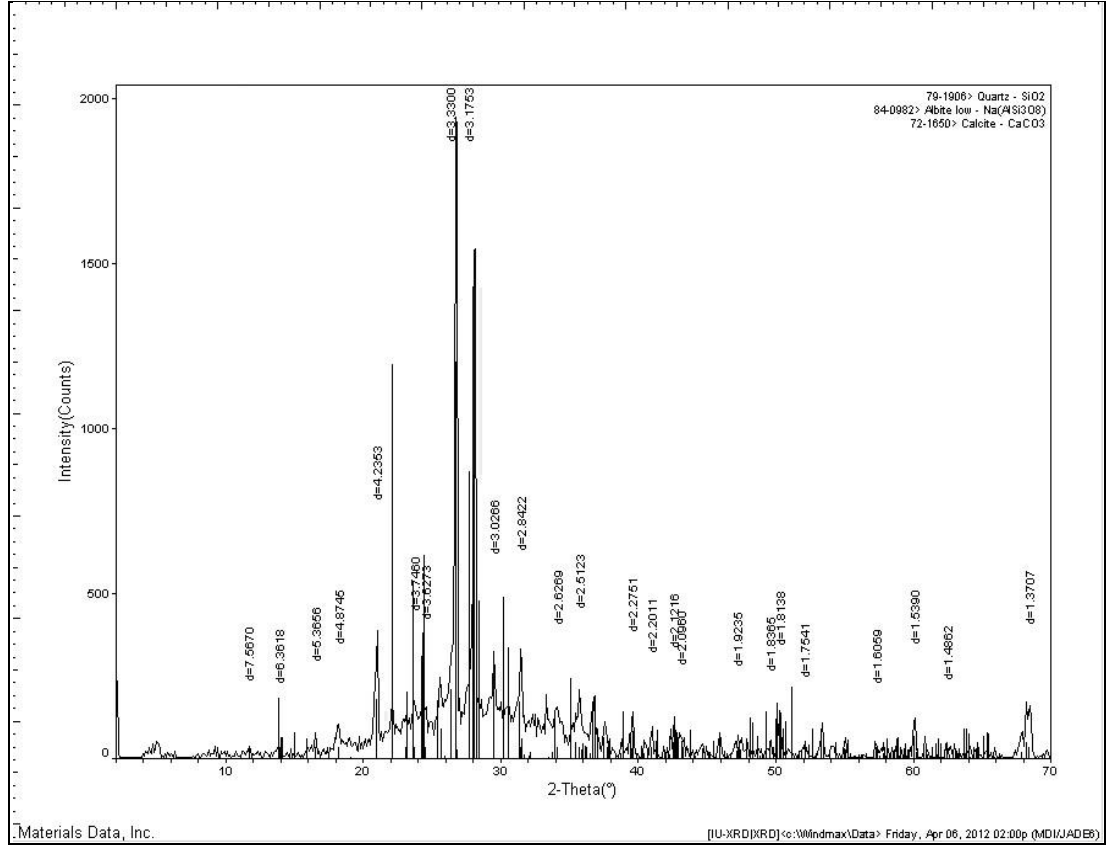
Şekil 4.5: Yatağan TS'ne beslenen kilce zengin kömür numunesinin XRD kırınım deseni



Şekil 4.6: Soma TS’ne beslenen kilce zengin kömür numunesinin XRD kırınım deseni

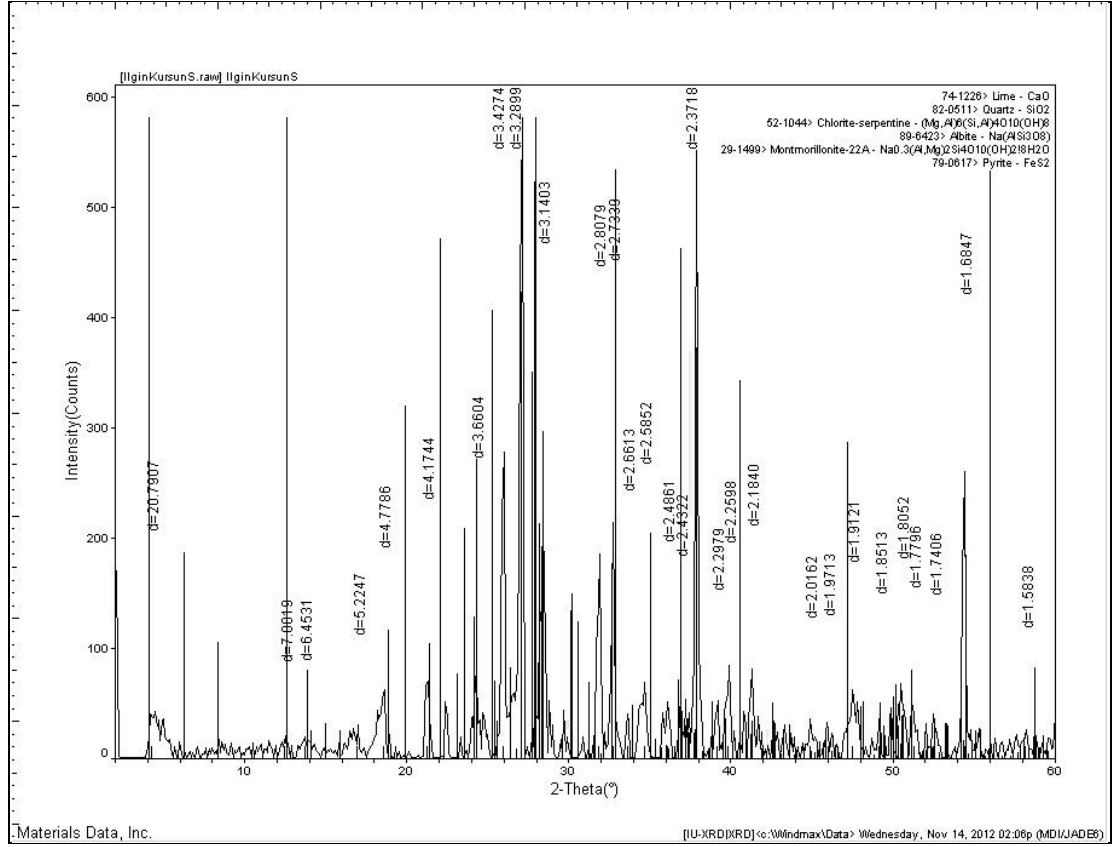
4.2.2. Soma ve Yatağan TS Küllerinin Mineralojik Özellikleri

Yatağan Termik Santrali uçucu küllerinin mineralojik yapısı hakkında bilgi edinilmesi amacıyla İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarında uçucu kül örneklerinin XRD (X-Ray Diffraction) analizleri gerçekleştirilmiştir. XRD ölçümü sonucunda Yatağan Termik Santrali’nden alınan uçucu kül numunesi yüksek oranda kuvars-SiO₂ ve nispeten daha düşük miktarlarda albit-Na(AlSi₃O₈), kalsit CaCO₃ minerallerini içerdiği belirlenmiştir. Her iki kül numunesinde de nadir toprak ve radyoaktif minerallerin XRD’de görülmesi mümkün olmamış, ancak ICP-MS ve SEM analizlerinde tespit edilebilmiştir. Yatağan termik santrali kül numunesinin XRD kırınım deseni Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7: Yatağan TS külünün XRD kırınım deseni

Soma termik santrali uçucu küllerinin mineralojik yapısı hakkında bilgi edinilmesi amacıyla İstanbul Üniversitesi İleri Analizler Laboratuvarında uçucu kül örneklerinin XRD (X Ray Diffraction) analizleri gerçekleştirilmiştir. Soma Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda numunenin kireç, kuvars-SiO₂, albit-Na(AlSi₃O₈), kalsit CaCO₃, klorit, serpantin, pirit, montmorillonit minerallerini içerdiği belirlenmiştir (Şekil 4.8).



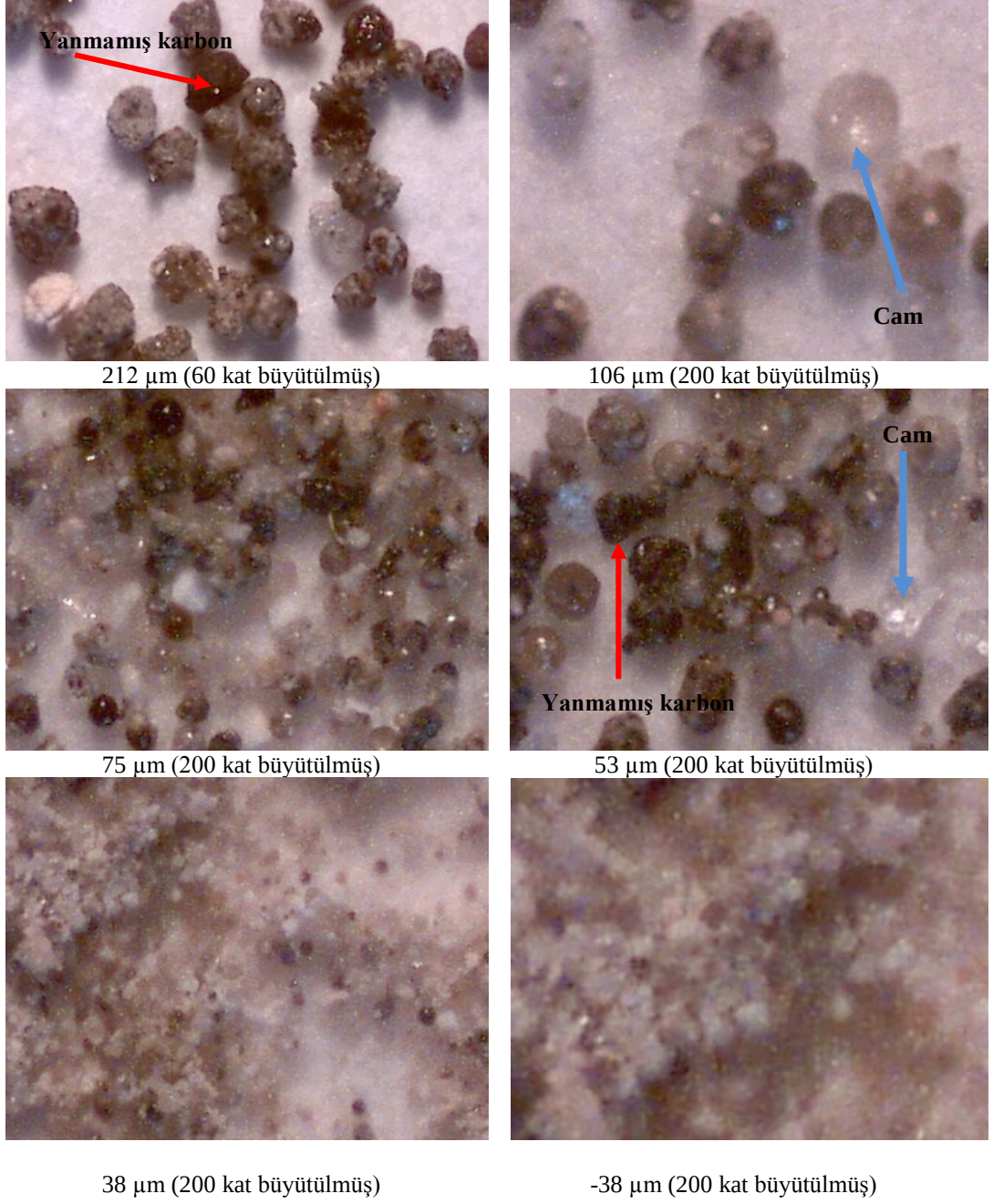
Şekil 4.8: Soma TS külünün XRD kırınım deseni

4.2.3. Uçucu Küllerin Optik Mikroskopta İncelenmesi

Elek analizi sonucunda elde edilen fraksiyonlar mineral kompozisyonlarının belirlenmesi amacıyla optik mikroskop altında incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. İncelemeler sonucunda her iki kül numunesinin de ağırlıklı olarak amorf ve camsı yapıda silikat mineralleri içerdiği gözlenmiştir. Bu da numunenin yakma ürünü olarak yüksek sıcaklıkta işlem görmesi ve buna bağlı olarak mineral içeriklerinin kristal yapılarının değişmesi ile açıklanabilmektedir.

4.2.3.1. Yatağan TS Küllerinin Mikroskop Fotoğrafları

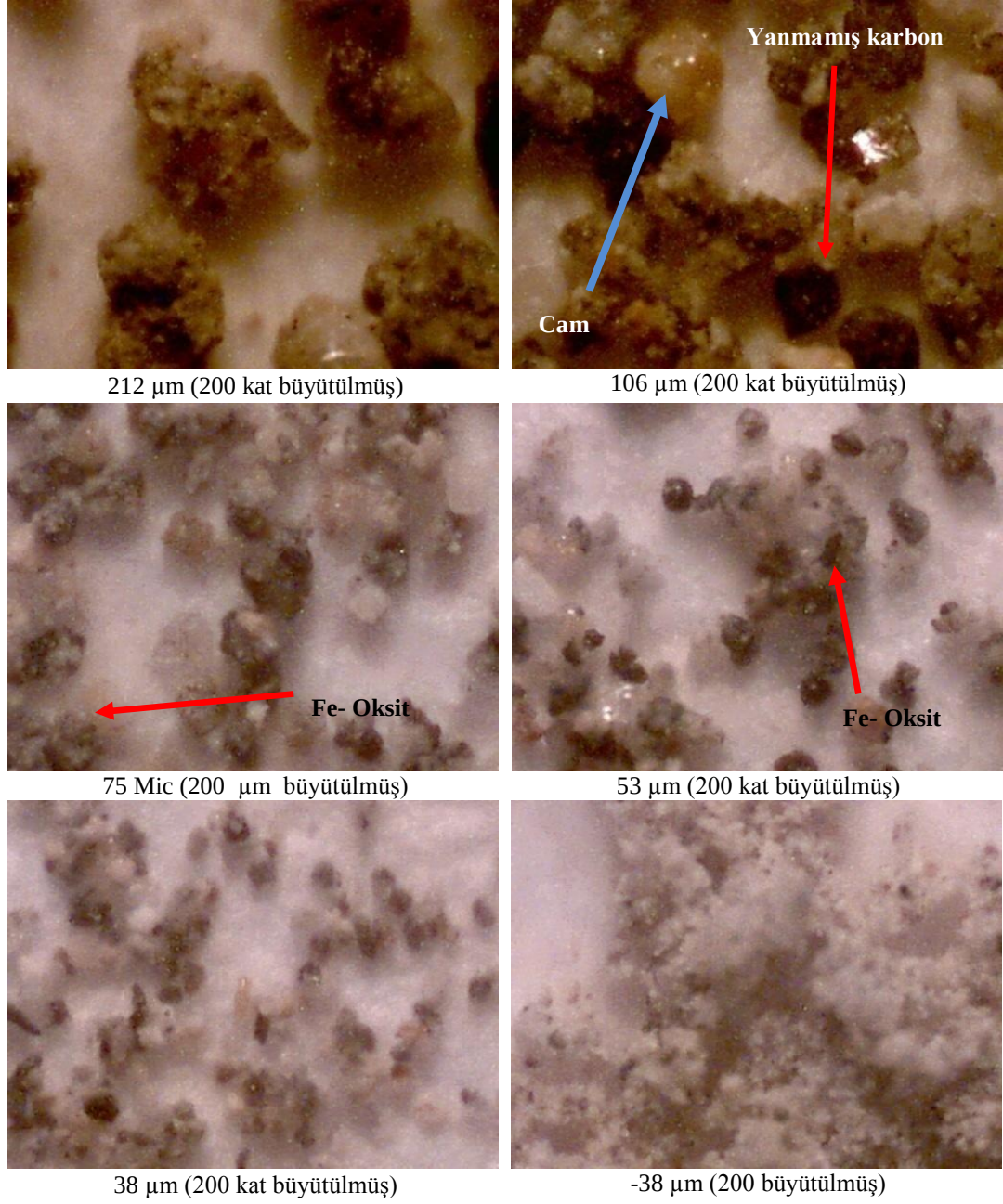
Şekil 4.9’da Yatağan TS küllerinin mikroskop fotoğrafları gösterilmektedir.



Şekil 4.9: Yatağan TS külünün mikroskop fotoğrafları

4.2.3.2. Soma TS Küllerinin Mikroskop Fotoğrafları

Şekil 4.10'da Soma TS küllerinin mikroskop fotoğrafları göstermektedir.



Şekil 4.10: Soma TS külünün mikroskop fotoğrafları

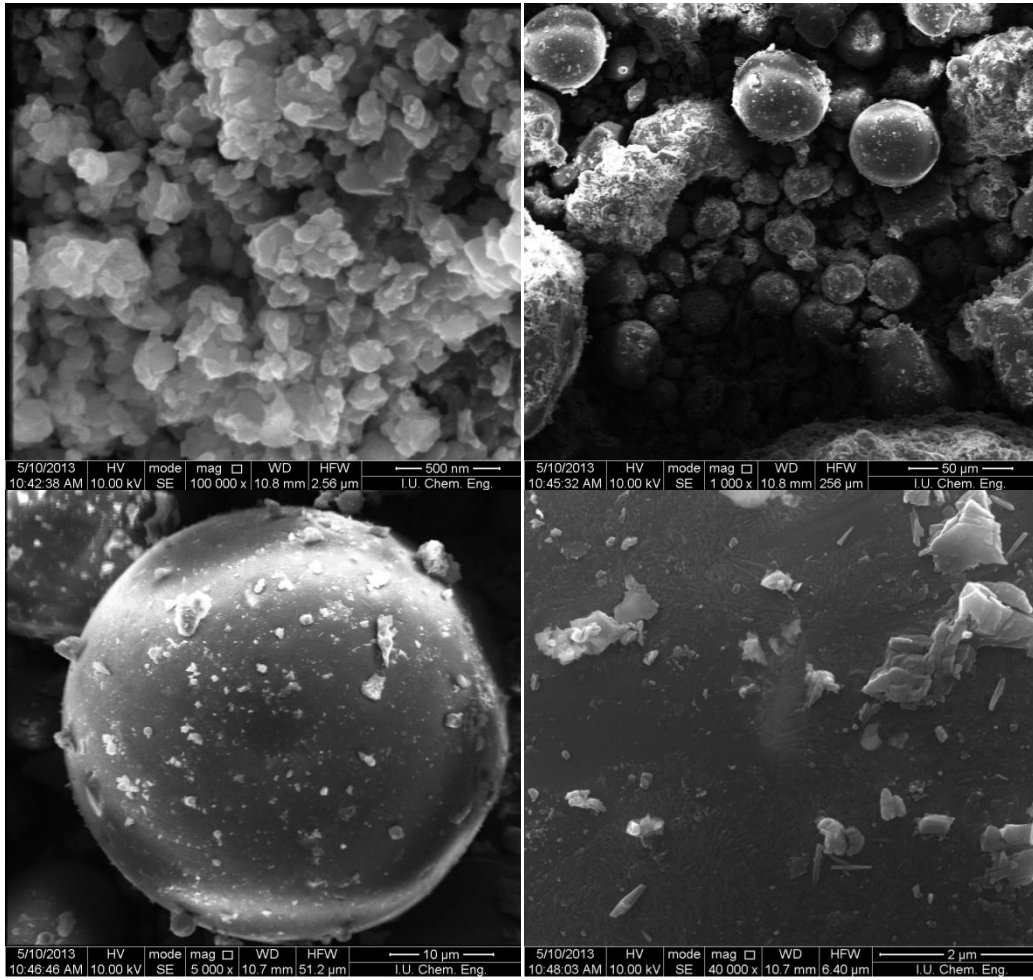
Mikroskobik çalışmalara göre, gerek Soma TS külünde gerekse Yatağan TS külünde amorf maddelerin (cam) en önemli kısım olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra özellikle Yatağan küllerinde hala yanmamış karbon parçacıkları da göze çarpmaktadır. Soma TS külünde ise Fe-oksit fazı dikkati çekmektedir. Uçucu

küllerdeki silisin bir kısmı kuvars kristalleri halinde, diğer bir kısmı ise alüminyumla birleşerek mullite (2SiO_2 , $3\text{Al}_2\text{O}_3$) dönüşmüş halde, geri kalanın ise camsı yapıda olduğu belirlenmiştir. Demir ise kısmen manyetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3) geri kalanın da camsı yapıda olduğu saptanmıştır.

4.2.4. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Analiz Sonuçları

4.2.4.1. Yatağan TS Külünün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları

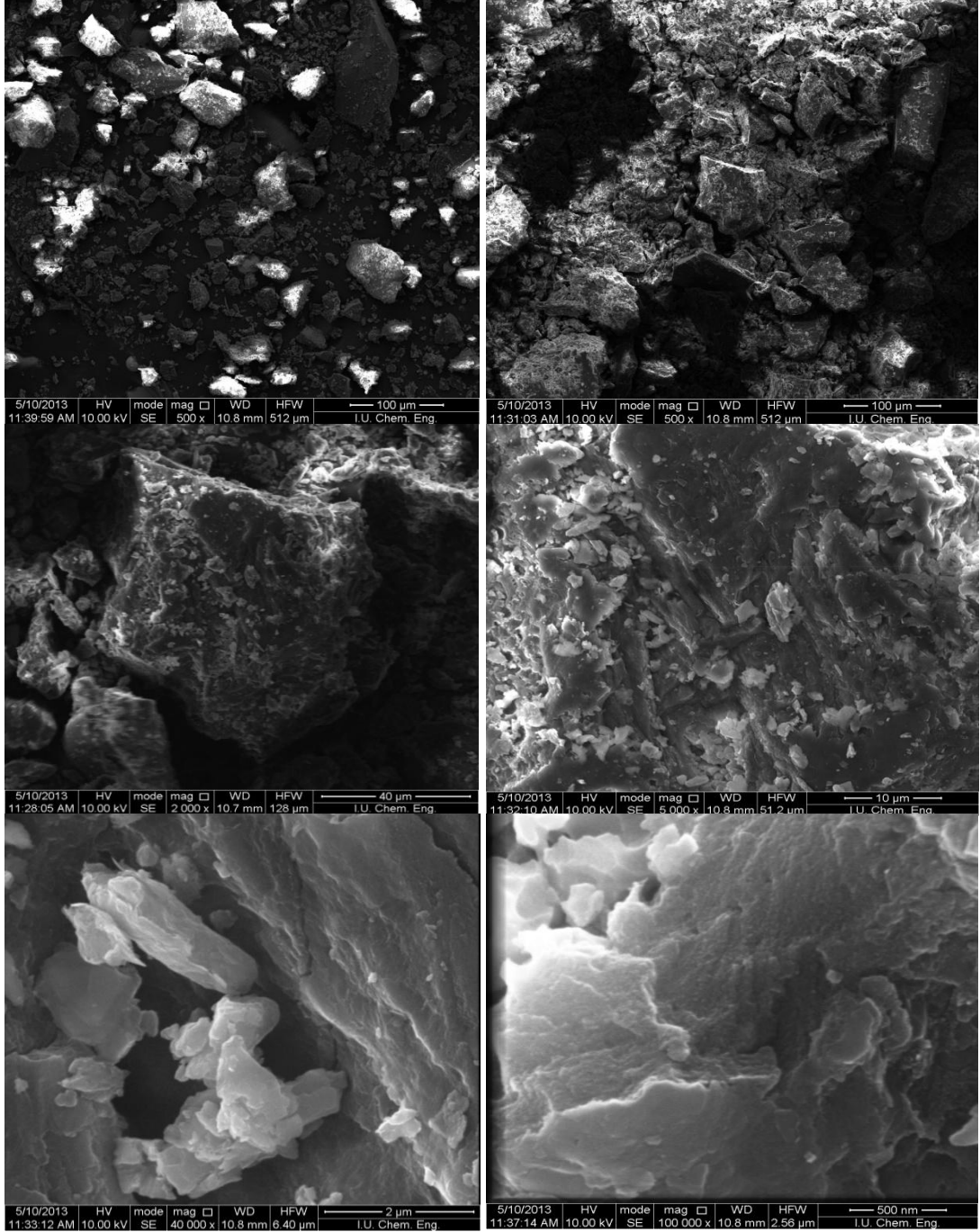
Yatağan TS uçucu külünün morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen (SEM) analizleri kapsamında elde edilen görüntüler Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11: Yatağan TS külünün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları

4.2.4.2. Yatağan TS'ne Beslenen Kömürün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları

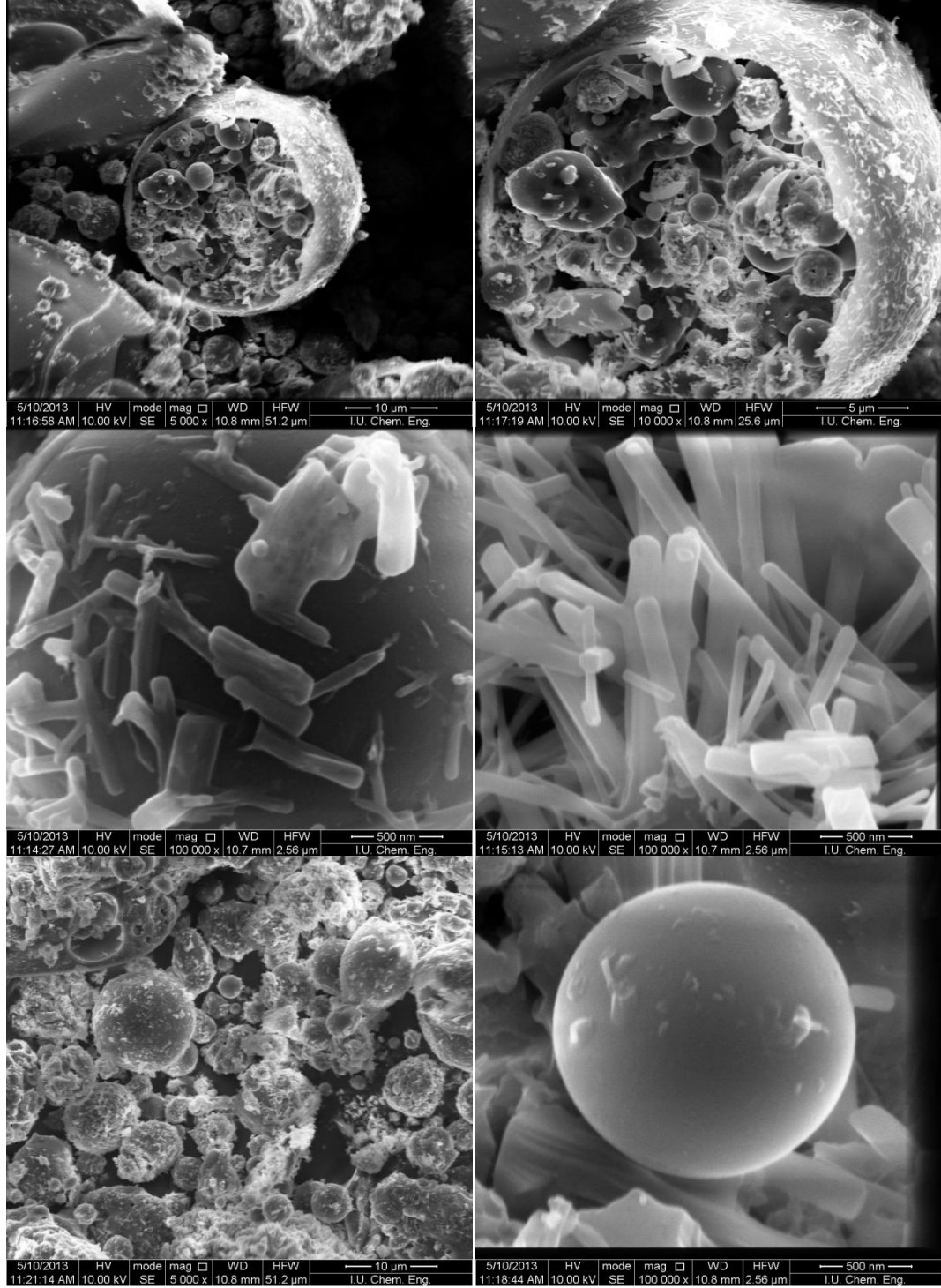
Yatağan TS'ne beslenen kömürlerin morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen (SEM) analizleri kapsamında elde edilen görüntüler Şekil 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.12: Yatağan TS'ne beslenen kömürün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları

4.2.4.3. Soma TS Külünün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları

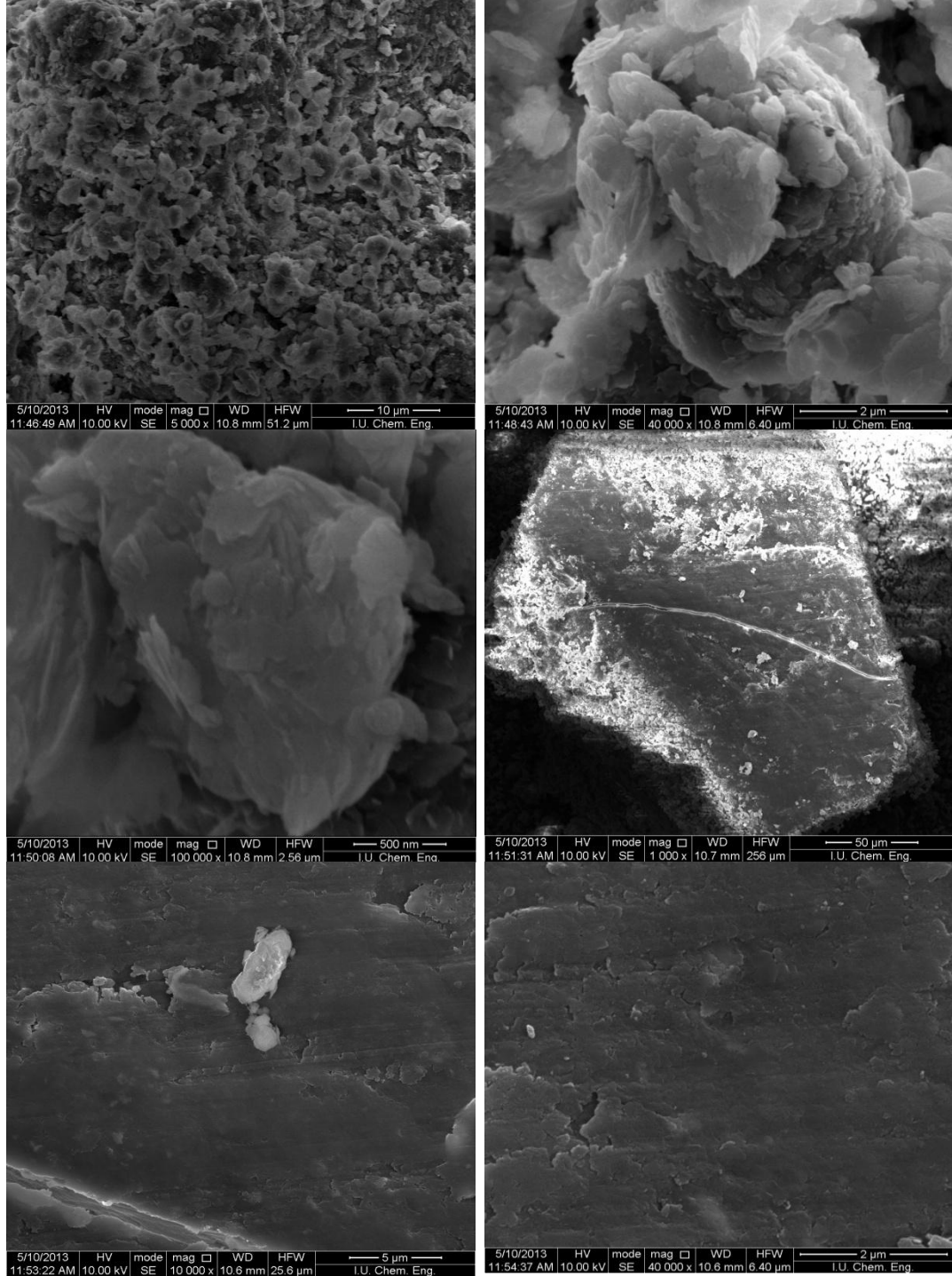
Soma TS uçucu küllerinin morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen (SEM) analizleri kapsamında elde edilen görüntüler Şekil 4.13’de verilmiştir



Şekil 4.13: Soma TS külünün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları

4.2.4.4. Soma TS'ne Beslenen Kömürün Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) Fotoğrafları

Soma TS'ne beslenen kömürlerin morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen (SEM) analizleri kapsamında elde edilen görüntüler Şekil 4.12'de verilmiştir.

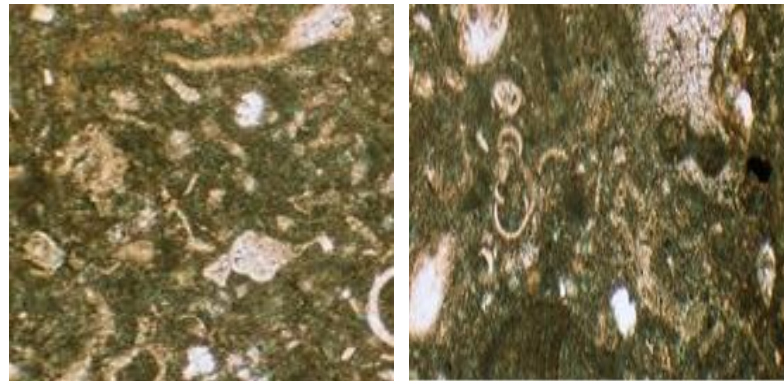


Şekil 4.14: Soma TS'ne beslenen kömürün taramalı elektron mikroskobu (SEM) fotoğrafları

Soma TS uçucu külü morfolojik (SEM) analizleri değerlendirildiğinde genellikle büyüklükleri farklı, değişken ve düzensiz küresel tanecikler gözlenmektedir. Her iki külde de yüzeylerde pürüzlü küresel ve yarı küresel yapı hakimdir. Her iki külde de mevcut köşeli taneciklerin kil tanecikleri olduğu görülmektedir. Yine köşeli yapıların bazıları yanmamış karbondur. Yarı küresel taneciklerin kaynağının ise, küresel yapıların parçalanması ve kil minerallerinin yanmasından sonra ergime sıcaklığının altında soğuması olabileceği düşünülmektedir. Yatağan külü homojen olmayan bir tane dağılımına sahiptir. Yatağan küllerindeki kuvars ve ortoklas mineralleri kömür kaynaklı olup, stabil kristal örgüleri nedeniyle yanmadan küle katılmışlardır. Yatağan külünde kül taneciklerinde aglomerasyona rastlanmıştır. Her iki kül numunesinde de yanmamış karbonlar (char) az oranda blok yapılı ve daha çok oranda ağ ve pelet yapılı olarak gözlenmiştir.

4.2.5. Uçucu Küllerin İnce Kesit Fotoğrafları

Yatağan ve Soma TS uçucu küllerinin ince kesit numunelerinin analizlerine göre Soma TS külünde uranyum uraninit (UO_2), toryum ise torit ($\text{Th}(\text{SiO}_4)$) formunda cam faz üzerinde mineralize olduğu düşünülmektedir. Yatağan TS külünde ise uranyum uraninit (UO_2), toryum ise monazit ((Ce, La, Nd, Th)[PO_4]) ve torit ($\text{Th}(\text{SiO}_4)$) formunda bulunduğu düşünülmektedir. Radyoaktif mineraller cam faz üzerinde dağılım göstermektedir. Soma TS külünde Uranyumda tane boyları 90-40 μm arasında değişirken toryumda ise 75-20 μm arasında değişmektedir. Yatağan TS külünde ise uranyum ve toryumda 80-5 μm arasında değişmektedir. Uçucu küllerin ince kesit fotoğrafları Şekil 4.15’de görülmektedir.



Soma TS

Yatağan TS

Şekil 4.15: Soma ve Yatağan TS küllerinin ince kesit fotoğrafları

4.3. NUMUNELERİN KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

4.3.1. Yatağan Termik Santrali Külü ve Kömürünün Kimyasal Analizi

Yatağan Termik Santrali külünün komple kimyasal analizi sonucunda belirlenen temel oksitler, baz metaller ve iz elementlerin içerikleri Tablo 4.6’da verilmiştir.

Tablo 4.6: Yatağan TS külünün komple kimyasal analiz sonuçları

Element		Element		Element	
SiO ₂ (%)	45.94	Y (ppm)	87.30	Ga (ppm)	20.10
Al ₂ O ₃ (%)	19.28	La (ppm)	66.00	Hf (ppm)	5.00
Fe ₂ O ₃ (%)	7.14	Ce (ppm)	134.10	Nb (ppm)	18.80
MgO (%)	4.43	Pr (ppm)	15.49	Rb (ppm)	104.50
CaO (%)	17.28	Nd (ppm)	61.60	Sn (ppm)	4.00
Na ₂ O (%)	0.57	Sm (ppm)	12.95	Sr (ppm)	406.40
K ₂ O (%)	1.93	Eu (ppm)	2.37	Ta (ppm)	1.20
TiO ₂ (%)	0.78	Gd (ppm)	13.20	Th (ppm)	210.00
P ₂ O ₅ (%)	0.24	Tb (ppm)	2.18	U (ppm)	160.00
MnO (%)	0.06	Dy (ppm)	13.35	V(ppm)	159.00
Cr ₂ O ₃ (%)	0.047	Ho (ppm)	2.76	W (ppm)	5.50
Ni (ppm)	117.00	Er (ppm)	8.14	Zr (ppm)	152.70
Sc (ppm)	19.00	Tm (ppm)	1.26	Pb (ppm)	9.40
K.Kayı (%)	3.00	Yb (ppm)	7.64	Zn (ppm)	58.00
Toplam (%)	99.74	Lu (ppm)	1.14	As (ppm)	34.00
Ba (ppm)	533.00	Toplam/C (%)	0.87	Cd (ppm)	0.68
Be (ppm)	4.00	Toplam/S (%)	0.43	Sb (ppm)	1.50
Co (ppm)	21.20	Mo (ppm)	9.80	Bi (ppm)	0.20
Cs (ppm)	9.40	Cu (ppm)	37.10	Ag (ppm)	<0.10
Tl (ppm)	0.30	Hg (ppm)	0.07	Au (ppb)	<0.50
Se (ppm)	2.000				

Yatağan Termik Santraline beslenen kömürün komple kimyasal analizi sonucunda belirlenen temel oksitler, baz metaller ve iz elementlerin içerikleri Tablo 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.7: Yatağan TS'ne beslenen kömürün komple kimyasal analiz sonuçları

Element	Element	Element
SiO ₂ (%)	7.79	Y (ppm)
Al ₂ O ₃ (%)	4.68	La (ppm)
Fe ₂ O ₃ (%)	0.88	Ce (ppm)
MgO (%)	0.47	Pr (ppm)
CaO (%)	2.86	Nd (ppm)
Na ₂ O (%)	0.05	Sm (ppm)
K ₂ O (%)	0.30	Eu (ppm)
TiO ₂ (%)	0.18	Gd (ppm)
P ₂ O ₅ (%)	0.08	Tb (ppm)
MnO (%)	0.02	Dy (ppm)
Cr ₂ O ₃ (%)	0.005	Ho (ppm)
Ni ppm	15.60	Er (ppm)
Sc ppm	6.00	Tm (ppm)
K.Kayı (%)	82.60	Yb (ppm)
Toplam (%)	99.92	Lu (ppm)
Ba (ppm)	147.00	Toplam/C(%)
Be (ppm)	2.00	Toplam/ (%)
Co (ppm)	3.90	Mo (ppm)
Cs (ppm)	2.50	Cu (ppm)
Ti (ppm)	<0.10	Hg (ppm)
Se (ppm)	1.10	
		Ga (ppm)
		Hf (ppm)
		Nb (ppm)
		Rb (ppm)
		Sn (ppm)
		Sr (ppm)
		Ta (ppm)
		Th (ppm)
		U (ppm)
		V (ppm)
		W (ppm)
		Zr (ppm)
		Pb (ppm)
		Zn (ppm)
		As (ppm)
		Cd (ppm)
		Sb (ppm)
		Bi (ppm)
		Ag (ppm)
		Au (ppm)

Tablo 4.7'de görülebileceği üzere numunenin V, Zr, Sr, U, Th ve Ba içerikleri özellikle yüksektir. Buna göre bu elementlerin elek fraksiyonlarına göre dağılımları belirlenerek Tablo 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.8:Yatağan TS külünde bulunan iz element içerikleri ve dağılımları

Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	V		Zr		Sr	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	162	26.07	142.5	23.43	371.4	23.36
150	20.47	159	20.96	135.1	18.20	397	20.46
106	12.76	165	13.56	140	11.76	411.1	13.21
75	15.15	164	16.00	153	15.25	396	15.11
53	8.71	163	9.15	178.1	10.21	408.4	8.96
38	6.16	153	6.07	188	7.62	403	6.25
-38	11.76	108	8.18	174.7	13.53	426.6	12.64
Toplam	100	157.21	100.00	153.92	100.00	397.83	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	U		Th		Ba	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	100.12	23.26	190.41	22.66	505	25.12
150	20.47	90.78	22.21	180.76	17.62	505	20.58
106	12.76	120.55	14.40	205.12	12.46	523	13.29
75	15.15	130.46	15.34	220.48	15.91	499	15.05
53	8.71	110.27	9.10	160.11	6.64	516	8.95
38	6.16	290.11	6.60	170.42	5.00	504	6.18
-38	11.76	420.24	9.09	210	19.71	462	10.82
Toplam	100	148.20	100	196.18	100.00	502.71	100.00

Tablo 4.8'in devamı

Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	SiO ₂		Al ₂ O ₃		Fe ₂ O ₃	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.
212	24.99	47.65	25.23	20.3	26.60	7.3	27.09
150	20.47	48.91	21.22	20.34	22.41	7.01	21.92
106	12.76	48.24	13.04	19.91	13.49	7.34	13.81
75	15.15	49.74	15.97	18.59	15.41	6.98	15.01
53	8.71	48.58	8.97	18.19	8.47	7.26	8.58
38	6.16	47.05	6.14	18.47	5.89	7.25	5.96
-38	11.76	37.82	9.43	15.8	7.73	7.08	7.64
Toplam	100	47.45	100.00	19.36	100.00	7.17	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	MgO		CaO		Na ₂ O	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.
212	24.99	3.15	23.06	14.01	20.89	0.52	18.49
150	20.47	3.5	20.99	14.33	19.45	0.59	19.53
106	12.76	3.7	13.83	15	13.42	0.68	15.52
75	15.15	3.6	15.98	14.96	15.46	0.68	17.88
53	8.71	3.68	9.39	15.67	9.52	0.65	10.52
38	6.16	3.78	6.82	16.62	7.33	0.63	7.86
-38	11.76	2.88	9.92	21.72	13.94	0.43	10.20
Toplam	100	3.44	100.00	15.78	100.00	0.60	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Sc		Be		Co	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	20	25.99	7	28.75	19.5	28.13
150	20.47	20	21.29	6	20.19	20.3	20.56
106	12.76	20	13.27	9	18.88	19.6	18.56
75	15.15	19	14.97	6	14.19	20.4	14.53
53	8.71	19	8.61	6	8.16	20.2	8.27
38	6.16	19	6.09	7	6.73	21.2	7.16
-38	11.76	16	9.79	2	3.09	17.9	2.78
Toplam	100	19.31	100.00	6.80	100.00	19.95	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Cs		Ga		Hf	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	9.9	27.70	22.4	30.58	4	29.17
150	20.47	9.4	21.54	20.3	21.55	4.3	22.10
106	12.76	8.8	12.57	19.2	11.89	3.9	11.06
75	15.15	8.1	13.74	18.2	12.32	3.8	11.17
53	8.71	8.6	8.39	19	7.85	5.1	9.55
38	6.16	8.4	5.79	19.9	5.68	5.2	7.05
-38	11.76	7.8	10.27	20	10.12	4.1	9.90
Toplam	100	8.99	100.00	20.39	100.00	4.23	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	La		Ce		Pr	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	65	26.43	130.9	27.48	15.51	28.69
150	20.47	64.3	21.42	132.2	22.49	15.62	23.65
106	12.76	65.3	13.56	130.4	14.04	15.26	14.42
75	15.15	59.4	14.64	120.9	14.06	14.12	13.37
53	8.71	59.5	8.43	125.4	8.40	14.33	8.10
38	6.16	58.5	5.86	123.5	5.75	14.4	5.58
-38	11.76	50.4	9.65	101.4	7.77	11.85	6.20
Toplam	100	61.81	100.00	126.52	100.00	14.93	100.00

Tablo 4.8'in devamı

Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Nd		Sm		Eu	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	60.6	25.67	12.99	26.58	2.43	27.76
150	20.47	60.5	21.00	13.39	22.41	2.39	23.02
106	12.76	62.8	13.59	13.24	14.34	2.47	15.22
75	15.15	59.4	15.26	11.94	14.52	2.28	14.23
53	8.71	58.7	8.67	11.86	8.19	2.26	7.96
38	6.16	54.7	5.71	12.7	5.78	2.24	5.57
-38	11.76	50.7	10.11	10.15	8.18	1.78	6.26
Toplam	100	59.20	100.00	12.62	100.00	2.34	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	K ₂ O		TiO ₂		P ₂ O ₅	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.
212	24.99	2.02	26.51	0.82	27.62	0.24	28.22
150	20.47	1.96	21.07	0.81	21.69	0.24	22.16
106	12.76	1.94	13.00	0.8	13.22	0.25	14.07
75	15.15	1.83	14.56	0.77	14.25	0.23	13.95
53	8.71	1.84	8.42	0.77	8.23	0.24	8.41
38	6.16	1.89	6.12	0.8	6.22	0.23	6.09
-38	11.76	1.67	10.32	0.67	8.78	0.19	7.10
Toplam	100	1.91	100.00	0.79	100.00	0.23	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	MnO		Cr ₂ O ₃		Ni	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	0.05	23.02	0.066	25.00	119	24.62
150	20.47	0.05	18.86	0.046	14.27	116	13.70
106	12.76	0.06	14.11	0.066	15.32	123	15.59
75	15.15	0.06	16.75	0.083	22.87	126	23.85
53	8.71	0.06	9.63	0.076	12.04	124	12.36
38	6.16	0.06	6.81	0.03	3.36	126	3.51
-38	11.76	0.05	10.83	0.04	7.13	108	6.37
Toplam	100	0.05	100.00	0.06	100.00	121.04	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Nb		Rb		Sn	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	19.4	26.84	113.8	28.86	3	16.47
150	20.47	18.9	21.42	110.5	22.36	3	12.77
106	12.76	18.6	13.14	106.1	13.17	2	5.01
75	15.15	17.4	14.59	97.1	13.39	11	28.03
53	8.71	18.2	8.78	98.7	8.18	4	6.23
38	6.16	17.2	5.87	101.9	5.65	7	7.52
-38	11.76	14.4	9.37	94.8	8.40	15	23.97
Toplam	100	18.19	100.00	106.32	100.00	8.43	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Ta		W		Y	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	1.2	25.51	5	26.28	84.9	26.62
150	20.47	1.2	20.89	4.6	19.80	87	20.55
106	12.76	1.5	16.28	4.9	16.44	87.6	17.18
75	15.15	1	12.89	5.3	14.07	81.7	13.72
53	8.71	1.1	8.15	4.8	8.06	85.6	8.23
38	6.16	1.2	6.29	5.8	7.51	83.8	7.51
-38	11.76	1	10.00	3.8	7.83	66.3	6.19
Toplam	100	1.19	100.00	4.90	100.00	84.18	100.00

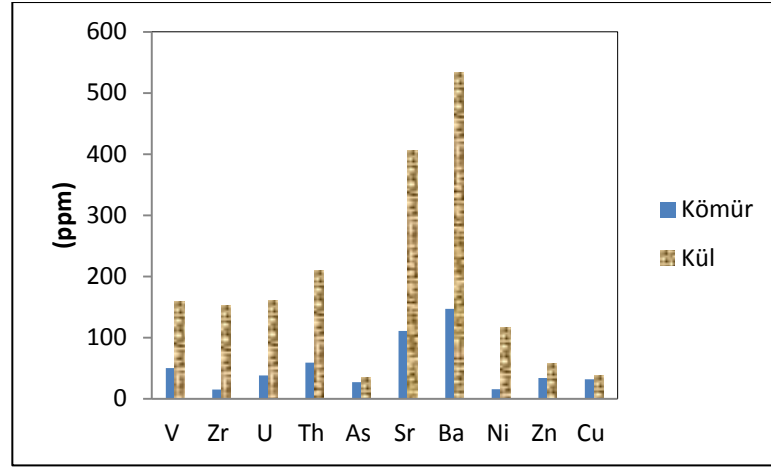
Tablo 4.8'in devamı

Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Yb		Cu		Mo	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	7.06	23.26	38.7	24.55	7.5	26.63
150	20.47	8.23	22.21	31.9	16.58	6.4	22.27
106	12.76	8.56	14.40	28.5	9.23	5.5	13.36
75	15.15	7.68	15.34	32.9	12.66	6.6	15.72
53	8.71	7.92	9.10	27.4	6.06	5.1	7.51
38	6.16	8.12	6.60	37.7	5.90	7.8	8.20
-38	11.76	5.86	9.09	83.8	25.02	5.7	6.31
Toplam	100	7.67	100.00	46.44	100.00	6.58	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Cd		Bi		Ag	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	0.2	12.03	0.2	26.34	0.1	26.34
150	20.47	0.1	2.81	0.1	8.39	0.1	8.39
106	12.76	0.1	1.32	0.1	2.24	0.1	2.24
75	15.15	0.2	5.98	0.1	5.32	0.1	5.32
53	8.71	0.2	2.45	0.2	3.06	0.1	3.06
38	6.16	0.5	11.39	0.2	5.05	0.1	5.05
-38	11.76	0.9	64.03	0.4	49.59	0.1	49.59
Toplam	100	0.68	100.00	0.28	100.00	0.10	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Hg		Tl		Tm	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	0.04	36.50	0.1	15.06	1.19	25.64
150	20.47	0.03	11.21	0.1	4.63	1.22	22.86
106	12.76	0.02	4.66	0.1	1.92	1.28	15.97
75	15.15	0.03	8.30	0.2	6.85	1.25	15.48
53	8.71	0.03	4.77	0.2	3.94	1.18	8.24
38	6.16	0.04	4.50	0.3	5.57	1.23	6.13
-38	11.76	0.07	30.06	0.5	62.03	0.95	5.68
Toplam	100	0.04	100.00	0.37	100.00	1.21	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Ho		Er		Gd	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	24.99	2.85	26.09	8.05	25.93	12.89	25.62
150	20.47	2.89	21.68	8.43	22.55	13.3	21.66
106	12.76	2.93	13.70	8.88	15.01	13.3	13.50
75	15.15	2.65	14.71	8.21	14.91	12.65	15.24
53	8.71	2.68	8.55	7.96	8.40	12.26	8.49
38	6.16	2.68	6.05	8.04	6.00	12.41	6.08
-38	11.76	2.14	9.22	6.32	7.19	10.05	9.40
Toplam	100	2.75	100.00	8.15	100.00	12.65	100.00

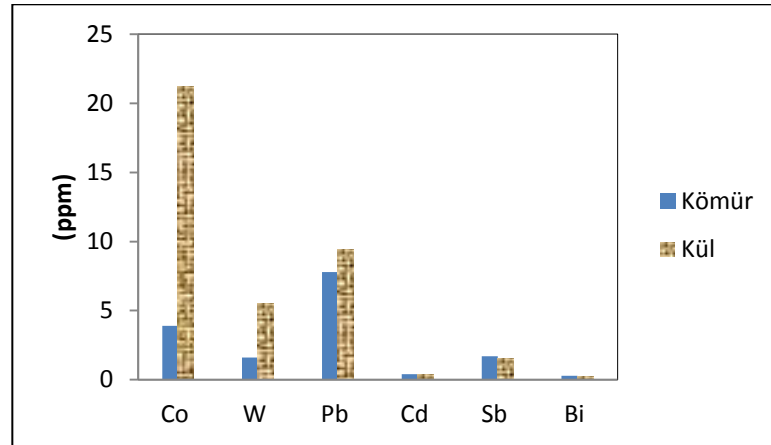
Tablo 4.8'e göre Yatağan TS külündeki toplam U içeriğinin %75.21'i 75 µm üzeri boyut fraksiyonlarında bulunmaktadır. En yüksek U tenörü ise 420.24 ppm ile -38 µm fraksiyonunda bulunmakta olup toplam uranyum içeriğinin %9.09'una karşılık gelmektedir. Toplam Th içeriğinin %68.65'i 75 µm üzeri boyut fraksiyonlarında bulunmaktadır. En yüksek Th tenörü ise 220.48 ppm ile -106+75 µm fraksiyonunda bulunmakta olup bu toplam uranyum içeriğinin %15.91'ine karşılık gelmektedir.

Diğer yüksek oranda bulunan elementler olan V, Zr, Sr, Ba ve Fe de U ve Th'a benzer dağılım göstermiş olup içeriklerinin sırasıyla %76.59, %68.64, %72.14, %74.04, %77.83'i 75 μm üzeri boyut fraksiyonlarında bulunmaktadır. Toplam Cd içeriği ise %64.03'ünün -38 μm fraksiyonunda bulunmasıyla dikkat çekmektedir.

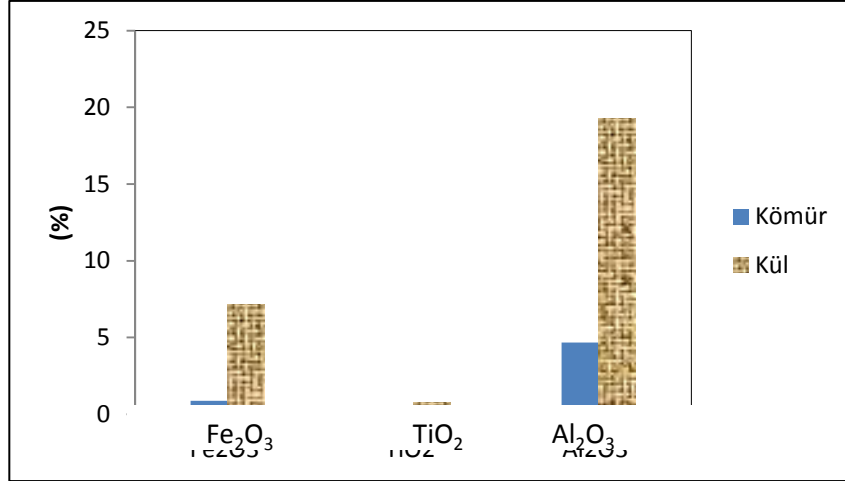
Kömürdeki elementlerin yakma sonrası davranışlarının görülmesi amacıyla santrallere beslenen kömürlerdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küllerdeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmaların grafiksel gösterimleri Yatağan TS için Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de verilmiştir.



Şekil 4.16: Yatağan TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (I)



Şekil 4.17: Yatağan TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (II)



Şekil 4.18: Yatağan TS’ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (III)

Şekil 4.16, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de verilen grafiklerde de görüldüğü üzere kömürden küle element geçiş değerleri:

- V: 50 ppm’den 159 ppm’e,
- Zr: 14,90 ppm’den 152,70 ppm’e
- As 27.00 ppm’den 34.00 ppm’e,
- Sr: 111.00 ppm’den 406.40 ppm’e
- Ba: 147.00 ppm’den 533.00 ppm’e,
- Ni: 15.60 ppm’den 117.00 ppm’e,
- Zn: 34.00 ppm’den 58.00 ppm’e,
- Cu: 31.90 ppm’den 37.10 ppm’e,
- Co: 3.90 ppm’den 21.20 ppm’e,
- W: 1.60 ppm’den 5.50 ppm’e,
- Pb: 7.80 ppm’den 9.40 ppm’e,
- Cd: 0.40 ppm’den 0.68 ppm’e,
- Sb: 1.70 ppm’den 1.50 ppm’e,
- Bi: 0.30 ppm’den 0.20 ppm’e,
- Fe₂O₃: % 0.88’den % 7.14’e,
- TiO₂: % 0.18’den % 0.78’e,
- Al₂O₃: % 4.68’den % 19.29’e değişim göstermiştir.

4.3.2. Soma Termik Santrali Külü ve Kömürünün Kimyasal Analizi

Soma Termik Santrali külünün komple kimyasal analizi sonucunda belirlenen temel oksitler, baz metallar ve iz elementlerin içerikleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9: Soma TS külünün komple kimyasal analiz sonuçları

Element	Element	Element	Element
SiO ₂ (%)	40.58	Y (ppm)	31.4
Al ₂ O ₃ (%)	20.16	La (ppm)	49.4
Fe ₂ O ₃ (%)	3.80	Ce (ppm)	82.3
MgO (%)	1.59	Pr (ppm)	10.23
CaO (%)	28.91	Nd (ppm)	39.8
Na ₂ O (%)	0.27	Sm (ppm)	6.69
K ₂ O (%)	1.41	Eu (ppm)	1.55
TiO ₂ (%)	0.63	Gd (ppm)	5.96
P ₂ O ₅ (%)	0.21	Tb (ppm)	0.85
MnO (%)	0.04	Dy (ppm)	4.96
Cr ₂ O ₃ (%)	0.015	Ho (ppm)	0.97
Ni (ppm)	49	Er (ppm)	2.88
Sc (ppm)	14	Tm (ppm)	0.40
K.Kayı (%)	2.1	Yb (ppm)	3.03
Toplam (%)	99.75	Lu (ppm)	0.44
Ba (ppm)	567	-	-

Soma Termik Santrali’ne beslenen kömürünün komple kimyasal analizi sonucunda belirlenen temel oksitler, baz metallar ve iz elementlerin içerikleri Tablo 4.10’da verilmiştir.

Tablo 4.10: Soma TS’ne beslenen kömürün komple kimyasal analiz sonuçları

Element	Element	Element	Element
SiO ₂ (%)	17.91	Y (ppm)	6.8
Al ₂ O ₃ (%)	7.26	La (ppm)	3.1
Fe ₂ O ₃ (%)	2.33	Ce (ppm)	6.2
MgO (%)	0.34	Pr (ppm)	0.81
CaO (%)	13.08	Nd (ppm)	16.4
Na ₂ O (%)	0.11	Sm (ppm)	2.85
K ₂ O (%)	0.77	Eu (ppm)	0.62
TiO ₂ (%)	0.2	Gd (ppm)	2.33
P ₂ O ₅ (%)	0.08	Tb (ppm)	0.39
MnO (%)	0.03	Dy (ppm)	2.16
Cr ₂ O ₃ (%)	0.005	Ho (ppm)	0.43
Ni (ppm)	9.4	Er (ppm)	1.32
Sc (ppm)	6.00	Tm (ppm)	0.2
K.Kayı (%)	57.3	Yb (ppm)	1.34
Toplam (%)	99.89	Lu (ppm)	0.19
Ba (ppm)	250.0	Toplam/C (%)	0.97

Tablo 4.10’da görülebileceği üzere numunenin V, Zr, Sr, U, Th ve Ba içerikleri özellikle yüksektir. Buna göre bu elementlerin elek fraksiyonlarına göre dağılımları belirlenerek Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11: Soma TS külünde bulunan iz element içerikleri ve dağılımları

Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	V		Zr		Sr	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	217	2.83	129.2	2.59	296.40	2.59
150	6.35	237	7.48	137	5.41	318.20	7.35
106	7.05	263	7.48	147	6.44	331.50	7.65
75	14.20	263	15.07	171	15.10	338.60	15.76
53	9.84	292	11.59	179.1	10.97	355.50	12.73
38	9.52	322	12.37	209.8	12.42	358.80	13.71
-38	49.81	222	43.20	151.9	47.06	307.90	40.22
Toplam	100	252.75	100.00	163.23	100.00	328.07	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	U		Th		Ba	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	95.66	21.18	100.12	18.41	456	2.71
150	6.35	150.43	27.28	90.78	21.51	457	5.33
106	7.05	120.11	13.58	140.21	16.53	506	6.56
75	14.20	90.76	12.18	146.66	15.52	508	13.27
53	9.84	100.12	7.72	130.75	8.77	546	9.88
38	9.52	105.22	5.74	120.78	6.02	647	11.33
-38	49.81	118.29	12.32	123.64	13.23	556	50.93
Toplam	100	117.00	21.18	118.99	100.00	547.74	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	SiO ₂		Fe ₂ O ₃		TiO ₂	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.
212	3.23	40.58	2.95	3.8	2.63	0.63	2.47
150	6.35	40.97	5.85	4.02	5.52	0.55	4.53
106	7.05	43.73	6.94	3.99	6.50	0.58	5.62
75	14.20	43.33	13.84	4.06	13.19	0.61	12.00
53	9.84	43.52	9.64	4.01	9.07	0.63	8.52
38	9.52	45.22	9.69	4.23	9.62	0.66	9.46
-38	49.81	45.59	51.09	4.46	53.48	0.72	57.41
Toplam	100	44.49	100.00	4.27	100.00	0.67	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Al ₂ O ₃		MgO		CaO	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.
212	3.23	20.16	3.15	1.59	2.64	28.91	3.57
150	6.35	18.15	5.57	1.64	4.83	22.69	5.11
106	7.05	18.9	6.44	2.21	7.52	22.34	7.84
75	14.20	19.31	13.26	1.85	12.95	22.45	13.58
53	9.84	19.39	9.23	1.98	9.64	21.91	9.87
38	9.52	19.97	9.20	1.88	9.12	20.79	8.86
-38	49.81	22.06	53.15	1.9	53.30	20.56	51.17
Toplam	100	20.77	100.00	1.90	100.00	21.52	100.00

Tablo 4.11'in devamı

Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Na ₂ O		K ₂ O		P ₂ O ₅	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.
212	3.23	0.27	2.82	1.41	2.86	0.21	2.75
150	6.35	0.31	6.37	1.28	5.85	0.2	5.36
106	7.05	0.36	8.22	1.33	7.84	0.2	7.18
75	14.20	0.35	16.09	1.35	15.58	0.21	14.98
53	9.84	0.31	10.19	1.25	9.65	0.21	8.83
38	9.52	0.31	9.55	1.35	9.25	0.22	9.32
-38	49.81	0.29	46.76	1.46	48.97	0.23	51.58
Toplam	100	0.31	100.00	1.39	100.00	0.22	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Na ₂ O		K ₂ O		P ₂ O ₅	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.
212	3.23	0.27	2.82	1.41	2.86	0.21	2.75
150	6.35	0.31	6.37	1.28	5.85	0.2	5.36
106	7.05	0.36	8.22	1.33	7.84	0.2	7.18
75	14.20	0.35	16.09	1.35	15.58	0.21	14.98
53	9.84	0.31	10.19	1.25	9.65	0.21	8.83
38	9.52	0.31	9.55	1.35	9.25	0.22	9.32
-38	49.81	0.29	46.76	1.46	48.97	0.23	51.58
Toplam	100	0.31	100.00	1.39	100.00	0.22	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	MnO		Cr ₂ O ₃		Ni	
		(%)	% Dağ.	(%)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	0.04	2.87	0.015	2.28	49	1.76
150	6.35	0.04	5.65	0.015	4.48	51	3.61
106	7.05	0.04	6.27	0.016	5.30	74	6.20
75	14.20	0.04	12.63	0.017	11.35	66	11.84
53	9.84	0.04	8.75	0.025	11.57	68	12.43
38	9.52	0.04	8.47	0.021	9.40	65	9.66
-38	49.81	0.05	55.37	0.019	55.62	62	54.50
Toplam	100	0.045	100.00	0.019	100.00	63.63	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Sc		Be		Co	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	14	3.01	3	2.16	11.3	1.93
150	6.35	13	5.49	3	3.94	10.8	3.37
106	7.05	14	6.57	5	7.84	10.9	6.78
75	14.20	14	13.23	7	22.11	12.3	21.59
53	9.84	14	9.17	4	8.76	12.2	8.48
38	9.52	15	9.50	2	4.54	11	3.96
-38	49.81	16	53.03	4	50.66	13.4	53.88
Toplam	100	15.10	100.00	4.59	100.00	12.67	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Cs		Ga		Hf	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	36.5	3.16	20.4	3.25	4.8	3.19
150	6.35	29.8	5.08	17.7	4.53	3.7	3.42
106	7.05	31.5	5.96	17.2	5.17	3.3	3.48
75	14.20	31.8	12.12	17.9	10.94	3.8	8.48
53	9.84	33.2	8.77	18.4	8.13	4.7	7.80
38	9.52	32.2	8.23	19.2	7.96	4.6	7.48
-38	49.81	42.4	56.68	21	60.01	5.4	66.14
Toplam	100	37.99	100.00	19.94	100.00	5.00	100.00

Tablo 4.11'in devamı

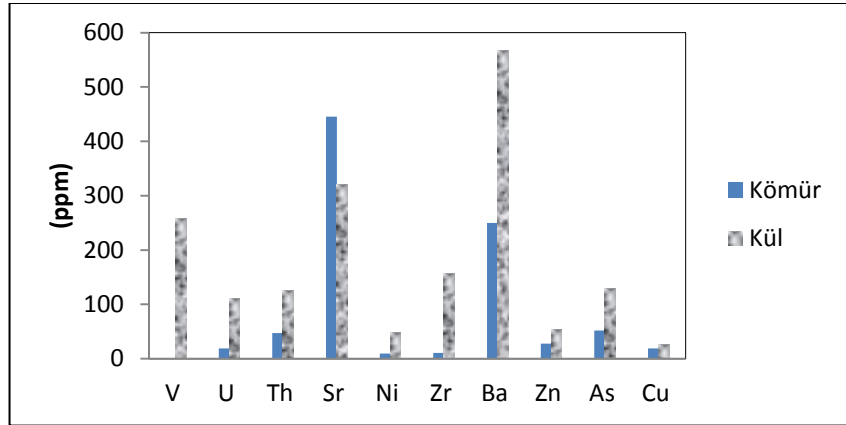
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Nb		Rb		Sn	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	15.6	2.73	87.6	2.71	3	2.29
150	6.35	13.1	4.50	74.1	3.79	2	2.14
106	7.05	14.4	5.50	76.9	4.80	4	5.41
75	14.20	15.5	11.91	79.4	10.74	3	9.08
53	9.84	16.1	8.58	77.9	7.59	3	6.41
38	9.52	17.1	8.81	82	8.21	2	4.62
-38	49.81	21.5	57.97	94.4	62.16	4	70.04
Toplam	100	19.00	100.00	88.72	100.00	3.69	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Ta		W		Y	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	1	2.63	3	2.75	31.4	2.42
150	6.35	1.1	5.68	1.8	3.56	28.6	2.86
106	7.05	1.1	6.31	2	4.39	28.8	3.55
75	14.20	1.2	13.86	2.8	13.52	30.6	11.61
53	9.84	1.1	8.80	2	6.13	29.8	5.13
38	9.52	1.3	10.06	2.6	9.12	31.1	7.96
-38	49.81	1.3	52.66	3.3	60.53	39.1	66.46
Toplam	100	1.24	100.00	2.97	100.00	36.14	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	La		Ce		Pr	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	49.4	3.04	82.3	2.76	10.23	2.61
150	6.35	44.2	5.35	78.9	4.65	8.71	3.74
106	7.05	47.1	6.33	81	5.65	9.25	4.83
75	14.20	47.1	12.75	81.5	11.45	9.44	9.98
53	9.84	46.7	8.76	82	7.92	9.17	6.71
38	9.52	50.7	9.20	92.7	9.40	9.73	8.45
-38	49.81	57.5	54.58	96.7	58.18	11.85	63.68
Toplam	100	52.99	100.00	91.32	100.00	10.96	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Nd		Sm		Eu	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	39.8	3.21	6.69	2.92	1.55	2.74
150	6.35	34.1	5.41	5.97	4.39	1.24	3.29
106	7.05	33.5	5.91	6.39	5.13	1.32	4.09
75	14.20	36.3	12.89	6.58	11.53	1.37	9.54
53	9.84	32.9	8.09	6.33	6.96	1.42	5.98
38	9.52	36.5	8.69	7.04	8.31	1.36	6.83
-38	49.81	44.8	55.80	8.01	60.75	1.84	67.53
Toplam	100	40.61	100.00	7.43	100.00	1.69	100.00
Boyut Aralığı (µm)	% Ağ.	Gd		Tb		Dy	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	5.96	2.99	0.85	2.65	4.96	2.25
150	6.35	4.92	4.86	0.83	4.19	4.34	3.13
106	7.05	5.44	5.97	0.83	5.15	4.7	4.16
75	14.20	5.61	12.39	0.91	11.73	4.97	10.01
53	9.84	5.4	8.26	0.9	7.74	4.78	6.35
38	9.52	6.11	9.05	0.98	9.22	5.05	8.00
-38	49.81	7.29	56.48	1.01	59.33	6.49	66.11
Toplam	100	6.55	100.00	0.97	100.00	5.94	100.00

Tablo 4.11'in devamı

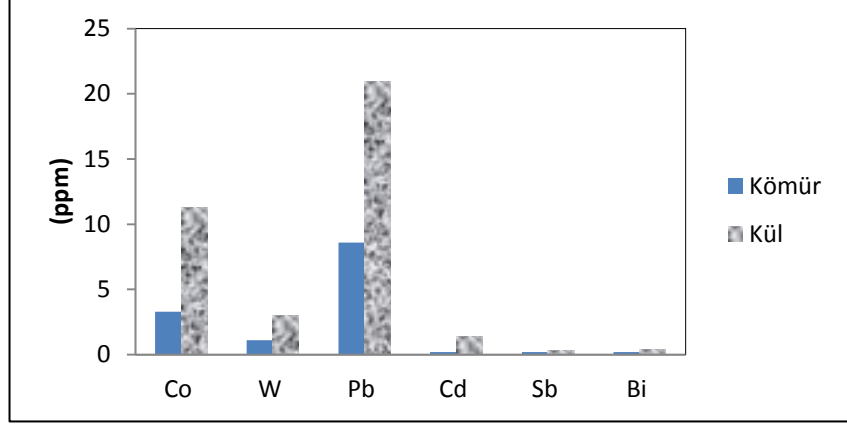
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Ho		Er		Tm	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	0.97	2.79	2.88	2.49	0.4	2.01
150	6.35	1.01	5.71	2.72	4.82	0.43	4.18
106	7.05	1.02	6.41	2.57	5.11	0.42	4.33
75	14.20	1.06	13.41	2.92	12.14	0.45	11.03
53	9.84	1.11	9.73	3.13	9.44	0.45	8.58
38	9.52	1.18	10.01	2.9	9.00	0.49	8.90
-38	49.81	1.17	51.93	3.54	56.99	0.53	60.97
Toplam	100	1.12	100.00	3.26	100.00	0.50	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Yb		Lu		Mo	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	3.03	3.30	0.44	2.98	1.8	4.76
150	6.35	2.81	6.01	0.44	5.44	1.1	5.31
106	7.05	2.59	6.15	0.42	5.31	1	4.71
75	14.20	2.82	13.49	0.46	12.76	1.1	12.45
53	9.84	2.93	9.71	0.48	9.59	1.1	9.36
38	9.52	3.27	10.49	0.54	11.64	1.2	12.40
-38	49.81	3.03	50.85	0.5	52.27	1.1	51.01
Toplam	100	2.98	100.00	0.49	100.00	1.14	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Cu		Pb		Au	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppb)	% Dağ.
212	3.23	26	2.72	20.9	2.33	0.5	3.23
150	6.35	23.9	4.91	8.7	1.75	0.5	6.35
106	7.05	22.8	5.20	22.5	4.80	0.5	7.05
75	14.20	25.4	11.67	15.4	7.37	0.5	14.20
53	9.84	29.5	9.39	40.3	15.51	0.5	9.84
38	9.52	31.6	9.73	26.2	10.45	0.5	9.52
-38	49.81	35	56.39	25	57.80	0.5	49.81
Toplam	100	31.61	100.00	26.29	100.00	0.50	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Ag		Hg		Cd	
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.
212	3.23	0.1	7.16	0.16	10.70	1.4	7.64
150	6.35	0.1	1.17	0.05	6.57	0.4	1.26
106	7.05	0.1	1.30	0.03	4.38	0.3	1.03
75	14.20	0.1	2.62	0.03	8.82	0.4	3.36
53	9.84	0.1	3.63	0.04	8.15	0.6	5.30
38	9.52	0.1	10.55	0.05	9.85	0.8	8.45
-38	49.81	0.1	73.57	0.05	51.54	1.1	72.97
Toplam	100	0.10	100.00	0.06	100.00	1.03	100.00
Boyut Aralığı (μm)	% Ağ.	Tl		Bi			
		(ppm)	% Dağ.	(ppm)	% Dağ.		
212	3.23	0.2	19.32	0.4	7.16		
150	6.35	0.1	5.94	0.1	1.17		
106	7.05	0.1	3.95	0.1	1.30		
75	14.20	0.1	7.96	0.1	2.62		
53	9.84	0.1	7.36	0.2	3.63		
38	9.52	0.1	8.90	0.3	10.55		
-38	49.81	0.1	46.56	0.4	73.57		
Toplam	100	0.12	100.00	0.37	100.00		

Tablo 4.8'e göre Soma TS külündeki toplam U içeriğinin %74.22'si 75 µm üzeri boyut fraksiyonlarında bulunmaktadır. En yüksek U tenörü ise 150.43 ppm ile -212+150 µm fraksiyonunda bulunmakta olup toplam uranyum içeriğinin %27.28'ine karşılık gelmektedir. Toplam Th içeriğinin %71.97'si 75 µm üzeri boyut fraksiyonlarında bulunmaktadır. En yüksek Th tenörü ise 146.66 ppm ile -106+75 µm fraksiyonunda bulunmakta olup bu toplam uranyum içeriğinin %15.52'ine karşılık gelmektedir. Diğer yüksek oranda bulunan elementler olan V, Zr, Sr, Ba ve Fe ise en yüksek oranda ince boyutlarda dağılım göstermiş olup içeriklerinin sırasıyla %67.16, %70.45, %66.66, %72.14, %72.17'si 75 µm altı boyut fraksiyonlarında bulunmaktadır. Toplam Cd içeriği %72.97'sinin 1.1 ppm, toplam Pb içeriği ise %57.80'inin 25 ppm ile -38 µm fraksiyonunda bulunmasıyla dikkat çekmektedirler.

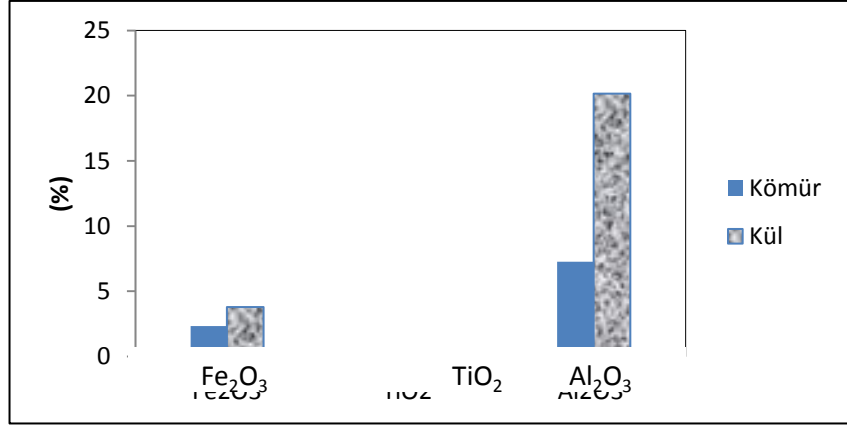
Kömürdeki elementlerin yakma sonrası davranışlarının görülmesi amacıyla santrallere beslenen kömürlerdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küllerdeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmaların grafiksel gösterimleri Yatağan TS için Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.19: Soma TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (I)



Şekil 4.20: Soma TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (II)



Şekil 4.21: Soma TS'ne beslenen kömürdeki ve bu kömürlerden elde edilen uçucu küldeki elementlerin içeriklerinin karşılaştırılması (III)

Şekil 4.19, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilen grafiklerde de görüldüğü üzere kömürden küle element geçiş değerleri:

- V: 1.3 ppm'den 258 ppm'e,
- Zr: 11.0 ppm'den 157.0 ppm'e,
- As: 52.00 ppm'den 129.8 ppm'e,
- Sr: 445.5 ppm'den 321.3 ppm'e
- Ba: 250.0 ppm'den 567.0 ppm'e,
- Ni: 9.4 ppm'den 49 ppm'e,
- Zn: 28.0 ppm'den 53 ppm'e,
- Cu: 18.9 ppm'den 26.0 ppm'e,
- Co: 3.3 ppm'den 11.3 ppm'e,
- W: 1.1 ppm'den 3.60 ppm'e,

- Pb: 8.6 ppm'den 20.9 ppm'e,
- Cd: 0.2 ppm'den 0.1.4 ppm'e,
- Sb: 0.2 ppm'den 0.3 ppm'e,
- Bi: 0.30 ppm'den 0.4 ppm'e,
- Fe₂O₃: % 2.33'den % 3.8'e,
- TiO₂: % 0.2'den % 0.63'e,
- Al₂O₃: % 7.26'den % 20.16'e değişim göstermiştir.

4.3.3. Suda Çözünürlük Deneyi Sonuçları

Uçucu küllerin suda çözünürlüklerinin bilinmesi özellikle çevre açısından büyük önem taşımaktadır. As, Cd, Pb, vs gibi metallerin suda çözünerek hem ekolojik zararlara neden olması hem de yeraltı sularına karışarak çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmesi gözardı edilemeyecek önemli bir konudur. Genel olarak uçucu küllerin bünyesinde SO₂ ve toprak alkali metaller suda çözünür. İyi bir külde suda çözünen madde miktarı az olmalıdır. 13.02.2008 tarihli 'Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre maden sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları belirlenmiştir.

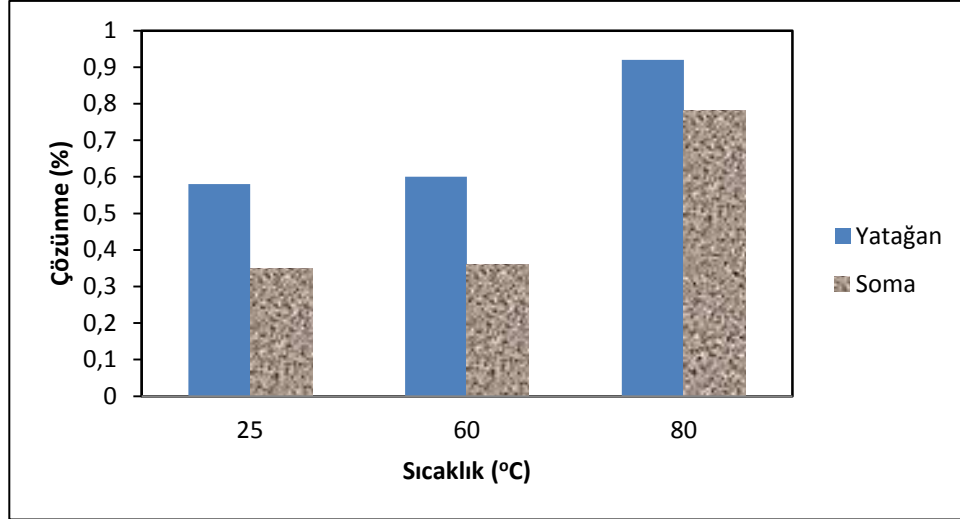
Uçucu kül içerisindeki amorf ve camsı silis oda sıcaklığında ve saf suda çok az çözünür ancak sıcaklığın artması ile çözünürlükte belirgin bir artış izlenir, bu durum puzolanik özellik istenen karışımlar için iyi olmayan bir özelliktir. Suda çözünürlük deneyleri manyetik karıştırıcı kullanılarak 1000 rpm ile 2, 4, 6 saat sürelerinde 25 °C, 60 °C ve 80 °C de saf su kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tablo 4.12, 4.13 ve Şekil 4.22'de Yatağan ve Soma termik santrallerinin külleri ile gerçekleştirilen deneylerin sonuçları verilmektedir.

Tablo 4.12: Yatağan TS külünün sıcaklığa bağlı ağırlık değişimi

Sıcaklık	PKO (%)	Zaman (Saat)	Ağırlık değişimi(%)
25 °C	10	2	0,58
60 °C	10	2	0,60
80 °C	10	2	0,92

Tablo 4.13: Soma TS külünün sıcaklığa bağlı ağırlık değişimi

Sıcaklık	PKO (%)	Zaman (Saat)	Ağırlık değişimi(%)
25 °C	10	2	0,35
60 °C	10	2	0,36
80 °C	10	2	0,78



Şekil 4.22: Yatağan ve Soma TS küllerinin sıcaklığa bağlı ağırlık değişimlerinin grafiksel gösterimi

Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'te verilen sıcaklığa bağlı çözünürlük deneyleri sonuçlarına göre Yatağan ve Soma TS uçucu küllerinin çözünürlüklerinin sıcaklığa bağlı olarak arttığı ve en fazla çözünmenin 80 °C de olduğu görülmektedir.

Tablo 4.14 ve Tablo 4.15'de Yatağan ve Soma TS küllerinin suda farklı sürelerde çözülmesi ile elde edilen çözeltilerin analiz sonuçları görülmektedir.

Tablo 4.14: Yatağan TS külünün suda çözünürlük sonuçları

Element	Deneylerde kullanılan saf su	2 saat			4 saat			6 saat		
		25 °C (mg/lt)	60 °C (mg/lt)	80 °C (mg/lt)	25 °C (mg/lt)	60 °C (mg/lt)	80 °C (mg/lt)	25 °C (mg/lt)	60 °C (mg/lt)	80 °C (mg/lt)
Ca	<0,05	1178,61	1193,12	1200,15	1780,98	1912,66	2173,78	2762,25	2872,27	2975,66
Ni	0,0002	0,0063	0,076	0,095	0,312	0,921	1,003	2,312	2,413	3,448
Mo	<0,0001	0,097	0,127	0,150	0,425	0,678	0,992	1,615	1,786	2,675
Hg	<0,0001	0,0021	0,0053	0,0073	0,0078	0,0069	0,0091	0,0092	0,017	0,021
Sc	<0,00005	0,0032	0,0021	0,0039	0,0043	0,0021	0,0029	0,0021	0,0036	0,0038
Zn	<0,00001	0,0085	0,0099	0,0125	0,218	0,427	0,492	0,667	0,891	1,217
Cd	<0,00005	0,00027	0,00099	0,00157	0,0123	0,129	0,528	0,745	0,866	0,943
Pb	<0,0001	0,0035	0,0120	0,0950	0,127	0,786	0,971	1,783	2,973	3,256
Cr	<0,0005	0,0013	0,035	0,127	0,985	0,956	1,782	1,886	2,442	2,556
As	<0,0005	0,00021	0,00027	0,0039	0,0078	0,0079	0,0096	0,0097	0,0099	0,0099
Ba	<0,00005	0,416	0,793	1,780	2,785	2,958	2,993	3,412	3,741	3,986
Th	<0,00005	0,00019	0,00039	0,0041	0,0063	0,0096	0,017	0,021	0,048	0,056
Fe	<10000	1,798	1,971	2,037	2,786	3,078	3,145	5,172	6,712	6,912
Se	<0,0005	0,011	0,027	0,029	0,039	0,077	0,095	0,099	0,152	0,179
La	<0,00001	0,00012	0,00019	0,00021	0,00027	0,00046	0,00099	0,00098	0,00120	0,00215
U	<0,00002	0,00022	0,00021	0,00057	0,0021	0,0035	0,0072	0,0076	0,0095	0,0099
Co	<0,00002	0,00093	0,00125	0,0792	0,00412	0,0786	0,176	0,699	1,427	1,621
Sr	0,00002	1,127	1,427	1,678	1,912	2,031	2,786	2,973	3,475	4,677
W	<0,00002	0,0039	0,0041	0,0063	0,073	0,099	0,095	0,099	0,126	0,156
Cu	0,0066	0,0041	0,0069	0,0127	0,0428	0,0981	0,127	0,275	0,421	0,563

Tablo 4.15: Soma TS külünün suda çözünürlük sonuçları

Element	Deneylerde kullanılan saf su	2 saat			4 saat			6 saat		
		25 °C (mg/l)	60 °C (mg/l)	80 °C (mg/l)	25 °C (mg/l)	60 °C (mg/l)	80 °C (mg/l)	25 °C (mg/l)	60 °C (mg/l)	80 °C (mg/l)
Ca	<0,05	1007,00	1011,22	1011,22	1123,12	1526,21	1672,63	2071,66	2166,12	2267,21
Ni	0,0002	0,0052	0,097	0,099	0,271	0,290	0,672	2,781	2,970	3,021
Mo	<0,0001	0,083	0,091	0,094	0,312	0,301	0,627	1,712	1992	2,127
Hg	<0,0001	0,0020	0,0021	0,0027	0,0035	0,0663	0,0064	0,0093	0,0099	0,0126
Sc	<0,00005	0,0015	0,0011	0,0015	0,0017	0,0019	0,0021	0,0022	0,0027	0,0033
Zn	<0,00001	0,0082	0,0093	0,0099	0,0197	0,0260	0,0342	0,195	0,295	0,462
Cd	<0,00005	0,00021	0,00027	0,00024	0,00129	0,00197	0,00250	0,125	0,370	0,675
Pb	<0,0001	0,0016	0,0024	0,0027	0,0229	0,0412	0,0712	0,792	1,792	2,623
Cr	<0,0005	0,029	0,029	0,031	0,047	0,0141	0,0793	0,815	1,972	2,125
As	<0,0005	0,000030	0,00029	0,0030	0,00036	0,00097	0,00096	0,0099	0,0091	0,0096
Ba	<0,00005	0,215	0,326	0,352	0,543	0,793	0,912	1,421	1,567	1,672
Th	<0,00005	0,00011	0,00087	0,00089	0,00092	0,00099	0,00098	0,0099	0,0097	0,0099
Fe	<10000	1,035	1,212	1,313	1,670	2,670	3,012	4,025	4,712	5,612
Se	<0,0005	0,021	0,024	0,027	0,037	0,069	0,071	0,078	0,076	0,078
La	<0,00001	0,000078	0,00016	0,00018	0,00020	0,00092	0,0096	0,0091	0,0092	0,0095
U	<0,00002	0,00010	0,00011	0,0015	0,0016	0,0027	0,0029	0,0027	0,0028	0,0027
Co	<0,00002	0,00080	0,00078	0,00067	0,00272	0,00969	0,00943	0,672	1,782	1,679
Sr	0,00002	1,088	1,426	1,512	1,713	1,972	2,012	2,455	2,612	2,717
W	<0,00002	0,0033	0,0037	0,0039	0,0041	0,069	0,078	0,079	0,069	0,071
Cu	0,0066	0,0052	0,0055	0,0053	0,0269	0,0271	0,0721	0,1791	0,263	0,299

Suda çözünürlük deneyleri sonuçlarına dayanarak Yatağan ve Soma TS küllerinin çözünen ağır metal içeriklerinin 13.02.2008 tarihli ‘Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği’ndeki sınır değerlerle karşılaştırılması Tablo 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.16: Yatağan ve Soma TS küllerinin çözünen ağır metal içeriklerinin su kalitesi yönetmeliğindeki sınır değerlerle karşılaştırılması

Elementler	Maden sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartları	Yatağan TS külü suda çözülmesi ile elde edilen çözeltinin analiz sonucu (mg/l)			Soma TS külü suda çözülmesi ile elde edilen çözeltinin analiz sonucu (mg/l)		
		20 °C	60 °C	80 °C	20 °C	60 °C	80 °C
Kurşun (Pb)	0,5	1,783	2,973	3,256	0,792	1,792	2,623
Demir (Fe)	3	5,172	6,712	6,912	4,025	4,712	5,612
Çinko(Zn)	3	0,667	0,891	1,217	0,195	0,295	0,462
Civa (Hg)	0,05	0,0093	0,0099	0,0126	0,0093	0,0099	0,0126
Kadmiyum (Cd)	0,2	0,745	0,866	0,943	0,125	0,370	0,675
Bakır (Cu)	5	0,275	0,421	0,563	0,1791	0,263	0,299

Yatağan ve Soma TS uçucu küllerindeki 6 saat sürede çözünen ağır metal içeriklerinin 13.02.2008 tarihli “Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”ndeki maden sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartlarındaki sınır değerler karşılaştırılması sonucunda her iki numunede de çözünen Pb, Fe, Cd içeriklerinin

sınır değerleri aştığı görülmektedir. Tablo 4.16’da görüldüğü üzere Yatağan TS külünde Soma TS külüne göre daha fazla çözünme olmuştur.

4.3.4. Numunelerin Uçucu Kül Standartlarına Göre Sınıflandırma Sonuçları

ASTM C618 standardına göre Yatağan Termik Santrali uçucu kül numunesi; SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının % 72,36 oluşu ile F uçucu kül sınıfında yer almaktadır. Soma Termik Santrali uçucu kül numunesi ise SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının % 64.54 oluşu ile C uçucu kül sınıfına girmektedir. Aynı zamanda bu küller CaO yüzdeleri % 10’un üstünde olduğu için yüksek kireçli kül sınıfında yer almaktadırlar. Hem Yatağan TS hem de Soma TS uçucu külleri ASTM 618 standardındaki sınır değerleri karşılamaları dolayısıyla çimento katkısı olarak kullanılabilecek özelliktedirler.

F sınıfı uçucu kül küresel yapısı nedeniyle betonun işlenebilme özelliğini iyileştirmekte, taze betonda su kusmayı (terleme) azaltmakta, betonun hidrasyon ısını azaltarak sıcak havalarda kütle betonu dökümüne imkan tanımakta, puzolanik reaksiyon sayesinde betonun uzun dönemli mukavemetine katkıda bulunmakta, betonun geçirimsizliğini azaltmakta ve betonun iç ve dış kaynaklı yıpratıcı etkilere dayanıklılığını arttırmaktadır. Buna karşılık, uçucu kül betonun erken dayanımını düşürebilmekte ve özellikle yüksek kireç içerikli (C sınıfı) uçucu külün betonda yüksek oranda kullanımı ise betonun hacim sabitliğinin bozulmasına yol açabilmektedir (Yazıcı, 2004).

Yatağan TS uçucu küllerinin kimyasal bileşiminin uluslararası standard TS 639’da belirtilen limitlere uygun olduğu ve bu standarda göre de çimentoda kullanılabilir özellikte olduğu görülmektedir. Soma TS uçucu külleri ise SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının %70’den az olması nedeniyle standarttaki kriterleri karşılayamamaktadır.

TS EN 197-1 genel çimento sınıflarının bileşimini, özelliklerini ve uygunluk kriterlerini içeren tanımlayıcı bir standarttır. Bu standard 2011 yılının Kasım ayında Avrupa’da, 2012 yılının Şubat ayında ise Türkiye’de revize edilmiştir. TS EN 197-1:2012 olarak yürürlüğe giren yeni çimento standardında hem çimento üreticileri hem beton ve precast üreticileri hem de uygulayıcılar açısından önemli değişiklikler

bulunmaktadır. Yatağan ve Soma TS uçucu külleri TS EN 197-1 standardına göre kireç (CaO) oranları %10'dan, SiO₂ oranları ise %25'ten fazla oldukları için W (kalkersi) uçucu kül sınıfına girmektedirler. W sınıfı uçucu küller, hidrolik ve/veya pozolanik özellikleri olan ince bir töz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO₂ ve Al₂O₃'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe₂O₃) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu standarda göre her iki kül numunesi de çimentoda kullanılabilir özelliktedir.

Sonuç olarak Yatağan ve Soma TS küllerinin çimento katkısı olarak kullanımlarında ait oldukları uçucu kül sınıfının özelliklerine göre avantaj ve dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır.

4.4. LİÇ DENEYLERİ

Yatağan ve Soma termik santrallerinden temsili olarak alınan uçucu kül numunelerinde yapılan liç deneylerinde uranyum ve toryum içeriklerinin yüksek tenör ve yüksek verimle kazanılması amaçlanmıştır. Liç deneylerinde farklı liç parametreleri denenerek gerek uranyum gerekse toryum açısından en uygun koşullar belirlenmeye çalışılmıştır. Liç deneylerinde boyut her iki kül numunesi için de -75 µm'dir. Liç deneyleri Wise Bath marka karıştırılmalı su banyosu liç ünitesi kullanılarak yapılmıştır. Liç deneylerinde karıştırma hızı ve sıcaklığı sürekli ölçülmüştür. Yine tüm liç deneylerinde pH ölçümü yapılmıştır. Elde edilen çözeltiler Whatman markalı 1 numara filtre kağıdı kullanarak katı-sıvı ayırımına tabii tutulmuştur. Katı kısım kurutulmuş ve analize hazır hale getirilerek hem sıvı hem katı faz kimyasal analize gönderilmiştir. Liç verimleri ise aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanmıştır.

$$\% Verim = \frac{Külde\ U,Th - Artıkta\ U,Th}{Külde\ U,Th * 100}$$

4.4.1. Sülfürik Asitle (H₂SO₄) Liç Deneyleri

Literatür çalışmaları uranyumun çözeltiliye UO₂SO₄, toryumun ise çözeltiliye ThO₃SO₄ olarak geçtiğini göstermektedir. Bu deneysel çalışmalarda % 98 saflıkta ve

Merck kalitesinde H_2SO_4 kullanılmıştır. Süzülen artık % 1'lik H_2SO_4 çözeltisi ile 2 kademe yıkanmıştır.

4.4.1.1. Yatağan ve Soma TS Külünün H_2SO_4 Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözünme Veriminin P.K.O'ya Göre Değişimi

Yatağan TS külü H_2SO_4 liç deney koşulları:

Asit miktarı: 60 g/ton %5'lik çözelti (H_2SO_4)

Yıkama Çözeltisi: %1'lik (H_2SO_4)

PKO: %10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

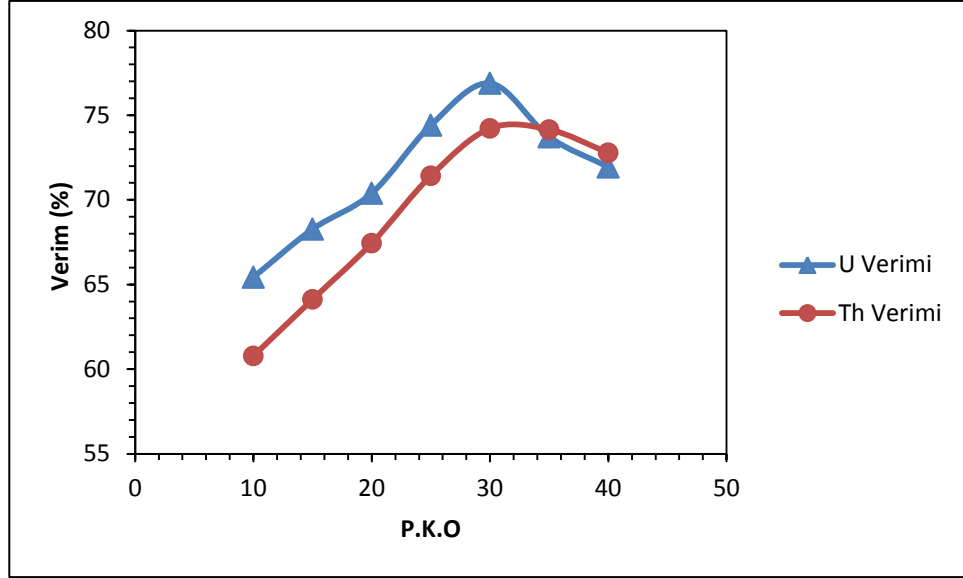
Ortalama pH: 2,79

Deney sonuçları Tablo 4.17'de verilmiştir.

Tablo 4.17: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları

P.K.O (%)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
10	65,43	60,78
15	68,27	64,12
20	70,39	67,44
25	74,41	71,42
30	76,89	74,22
35	73,72	74,15
40	71,94	72,78

Tablo 4.17'deki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği Şekil 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.23: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği

Soma TS külü H_2SO_4 liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 60 g/ton %5'lik çözelti (H_2SO_4)

Yıkama Çözeltisi: %1'lik (H_2SO_4)

PKO: %10,15,20,25,30,35,40

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

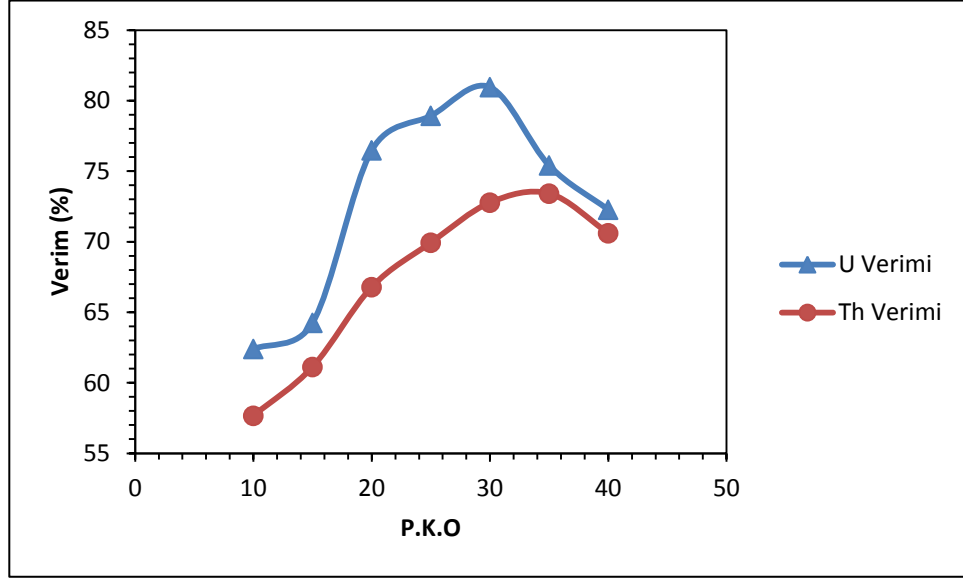
Ortalama pH: 2,79

şeklindedir. Deney sonuçları Tablo 4.18'de verilmiştir.

Tablo 4.18: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları

P.K.O (%)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
10	62,40	57,66
15	64,25	61,12
20	76,48	66,78
25	78,93	69,93
30	80,96	72,77
35	75,41	73,41
40	72,27	70,60

Tablo 4.18'deki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği Şekil 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.24: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği

Şekil 4.23 ve 4.24'de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre Yatağan külünde en yüksek uranyum çözünme verimi %76,89 olmuş ve %30 PKO şartlarında gerçekleşmiştir. Soma külünde en yüksek uranyum çözünme verimi ise %80,96 olarak yine %30 PKO şartlarında elde edilmiştir. Toryum çözünme verimleri ise uranyum çözünme verimleri ile paralellik göstermiştir. Yatağan külünde en yüksek toryum çözünme verimi %74,22 ile %30 PKO şartlarında, Soma külünde ise en yüksek toryum çözünme verimi ise %73,41 olarak %35 PKO şartlarında elde edilmiştir. Soma külünde en iyi toryum çözünme verimi %30 PKO şartlarına göre %0,064 artışla %35 PKO şartlarında elde edilmiş olmakla birlikte, P.K.O arttıkça pülpün karıştırılmasına ortaya çıktıktan zorluklar da göz önünde bulundurularak sonraki deneylerde optimum P.K.O'nın %30 olarak alınmasına karar verilmiştir.

4.4.1.2. Yatağan ve Soma TS Külünün H_2SO_4 Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Süresine Göre Değişimi

Yatağan TS külü H_2SO_4 liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 60 g/ton %5'lik çözelti (H_2SO_4)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (H_2SO_4)

P.K.O: %30

Liç süresi: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 220, 240, 260, 320 (dak)

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

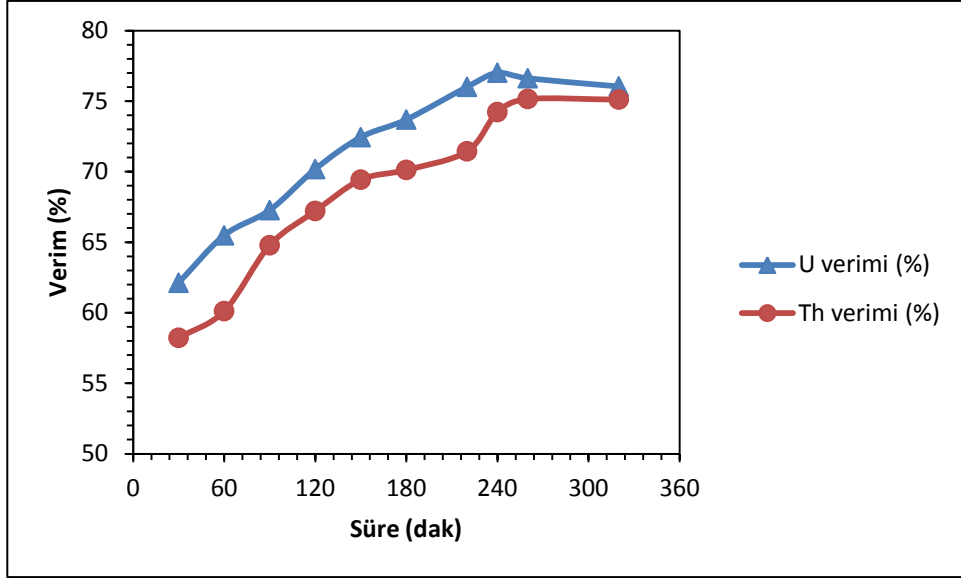
Ortalama pH: 2.81

Deney sonuçları Tablo 4.19'da verilmiştir.

Tablo 4.19: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları

Çözünme süresi(dak)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
30	62,12	58,22
60	65,48	60,11
90	67,27	64,78
120	70,18	67,21
150	72,44	69,43
180	73,69	70,12
220	76,01	71,44
240	77,01	74,26
260	76,62	75,15
320	76,04	75,11

Tablo 4.19'daki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği Şekil 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.25: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği

Soma TS külü H_2SO_4 liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 60 g/ton %5'lik çözelti (H_2SO_4)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (H_2SO_4)

P.K.O: %30

Liç süresi: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 220, 240, 260, 320 (dak)

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

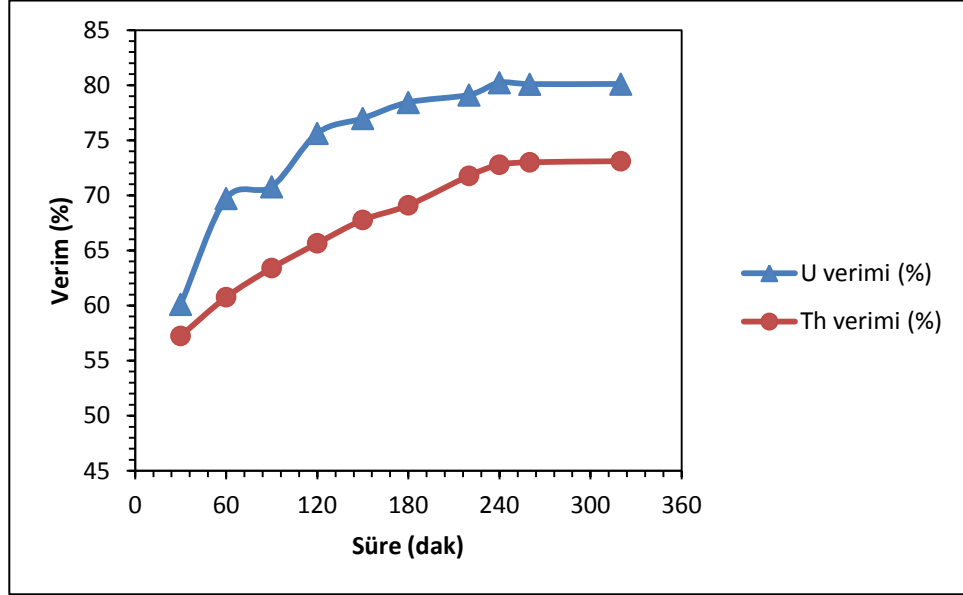
Ortalama pH: 2.79

Deney sonuçları Tablo 4.20'de verilmiştir.

Tablo 4.20: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları

Çözünme süresi (dak)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
30	60,11	57,25
60	69,72	60,77
90	70,78	63,41
120	75,63	65,66
150	76,98	67,78
180	78,43	69,11
220	79,11	71,78
240	80,23	72,79
260	80,09	73,01
320	80,10	73,11

Tablo 4.20'deki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği Şekil 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.26: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği

Şekil 4.25 ve 4.26'da grafiksel olarak verilen sonuçlara göre uranyum çözünme verimlerinin süreye bağlı olarak arttığı görülmektedir. Yatağan TS külü için çözünme verimi 240 dakikaya kadar doğrusal olarak artmış, bu noktadan sonra ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. Buna göre optimum liç süresinin en yüksek çözünme veriminin de elde edildiği 240 dakika olduğu söylenebilmektedir. Soma TS külü için de yine benzer şekilde çözünme verimi 240 dakikaya kadar doğrusal olarak artmış, bu noktadan sonra ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. Buna göre de Soma külü için optimum liç süresinin en yüksek uranyum çözünme veriminin de elde edildiği 240 dakika olduğu söylenebilmektedir. Her iki kül numunesi için toryum çözünme verimlerinin de süreye bağlı olarak arttığı görülmektedir. Her iki kül numunesinin toryum çözünme verimleri 240 dakikaya kadar doğrusal olarak artmış, bu noktadan sonra ise önemli bir değişim gözlenmemiştir. Bu sonuçlar ışığında sonraki deneylerde optimum liç süresi 240 dakika olarak alınmıştır.

4.4.1.3. Yatağan ve Soma TS Külünün H_2SO_4 Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Asit Miktarına Göre Değişimi

Yatağan külü H_2SO_4 liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 300 g/ton %5'lik (H_2SO_4)

Yıkama çözeltilisi: %1'lik (H_2SO_4)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

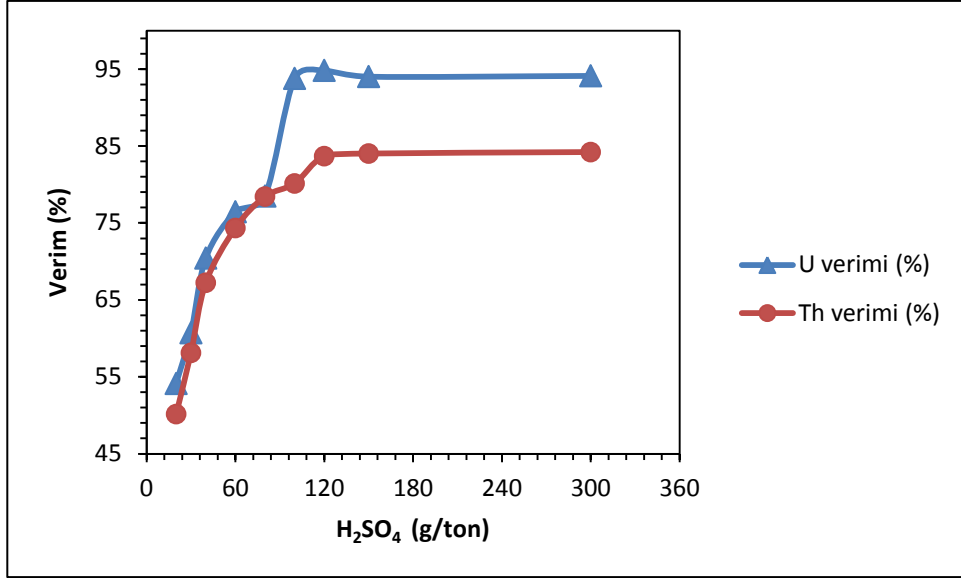
Ortalama pH: 3,02

Deney sonuçları Tablo 4.21'de verilmiştir.

Tablo 4.21: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları

Asit miktarı H_2SO_4 (g/ton)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
20	54,13	50,15
30	60,72	58,11
40	70,43	67,22
60	76,45	74,33
80	78,49	78,42
100	93,78	80,12
120	94,82	83,67
150	94,02	84,01
300	94,12	84,20

Tablo 4.21'deki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.27: Yatağan TS külünün H₂SO₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği

Soma külü H₂SO₄ liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 300 g/ton %5'lik (H₂SO₄)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (H₂SO₄)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Liç sıcaklığı: 20 °C

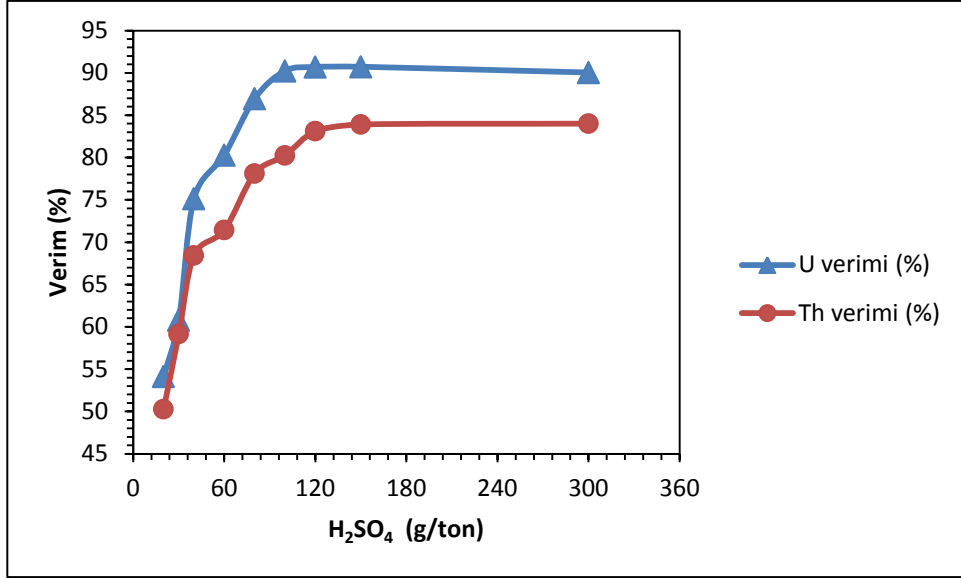
Karıştırma hızı: 250 devir/dak

Ortalama pH: 3,11 şeklindedir. Deney sonuçları Tablo 4.22'de verilmiştir.

Tablo 4.22: Soma TS külünün H₂SO₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları

Asit miktarı H ₂ SO ₄ (g/ton)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
20	54,12	50,27
30	60,78	59,15
40	75,13	68,43
60	80,28	71,44
80	86,95	78,11
100	90,22	80,25
120	90,69	83,12
150	90,71	83,91
300	90,03	84,01

Tablo 4.22'deki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Soma TS külünün H₂SO₄ asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği Şekil 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.28: Soma TS külünün H₂SO₄ asit ile liçinde uranyum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği

Şekil 4.27 ve 4.28’de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre uranyum çözünme verimlerinin H₂SO₄ miktarına paralel olarak arttığı görülmektedir. Yatağan TS külü için U çözünme verimi 120 g/ton asit miktarına kadar önemli derecede artış göstermiş, bu noktadan sonra ise %0,8 azalarak sabitlenmiştir. Buna göre optimum asit miktarı en yüksek çözünme veriminin de elde edildiği 120 g/ton olmuştur. Soma TS külü için de yine benzer şekilde çözünme verimi belirli bir asit miktarına kadar doğrusal olarak artmış, 120 g/ton’da gözlenen bu noktadan sonra denenen 300 g/ton asit miktarına kadar önemli bir pozitif değişim göstermemiştir. Buna göre de Soma külü için optimum asit miktarı en yüksek çözünme veriminin de elde edildiği 120 g/ton olduğu söylenebilmektedir. Deneyler toryum çözünme verimleri açısından incelendiğinde, yine uranyum çözünme verimlerine benzer bulgular elde edilmiştir. Bu sonuçlar ışığında sonraki deneylerde optimum H₂SO₄ miktarı 120 g/ton olarak alınmıştır.

4.4.1.4. Yatağan ve Soma TS Külünün H₂SO₄ Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Sıcaklığına Göre Değişimi

Kimyasal çözündürme proseslerinde sıcaklık, hem çözünme reaksiyonunu hızını hem de çözünen elementin çözücü faz içerisindeki çözünürlüğünü etkileyen önemli bir parametredir. Bu nedenle çalışma kapsamında farklı liç sıcaklıkları denenmiştir.

Yatağan TS külü H_2SO_4 liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 120 g/ton %5'lik çözelti (H_2SO_4)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (H_2SO_4)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20, 40, 60 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

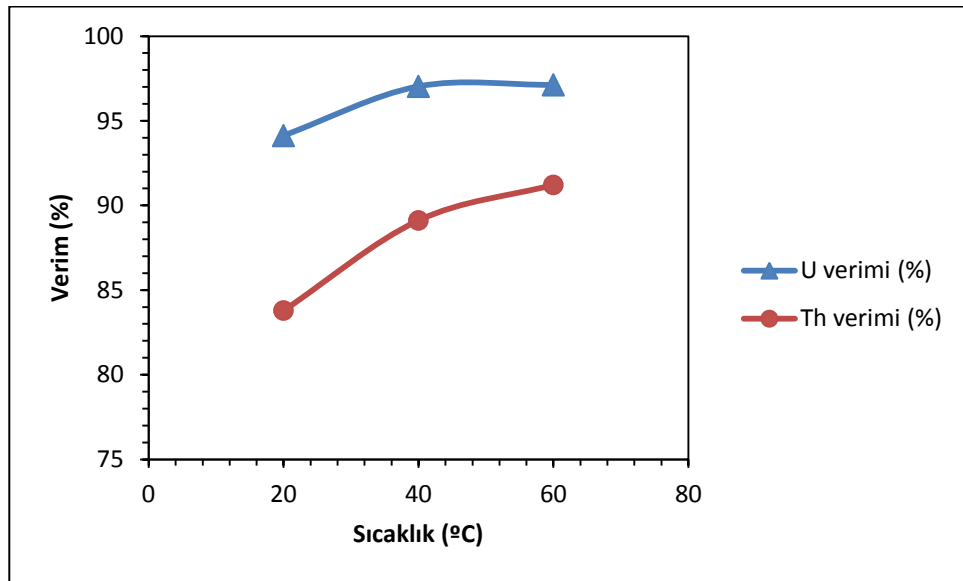
Ortalama pH: 2,89

Deney sonuçları Tablo 4.23'de verilmiştir.

Tablo 4.23: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları

Yatağan TS (°C)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
20	94,12	83,79
40	97,03	89,11
60	97,12	91,21

Tablo 4.23'deki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği Şekil 4.29'da verilmiştir.



Şekil 4.29: Yatağan TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği

Soma TS külü H_2SO_4 liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 120 g/ton %5'lik çözelti (H_2SO_4)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (H_2SO_4)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20, 40, 60 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

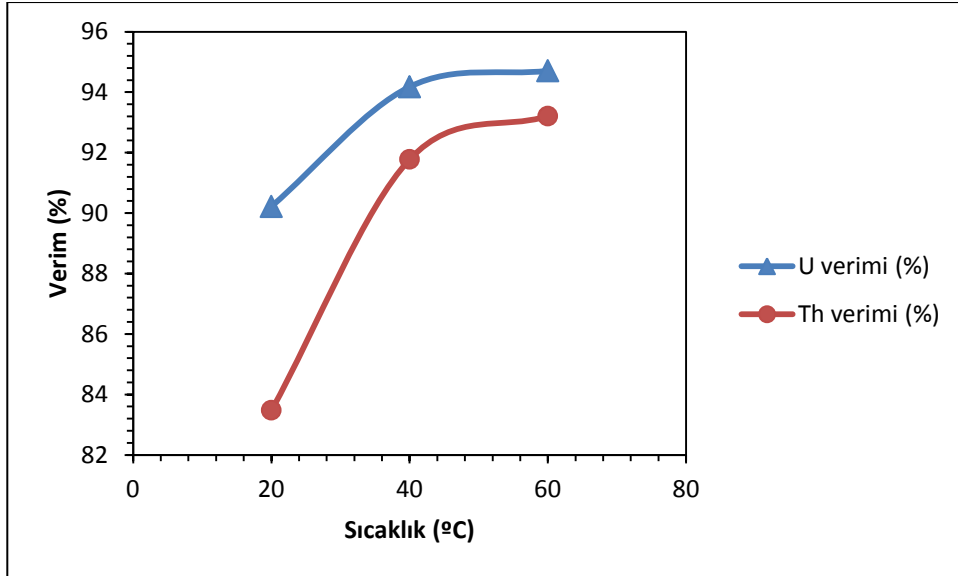
Ortalama pH: 2,87

Deney sonuçları Tablo 4.24'de verilmiştir.

Tablo 4.24: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları

Soma TS (°C)	U çözünme verimi(%)	Th çözünme verimi(%)
20	90,22	83,48
40	94,18	91,78
60	94,71	93,21

Tablo 4.24'deki deney sonuçları kullanılarak oluşturulan Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği Şekil 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.30: Soma TS külünün H_2SO_4 asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği

Şekil 4.29 ve 4.30'da grafiksel olarak verilen sonuçlara göre uranyum çözünme verimlerinin sıcaklığa bağlı olarak arttığı görülmektedir. Yatağan TS külü için

optimum liç sıcaklığı en yüksek uranyum çözünme veriminin de elde edildiği 60 °C olarak gözlenmiştir. Yine benzer şekilde Soma TS külü için de optimum liç sıcaklığının en yüksek uranyum çözünme veriminin de elde edildiği 60 °C olduğu söylenebilmektedir. Toryum çözünme verimleri de benzer karakteristik göstermiş olup her iki kül numunesi için de en iyi çözünme 60 °C’de elde edilmiştir. Sıcaklık arttıkça çözünürlük artmakla beraber buna paralel olarak enerji sarfiyatındaki artış nedeniyle liç maliyetinin de artacağı göz ardı edilmemelidir. Ayrıca liç sıcaklığı arttıkça küldeki diğer elementlerin de çözünürlüğü artmakta, dolayısıyla selektivite azalmaktadır.

4.4.2. Hidroklorik Asitle (HCl) Liç Deneyleri

4.4.2.1. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin P.K.O’ya Göre Değişimi

Yatağan TS külü (HCl) liç deney koşulları:

Asit miktarı: 60 g/ton %5’lik çözelti (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1’lik (HCl)

PKO: %10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

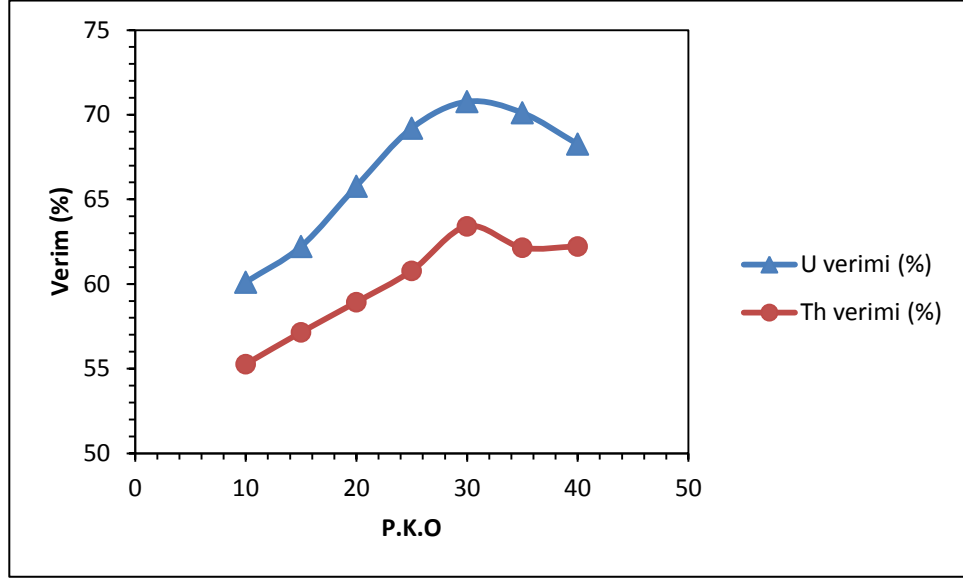
Ortalama pH: 2,79

Deney sonuçları Tablo 4.25’de verilmiştir.

Tablo 4.25: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O’ya göre değişim sonuçları

P.K.O (%)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
10	60,11	55,27
15	62,22	57,15
20	65,78	58,93
25	69,21	60,78
30	70,78	63,41
35	70,12	62,15
40	68,27	62,22

Tablo 4.25'deki deney sonuçları kullanılarak Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği Şekil 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.31: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği

Soma TS külü (HCl) liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 100 g/ton %5'lik çözelti (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (HCl)

PKO:%10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

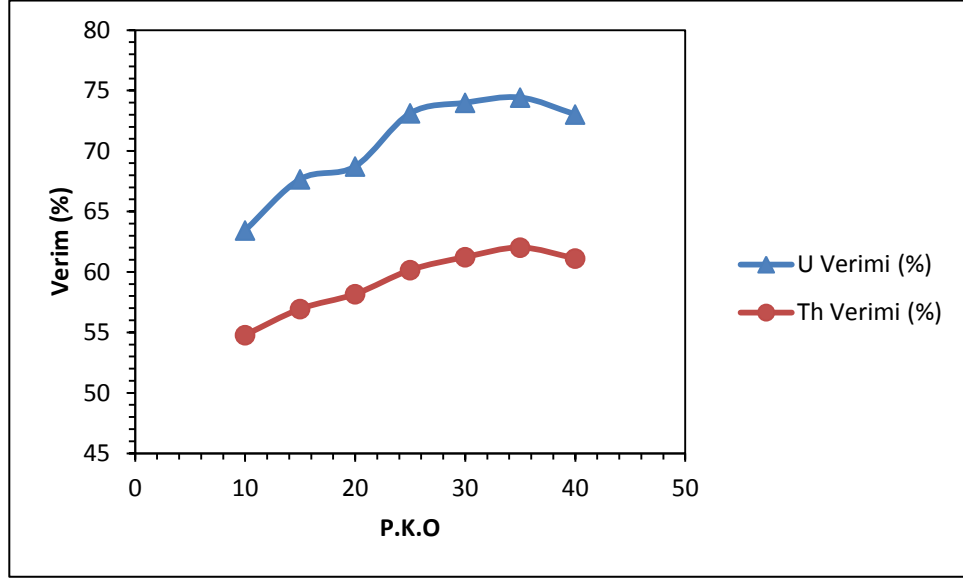
Ortalama pH: 2,83

Deney sonuçları Tablo 4.26'da verilmiştir.

Tablo 4.26: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları

P.K.O (%)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
10	63,43	54,77
15	67,66	56,93
20	68,72	58,16
25	73,12	60,15
30	73,99	61,22
35	74,42	62,01
40	73,02	61,11

Tablo 4.26'daki deney sonuçları kullanılarak Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği Şekil 4.32'de verilmiştir.



Şekil 4.32: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği

Şekil 4.31 ve 4.32'de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre Yatağan ve Soma TS küllerinde uranyum çözünme verimi bir noktaya kadar PKO'ya bağlı olarak artış göstermektedir. Yatağan TS külünde en yüksek çözünme verimi %70,78 ile %30 PKO şartlarında gerçekleşmiş olup bu noktadan sonra ise verim azalma eğilimine girmiştir. Soma TS külünde de benzer sonuçlar elde edilmiş olup en yüksek uranyum çözünme verimi %75,62 ile %35 PKO şartlarında elde edilmiştir. Toryum çözünme verimleri ise uranyum çözünme verimlerine paralel olarak; Yatağan TS külü için %63,41 ile %30 PKO şartlarında, Soma TS külü için de %65,18 ile %35 PKO şartlarında elde edilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında, Soma TS külünde %35 P.K.O'da daha iyi sonuçlar elde edilse bile P.K.O arttıkça pülpün karıştırılmasına ortaya çıktıktan zorluklar da göz önünde bulundurularak sonraki HCl asit liçi deneylerinde optimum P.K.O'nın %30 olarak alınmasına karar verilmiştir.

4.4.2.2. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Süresine Göre Değişimi

Liç süresi, çözücü reaktifin çözülmesi istenen madde ile daha uzun süre birarada bulunmasını sağlayarak reaksiyona girme ihtimalini arttırması hem de uzun süren reaksiyonların tamamlanmasına imkan sağlaması açısından önemli bir liç parametresidir. Bu nedenle liç deneylerinde araştırılan parametrelerden birisi de liç süresi olmuştur.

Yatağan TS külü (HCl) liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 100 g/ton %5'lik çözelti (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (HCl)

P.K.O: %30

Liç süresi: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 220, 240, 260, 320 (dak)

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

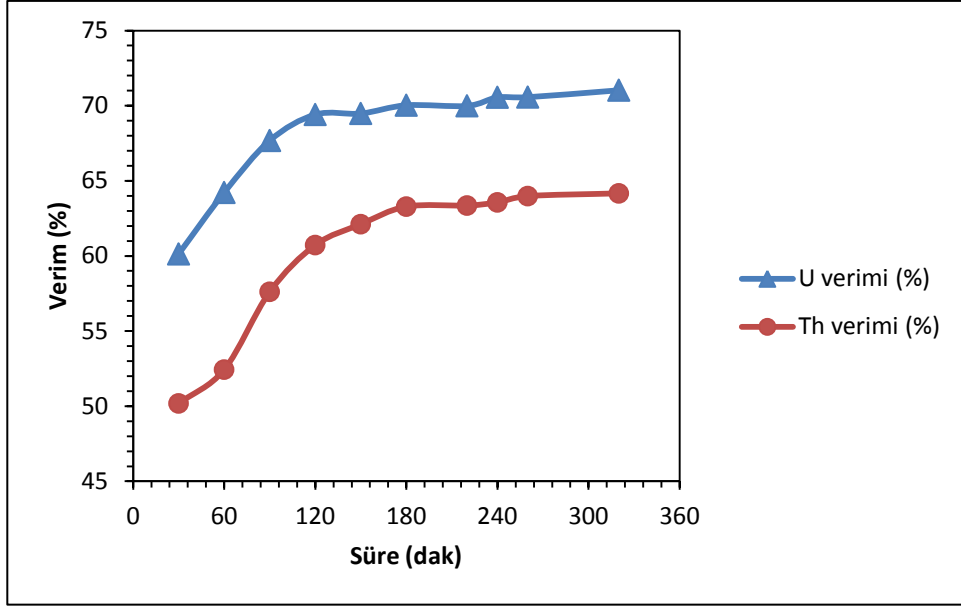
Ortalama pH: 2.81

Deney sonuçları Tablo 4.27'de verilmiştir.

Tablo 4.27: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları

Çözünme süresi (dak)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
30	60,13	50,18
60	64,22	52,43
90	67,68	57,61
120	69,41	60,72
150	69,68	62,11
180	70,03	63,28
220	69,99	63,35
240	70,48	63,56
260	70,57	63,98
320	71,03	64,16

Tablo 4.27'deki deney sonuçları kullanılarak Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği Şekil 4.33'de verilmiştir.



Şekil 4.33: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği

Soma TS külü (HCl) liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 100 g/ton %5'lik çözelti (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (HCl)

P.K.O: %30

Liç süresi: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 220, 240, 260, 320 (dak)

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

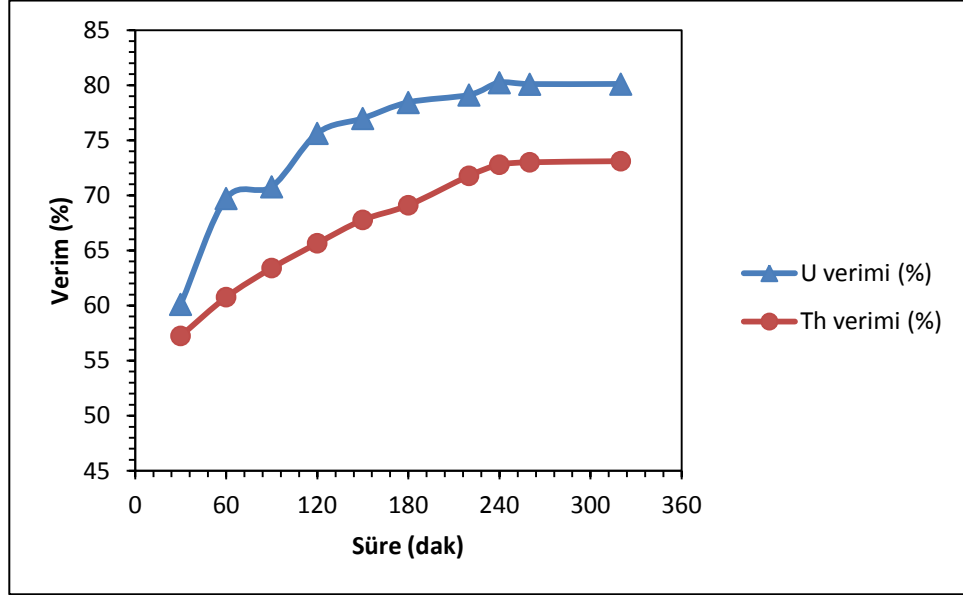
Ortalama pH: 2.66

Deney sonuçları Tablo 4.28'de verilmiştir.

Tablo 4.28: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları

Çözünme süresi (dak)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
30	57,42	48,22
60	60,93	52,11
90	65,77	56,78
120	70,48	60,12
150	72,69	61,79
180	75,18	64,12
220	75,22	65,01
240	75,47	65,27
260	74,43	65,66
320	74,46	65,94

Tablo 4.28'deki deney sonuçları kullanılarak Soma TS külünün HCl asit ile asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği Şekil 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.34: Soma TS külünün HCl asit ile asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği

Şekil 4.33 ve 4.34'de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre her iki kül numunesi için de uranyum çözünme verimlerinin süreye bağlı olarak arttığı görülmektedir. Yatağan TS külü için uranyum çözünme verimi 240 dakikaya kadar artış göstermiş, bu noktadan sonra artan süre ile birlikte önemli bir değişim gözlenmemiştir. Soma TS külü için de yine benzer şekilde uranyum çözünme veriminde 240 dakikaya kadar doğrusal olarak artış, bu noktadan sonra azalma ve akabinde sabitlenme gözlenmiştir. Toryum çözünme verimleri ise genel olarak liç süresi ile artış göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında uranyum ve toryum çözünme verimleri birlikte değerlendirildiğinde sonraki deneylerde optimum liç süresinin 240 dakika olarak alınmasına karar verilmiştir.

4.4.2.3. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Asit Miktarına Göre Değişimi

Yatağan TS külü (HCl) liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 300 g/ton %5'lik çözelti (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (HCl)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Liç sıcaklığı: 20 °C

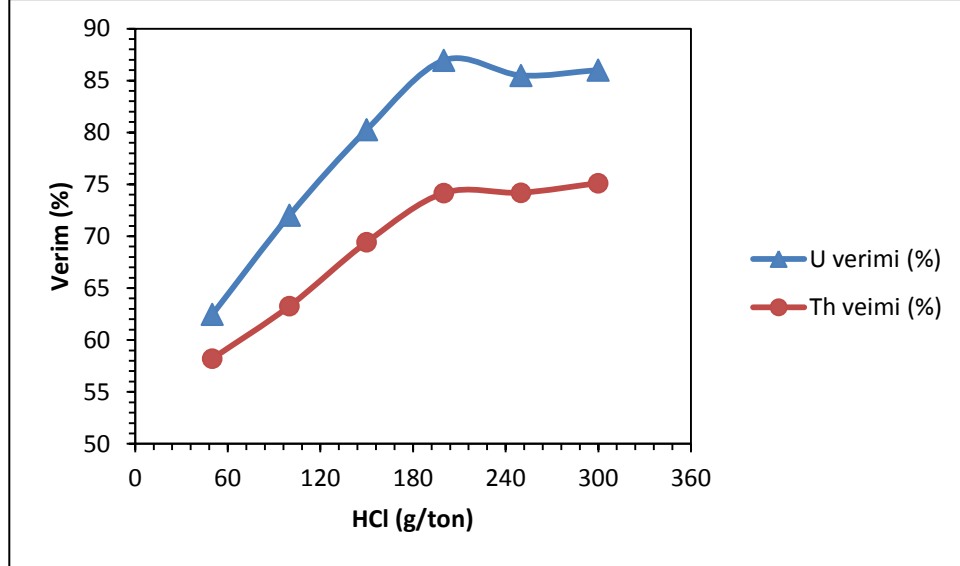
Karıştırma hızı: 250 devir/dak

Ortalama pH: 2,98 şeklindedir. Deney sonuçları Tablo 4.29’da verilmiştir.

Tablo 4.29: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları

HCl Asit miktarı (g/ton)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
50	62,48	58,21
100	72,03	63,27
150	80,27	69,43
200	86,95	74,16
250	85,49	74,19
300	86,01	75,11

Tablo 4.29’daki deney sonuçları kullanılarak Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği Şekil 4.35’de verilmiştir.



Şekil 4.35: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği

Soma TS külü (HCl) liçi deney koşulları:

Asit miktarı: 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 300 g/ton %5’lik (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1’lik (HCl)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

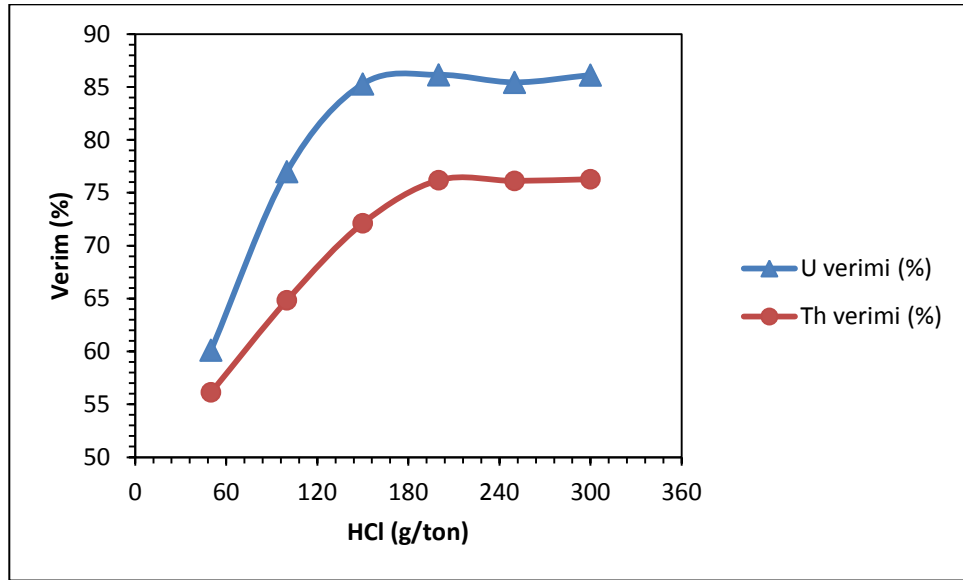
Ortalama pH: 2,11

Deney sonuçları Tablo 4.30'da verilmiştir

Tablo 4.30: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları

HCl Asit miktarı (g/ton)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
50	60,11	56,13
100	76,98	64,83
150	85,27	72,11
200	86,13	76,18
250	85,42	76,11
300	86,11	76,27

Tablo 4.30'daki deney sonuçları kullanılarak Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği Şekil 4.36'da verilmiştir.



Şekil 4.36: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği

Şekil 4.35 ve 4.36'da grafiksel olarak verilen sonuçlara göre her iki kül numunesinde de uranyum çözünme verimlerinin HCl miktarına paralel olarak arttığı görülmektedir. Yatağan TS külü için uranyum çözünme verimi 200 g/ton asit

miktarına kadar artış göstermiş, bu noktadan sonra ise %1,5 azalarak sabitlenme eğilimi göstermiştir. Soma TS külü için de yine benzer şekilde uranyum çözünme verimi 200 g/ton asit miktarına kadar doğrusal olarak artarak %86,13 seviyesine ulaşmış, bu noktadan sonra ise azalarak sabitlenme gözlenmiştir. Toryum çözünme verimleri ise genel olarak asit miktarı ile birlikte artış göstermiştir. Bu sonuçlar ışığında uranyum ve toryum çözünme verimleri birlikte değerlendirildiğinde sonraki deneylerde optimum HCl miktarı 200 g/ton olarak alınmıştır.

4.4.2.4. Yatağan ve Soma TS Külünün HCl Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Sıcaklığına Göre Değişimi

Yatağan TS külü HCl liç deney koşulları:

Asit miktarı: 200 g/ton %5'lik çözelti (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (HCl)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20, 40, 60 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

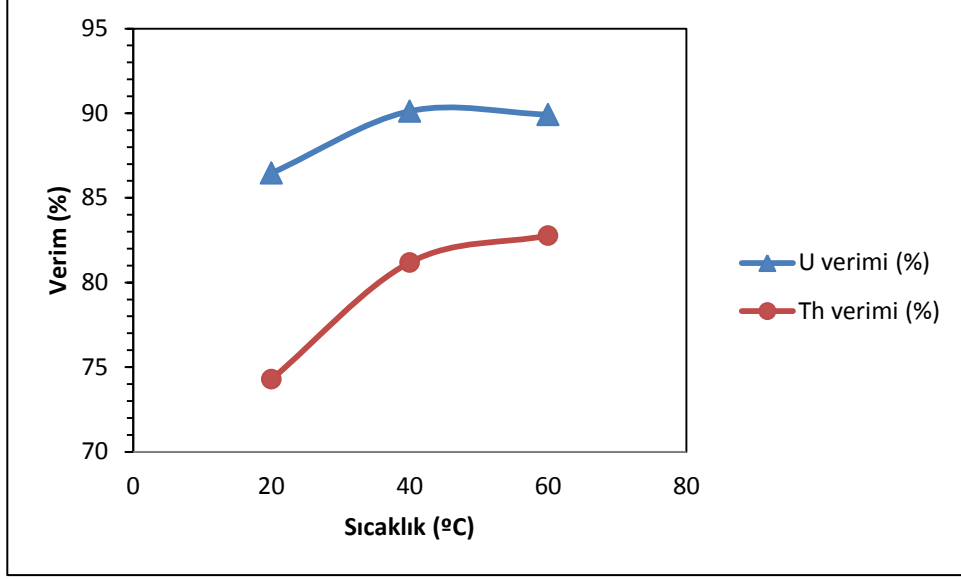
Ortalama pH: 2,9

Deney sonuçları Tablo 4.31'de verilmiştir.

Tablo 4.31: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları

Yatağan TS (°C)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
20	86,47	74,29
40	90,12	81,18
60	89,92	82,77

Tablo 4.31'deki deney sonuçları kullanılarak Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.37: Yatağan TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği

Soma TS külü HCl liç deney koşulları:

Asit miktarı: 200 g/ton %5'lik çözelti (HCl)

Yıkama çözeltisi: %1'lik (HCl)

P.K.O: %30

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20, 40, 60 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

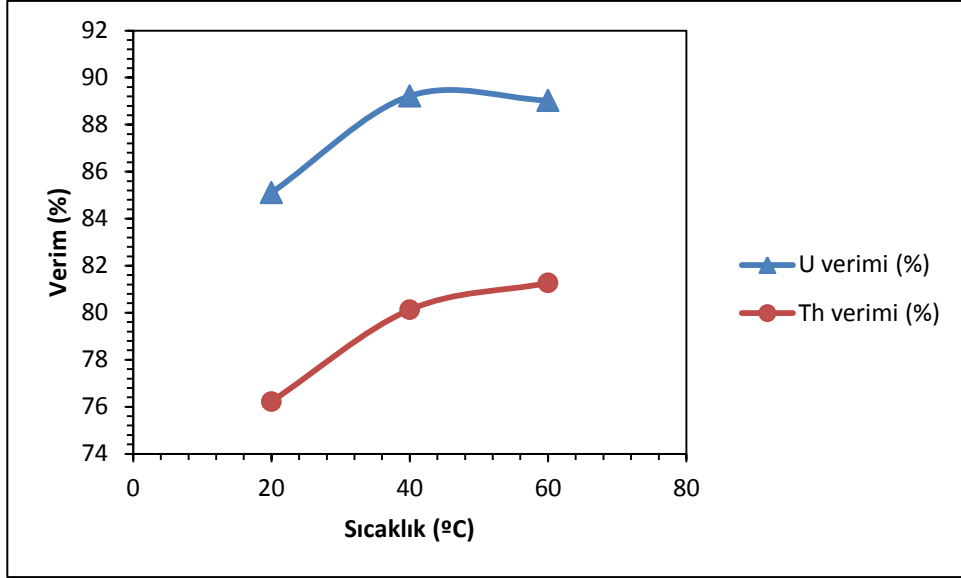
Ortalama pH: 2,77

Deney sonuçları Tablo 4.32'de verilmiştir.

Tablo 4.32: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim sonuçları

Soma TS (°C)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
20	85,11	76,22
40	89,22	80,13
60	89,03	81,27

Tablo 4.32'deki deney sonuçları kullanılarak Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği Şekil 4.38'de verilmiştir.



Şekil 4.38: Soma TS külünün HCl asit ile liçinde uranyum çözündürme veriminin sıcaklığa göre değişim grafiği

Şekil 4.37 ve 4.38’de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre her iki kül numunesinde de uranyum çözünme verimlerinin sıcaklığa bağlı olarak arttığı görülmektedir. Yatağan TS külü için %90,12 verimin, Soma TS külü için ise %89,03 verimin elde edildiği 40 °C sıcaklık sonrasında denenen 60 °C sıcaklıkta önemli bir değişim gözlenmiştir. Toryum çözünme verimleri ise genel olarak liç sıcaklığının yükselmesi ile birlikte artış göstermiştir. Yatağan ve Soma TS küllerinde en iyi toryum çözünme verimleri sırasıyla %82,77 ve %81,27 değerleri ile 60 °C liç sıcaklığında gerçekleştirilen liç deneyleri sonucunda elde edilmiştir. Ancak liç sıcaklığının yükselmesi uranyum ve toryum çözünme verimini arttırdığı gibi alüminyum silikatların da çözeltiye geçmesine neden olmaktadır.

4.4.3. Asetik Asitle (CH_3COOH) Liç Deneyleri

Asetik asit zayıf bir asit olup, uranyum asetik asitle reaksiyonunda çözeltiye uranyum asetat, toryum ise toryum asetat olarak geçmektedir.

4.4.3.1. Yatağan ve Soma TS Külünün CH_3COOH Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözünme Veriminin P.K.O'ya Göre Değişimi

Yatağan TS külü CH_3COOH liç deney koşulları:

Asit miktarı: 100 g/ton %5'lik çözelti (CH_3COOH)

Yıkama Çözeltisi: %2'lik (CH_3COOH)

PKO:%10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

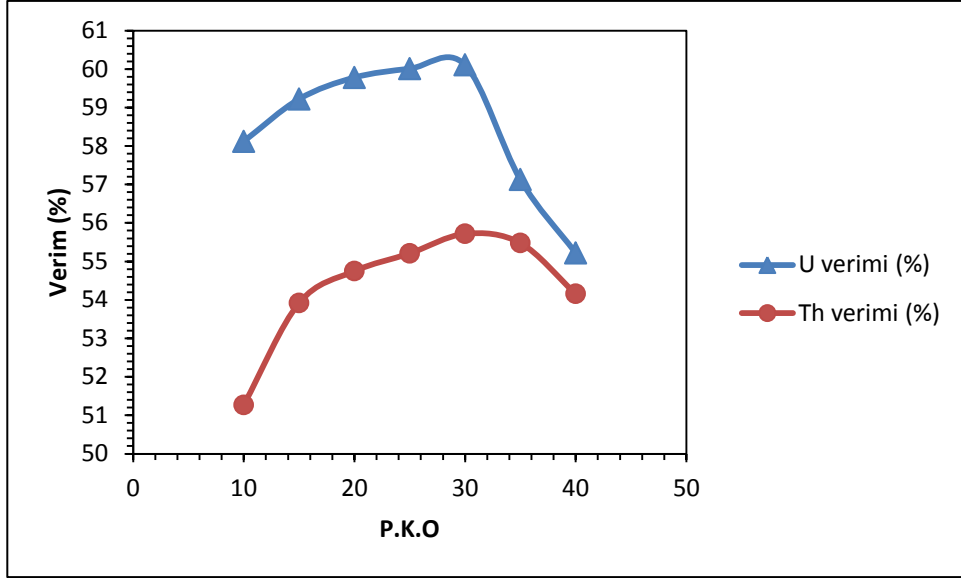
Ortalama pH: 3,17

Deney sonuçları Tablo 4.33'de verilmiştir.

Tablo 4.33: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları

P.K.O (%)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
10	58,12	51,27
15	59,22	53,92
20	59,78	54,75
25	60,01	55,21
30	60,11	55,72
35	57,13	55,48
40	55,22	54,16

Tablo 4.33'deki deney sonuçları kullanılarak Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği

Soma TS külü CH_3COOH liç deney koşulları:

Asit miktarı: 100 g/ton %5'lik çözelti (CH_3COOH)

Yıkama Çözeltisi: %2'lik (CH_3COOH)

PKO: %10, 15, 20, 25, 30, 35, 40

Liç süresi: 240 dak

Sıcaklık: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

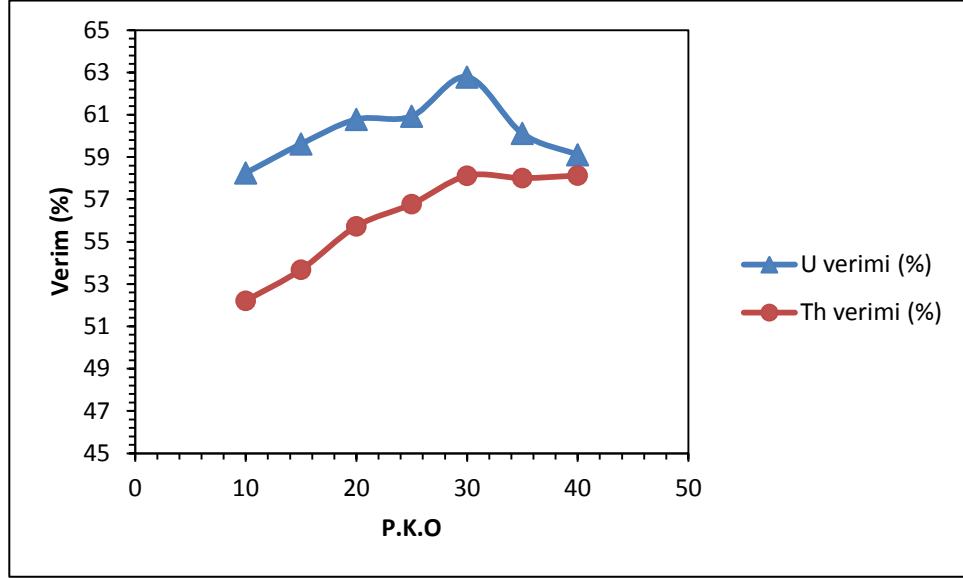
Ortalama pH: 3,07

Deney sonuçları Tablo 4.34'de verilmiştir.

Tablo 4.34: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim sonuçları

P.K.O (%)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
10	58,25	52,21
15	59,62	53,68
20	60,78	55,73
25	60,93	56,78
30	62,78	58,12
35	60,12	58,01
40	59,11	58,13

Tablo 4.34'deki deney sonuçları kullanılarak Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği Şekil 4.40'de verilmiştir.



Şekil 4.40: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin P.K.O'ya göre değişim grafiği

Şekil 4.39 ve 4.40'de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre Yatağan ve Soma TS küllerinde uranyum çözünme verimleri en yüksek seviyeye %30 PKO şartlarında ulaşmıştır. Yatağan TS külü için %60,11 ve Soma TS külü için %62,78 uranyum çözünme verimlerinin elde edildiği bu orandan sonra ise verim PKO'nun artışına ters orantılı şekilde azalma eğilimi göstermiştir. Toryum çözünme verimleri incelendiğinde; Yatağan külünde uranyum çözünme verimine benzer bir davranış göstererek %55,72 ile en yüksek seviyeye %30 PKO şartlarında ulaşmış bu noktadan sonra ise azalma gözlenmiştir. Soma TS külünde ise toryum çözünme verimi PKO artışına paralel olarak artmış ve %30 PKO şartlarından sonra önemli bir değişim gözlenmemiştir. Her iki TS külü için elde edilen hem uranyum hem de toryum çözünme verimleri göz önünde bulundurulduğunda ve P.K.O arttıkça pülpün karıştırılmasına ortaya çıktıktan zorluklar da göz önünde bulundurularak sonraki deneylerde optimum P.K.O'nın %30 olarak alınmasına karar verilmiştir.

4.4.3.2. Yatağan TS Külünün CH_3COOH Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Liç Süresine Göre Değişimi

Yatağan TS külü CH_3COOH liç deney koşulları:

Asit miktarı: 100 g/ton %5'lik çözelti (CH_3COOH)

Yıkama çözeltisi: %2'lik (CH_3COOH)

P.K.O: %30

Liç süresi: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 220, 240, 260, 320 (dak)

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

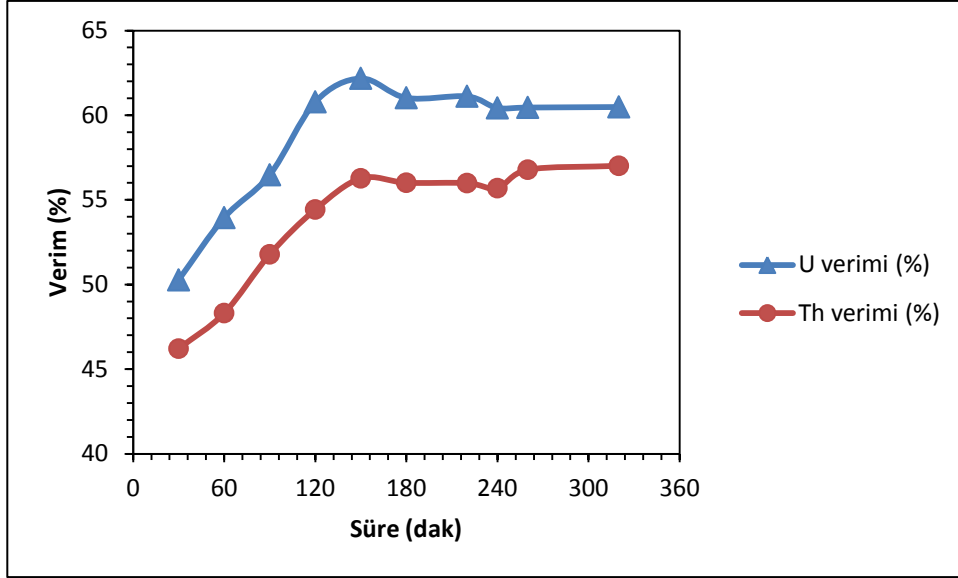
Ortalama pH: 3,27

Deney sonuçları Tablo 4.35'de verilmiştir.

Tablo 4.35: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları

Çözünme Süresi (dak)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
30	50,27	46,21
60	53,95	48,31
90	56,48	51,78
120	60,79	54,43
150	62,18	56,27
180	61,03	56,01
220	61,12	55,99
240	60,43	55,69
260	60,46	56,78
320	60,49	57,01

Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği

Soma TS külü CH_3COOH liç deney koşulları:

Asit miktarı: 100 g/ton %5'lik çözelti (CH_3COOH)

Yıkama çözeltisi: %2'lik (CH_3COOH)

P.K.O: %30

Liç süresi: 30, 60, 90, 120, 150, 180, 220, 240, 260, 320 (dak)

Liç sıcaklığı: 20 °C

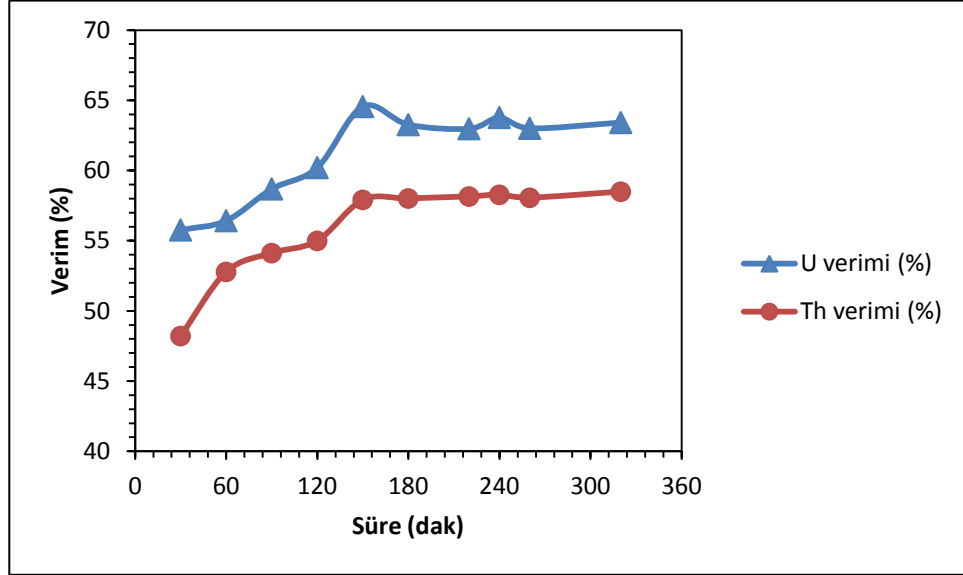
Karıştırma hızı: 250 devir/dak

Ortalama pH: 3,14 şeklindedir. Deney sonuçları Tablo 4.36'da verilmiştir.

Tablo 4.36: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim sonuçları

Çözünme Süresi (dak)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
30	55,77	48,21
60	56,43	52,78
90	58,69	54,12
120	60,21	54,99
150	64,56	57,91
180	63,27	58,01
220	62,98	58,15
240	63,78	58,27
260	63,01	58,06
320	63,42	58,49

Tablo 4.36'daki deney sonuçları kullanılarak Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği Şekil 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.42: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin süreye bağlı değişim grafiği

Şekil 4.41 ve 4.42'de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre her iki külde de uranyum çözünme verimlerinin süreye bağlı olarak belirli bir noktaya kadar arttığı, bu noktalardan sonra ise azalarak nispeten sabitlenme eğilimine girdiği görülmektedir. Hem Yatağan TS külü için, hem de Soma TS külü için uranyum çözünme verimi 150 dakikaya kadar doğrusal olarak artmış, bu noktadan sonra ise ortalama %1 azalarak önemli bir değişim göstermemiştir. Buna göre optimum liç süresinin, Yatağan ve Soma TS külleri için sırasıyla %62,18 ve %64,56 ile en yüksek uranyum çözünme verimlerinin elde edildiği 150 dakika olduğu söylenebilmektedir. Toryum çözünme verimleri ise genel olarak liç süresindeki artış ile birlikte yükselmiştir. Bu sonuçlar ışığında uranyum ve toryum çözünme verimleri birlikte değerlendirildiğinde sonraki CH_3COOH asit ile liç deneylerinde optimum liç süresi 150 dakika olarak alınmıştır.

4.4.3.3. Yatağan ve Soma TS Külünün CH_3COOH Asit ile Liçinde Uranyum ve Toryum Çözündürme Veriminin Asit Miktarına Göre Değişimi

Yatağan TS külü CH_3COOH liç deney koşulları:

Asit miktarı: 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 300 g/ton %5'lik (CH_3COOH)

Yıkama çözeltisi: %2'lik (CH_3COOH)

P.K.O: %30

Liç süresi: 150 dak

Liç sıcaklığı: 20 °C

Karıştırma hızı: 250 devir/dak

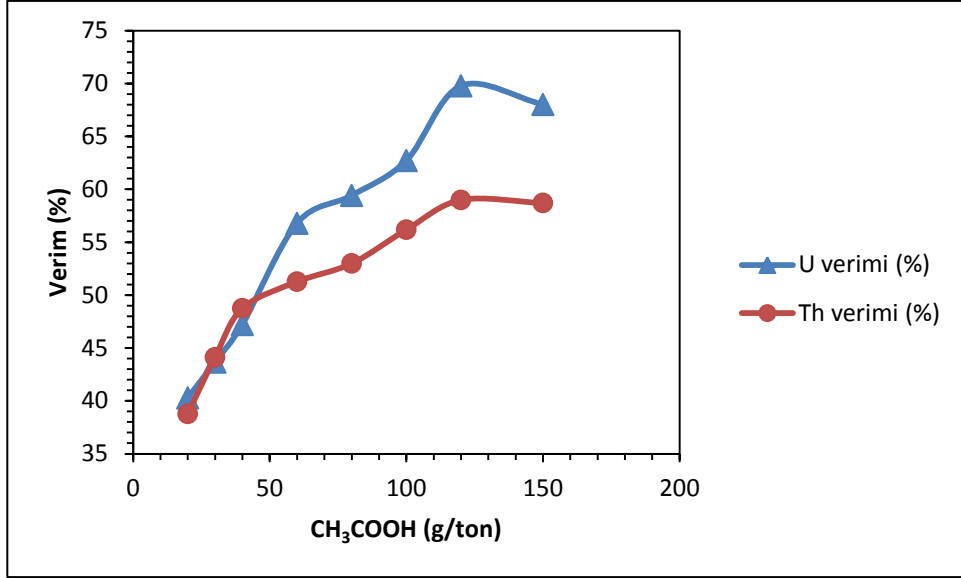
Ortalama pH: 3,16

şeklindedir. Deney sonuçları Tablo 4.37'de verilmiştir.

Tablo 4.37: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları

Asetik asit miktarı (g/ton)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
20	40,27	38,77
30	43,66	44,12
40	47,21	48,75
60	56,78	51,27
80	59,41	52,99
100	62,71	56,18
120	69,77	58,99
150	68,01	58,71

Tablo 4.37'deki deney sonuçları kullanılarak Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği Şekil 4.43'de verilmiştir.



Şekil 4.43: Yatağan TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözüldürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği

Soma TS külü CH_3COOH liç deney koşulları:

Asit miktarı: 20, 30, 40, 60, 80, 100, 120, 150, 300 g/ton %5'lik (CH_3COOH)

Yıkama çözeltisi: %2'lik (CH_3COOH)

P.K.O: %30

Liç süresi: 150 dak

Liç sıcaklığı: 20 °C

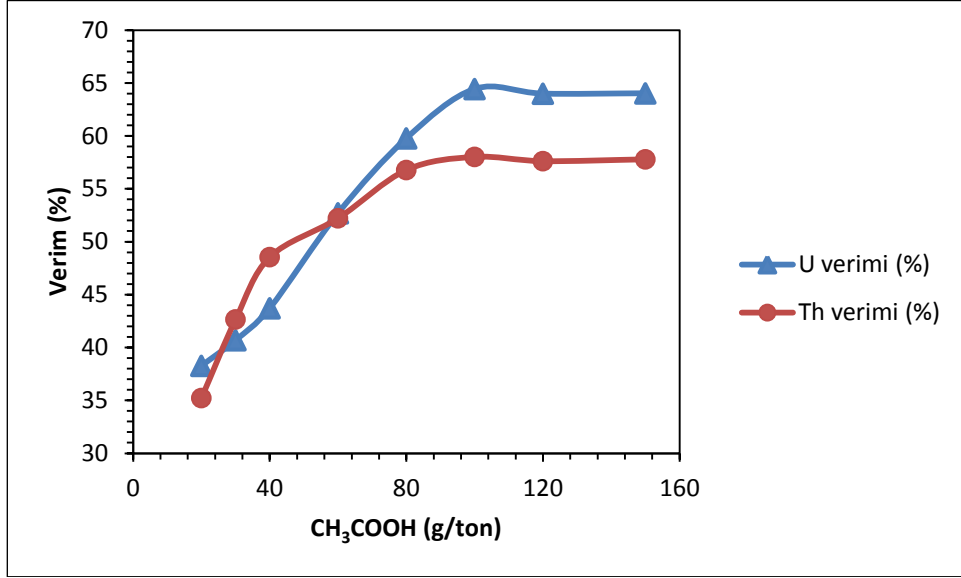
Karıştırma hızı: 250 devir/dak

Ortalama pH: 3,21 şeklindedir. Deney sonuçları Tablo 4.38'de verilmiştir.

Tablo 4.38: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözüldürme veriminin asit miktarına göre değişim sonuçları

Asetik asit miktarı (g/ton)	U çözünme verimi (%)	Th çözünme verimi (%)
20	38,27	35,23
30	40,69	42,66
40	43,71	48,55
60	52,69	52,22
80	59,77	56,78
100	64,43	58,02
120	63,99	57,62
150	64,02	57,79

Tablo 4.38'deki deney sonuçları kullanılarak Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği Şekil 4.44'de verilmiştir.



Şekil 4.44: Soma TS külünün CH_3COOH asit ile liçinde uranyum ve toryum çözündürme veriminin asit miktarına göre değişim grafiği

Şekil 4.43 ve 4.44'de grafiksel olarak verilen sonuçlara göre her iki TS külünde de uranyum çözünme verimlerinin CH_3COOH miktarına bağlı olarak belirli bir noktaya kadar arttığı, bu noktalardan sonra ise azaldığı görülmektedir. Yatağan TS külü için uranyum çözünme verimi 120 g/ton asit miktarına kadar artış göstermiş, %69,77 verim elde edilen bu noktadan sonra ise %1,76 azalmıştır. Buna göre optimum asit miktarı en yüksek çözünme veriminin de elde edildiği 120 g/ton olmuştur. Soma TS külü için de yine benzer şekilde uranyum çözünme verimi belirli bir asit miktarına kadar doğrusal olarak artmış, %64,43 ile 100 g/ton'da gözlenen bu noktadan sonra denenen 120 g/ton asit miktarında ise %0,44 azalarak sabitlenmiştir. Buna göre de Soma külü için optimum asit miktarı en yüksek çözünme veriminin de elde edildiği 100 g/ton olduğu söylenebilmektedir. Yatağan TS külü için toryum çözünme verimi ise 120 g/ton asit miktarına kadar artış göstermiş, % 58,99 değerinin elde edildiği bu noktadan sonra ise 150 g/ton asit miktarında %0,28 azalmıştır. Buna göre toryum çözünme verimi açısından optimum asit miktarı en yüksek çözünme veriminin de elde edildiği 120 g/ton olmuştur. Soma TS külünde ise toryum çözünme verimi

belirli bir asit miktarına kadar doğrusal olarak artmış, 100 g/ton'da gözlenen bu noktadan sonra azalarak sabitlenmiştir. Buna göre de Soma Termik Santrali külü için optimum asit miktarı %58,02 ile en yüksek toryum çözünme veriminin de elde edildiği 100 g/ton olduğu söylenebilmektedir. Bu sonuçlar ışığında hem uranyum hem de toryum çözünme verimleri açısından optimum CH_3COOH miktarının Yatağan TS külü için 120 g/ton, Soma TS külü için ise 100 g/ton olduğu belirlenmiştir.

Asetik asitle sıcaklığın incelendiği deneysel çalışmalarda herhangi bir verim artışı gözlenmemiştir. Asetik asitin uçucu bir asit olması bunun en önemli sebebidir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Türkiye’de elektrik üretiminin önemli bir kısmı kömürle çalışan termik santrallerden karşılanmaktadır. Termik santrallerden enerji üretimi sırasında büyük hacimlerde uçucu kül atıkları oluşmaktadır. Yıllık uçucu kül atıkların çok az bir kısmı çimento ve tuğla gibi endüstrilerde değerlendirilebilmekte, kalanı doğrudan atık alanlar oluşturmaktadır. Şimdilik, birçok zehirli elementi içeren uçucu küller toplama havuzlarında yada yığınlar halinde depolanmaktadır. Bu çalışmada uçucu küllerin çevresel açıdan karakterizasyonu ve sınıflandırılması, ayrıca bu küllerin içerdiği ağır metal, iz elementler ve radyoaktif element içeriklerinin hem çevresel etkilerinin azaltılabilirliğinin hem de ekonomik açıdan değer teşkil edebilecek içeriklerin kazanılmasının araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Yatağan ve Soma termik santrallerinden uçucu kül numuneleri alınarak bu numunelerin üzerinde karakterizasyon deneyleri ile cevher hazırlama ve zenginleştirme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları kapsamında tane boyut analizi, nem analizi, yoğunluk tayini, pH profili ölçümleri, zeta potansiyeli ölçümleri, kimyasal analizler, mineralojik analizler ve iz element içeriği analizleri gerçekleştirilmiştir. Cevher hazırlama ve zenginleştirme çalışmaları kapsamında ise laboratuvar ölçekli kimyasal çözündürme deneyleri yapılmıştır.

Deneylere esas olan numunelere öncelikle orjinal nem içeriklerini kaybetmeden nem analizleri uygulanmıştır. Bu analizlerin sonucunda, Soma TS uçucu kül numunesinin toplam %3,27, Yatağan TS uçucu kül numunesinin ise toplam %4,21 nem içerdiği belirlenmiştir.

Termik santrallerden alınan deneysel çalışmalara esas numunelere yaş elek analizleri yapılmıştır. Elek analizleri sonucunda Yatağan Termik Santrali uçucu külünün d_{50} ve d_{80} boyutlarının sırasıyla 0,13 mm ve 0,27 mm olduğu, Soma Termik Santrali uçucu külünün d_{50} ve d_{80} boyutlarının ise sırasıyla 0,04 mm ve 0,10 mm olduğu tespit edilmiştir.

Uçucu kül numunelerinin yoğunluklarının belirlenmesi amacıyla piknometre ile yoğunluk analizleri yapılmıştır. Yapılan deneylerin sonucunda Yatağan Termik Santrali külünün ortalama yoğunluğu 2.17 g/cm^3 ve Soma Termik Santrali külünün ortalama yoğunluğu 2.34 g/cm^3 olarak tespit edilmiştir.

Uçucu kül numunelerinin elektrokinetik özelliklerinin tespiti amacı ile ilk önce her bir numunenin saf su içerisindeki pH profili çıkarılmıştır. Buna göre Yatağan Termik Santrali külünün saf sudaki ortalama pH değeri 11.75 ve Soma Termik Santrali külünün saf sudaki ortalama pH değeri 12.53 olarak tespit edilmiştir.

Numunelerin sıfır yük noktalarının (syn) bulunması için, her bir numunenin pH'ya göre zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda her iki termik santrali kül numunesinin de tek bir sıfır yük noktası bulunmadığı görülmüştür, ölçüm alınan pH aralıklarında iki sıfır yük noktası gözlenmiştir. Yaklaşık olarak $\text{pH}=6,5$ ile $\text{pH}=9,8$ aralıklarında numunelerin yüzey yüklerinin negatif olduğu, $\text{pH}<6,5$ ve $\text{pH}>9,8$ durumlarında ise yüzey yüklerinin pozitif olduğu tespit edilmiştir.

Mineralojik incelemeler kapsamında, XRD analizleri, elek fraksiyonları üzerinde optik mikroskop incelemeleri, (SEM) analizleri ve ince kesit incelemeleri gerçekleştirilmiştir.

Uçucu küllerinin mineralojik yapılarının ortaya konulabilmesi amacıyla XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. XRD analizleri sonucunda Yatağan Termik Santrali uçucu kül numunesinin yüksek oranda kuvars- SiO_2 ve nispeten daha düşük miktarlarda albit- $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$ ve kalsit CaCO_3 minerallerini içerdiği, Soma Termik Santrali uçucu kül numunelerinin ise kireç, kuvars- SiO_2 , albit- $\text{Na(AlSi}_3\text{O}_8)$, kalsit CaCO_3 , klorit, serpantin, pirit, montmorillonit minerallerini içerdiği belirlenmiştir.

Mineralojik incelemeler kapsamında, elek analizi sonucunda elde edilen fraksiyonlar mineral kompozisyonlarının belirlenmesi amacıyla optik mikroskop altında incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Mikroskobik çalışmalara göre, gerek Soma Termik Santrali külünde gerekse Yatağan Termik Santrali külünde amorf maddelerin (cam) en önemli kısım olduğu saptanmıştır. Bunun yanı sıra özellikle Yatağan Termik Santrali küllerinde hala yanmamış karbon parçacıkları, Soma Termik Santrali külünde ise yüksek oranda Fe-oksit fazı bulunduğu belirlenmiştir. Uçucu küllerdeki

silisin bir kısmı kuvars kristalleri halinde, diğer bir kısmı ise alüminyumla birleşerek mullite (2SiO_2 , $3\text{Al}_2\text{O}_3$) dönüşmüş halde, geri kalanın ise camsı yapıda olduğu belirlenmiştir. Demirin ise kısmen manyetit (Fe_3O_4) ve hematit (Fe_2O_3) geri kalanın da camsı yapıda olduğu saptanmıştır.

Termik santral uçucu küllerinin morfolojilerinin belirlenmesi amacıyla (SEM) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda her iki termik santral uçucu külünde de genellikle büyüklükleri farklı ve değişken ve düzensiz küresel tanecikler bulunduğu ancak Yatağan Termik Santrali külünün Soma Termik Santrali külüne nazaran daha düzensiz bir formda olduğu görülmüştür. Her iki külde de yüzeylerde pürüzlü küresel ve yarı küresel yapı hakimdir. Her iki külde de mevcut köşeli taneciklerin kil tanecikleri olduğu görülmektedir. Yine köşeli yapılan bazıları yanmamış karbondur. Yarı küresel taneciklerin kaynağının ise, küresel yapıların parçalanması ve kil minerallerinin yanmasından sonra ergime sıcaklığının altında soğuması olabileceği düşünülmektedir. Yatağan küllerindeki kuvars ve ortoklas mineralleri kömür kaynaklı olup, stabil kristal örgüleri nedeniyle yanmadan küle katılmışlardır.

Yatağan ve Soma TS uçucu küllerinin ince kesit numunelerinin analizlerine göre Soma TS külünde uranyum uranit (UO_2), toryum ise torit ($\text{Th}(\text{SiO}_4)$) formunda cam faz üzerinde mineralize olmuştur. Yatağan TS külünde ise uranyum uranit (UO_2), toryum ise monazit ($(\text{Ce}, \text{La}, \text{Nd}, \text{Th})[\text{PO}_4]$) ve torit ($\text{Th}(\text{SiO}_4)$) formunda bulunmaktadır. Radyoaktif mineraller cam faz üzerinde dağılım göstermektedir. Soma TS külünde Uranyumda tane boyları 90-40 μm arasında değişirken toryumda ise 75-20 μm arasında değişmektedir. Yatağan TS külünde ise uranyum ve toryumda 80-5 μm arasında değişmektedir.

Termik santral uçucu kül numunelerinin kimyasal içeriklerinin belirlenmesi amacıyla ICP yöntemiyle komple kimyasal analizler gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda her iki kül numunesinin majör oksit ve iz element içerikleri ortaya konmuştur. Her iki numunenin de V, Zr, Sr, U, Th ve Ba içerikleri özellikle yüksek olduğu görülmüştür. Yatağan TS uçucu kül numunesinin 159 ppm V, 152,7 ppm Zr, 406,4 ppm Sr, 160 ppm U, 210 ppm Th ve 533 ppm Ba, Soma TS uçucu kül numunesinin ise 258 ppm V, 157 ppm Zr, 321,3 ppm Zr, 110 ppm U, 125 ppm Th ve 567 ppm Ba

içerdiği belirlenmiştir. Kimyasal analizlerin sonuçları kullanılarak deneylere esas olan numunelerin çeşitli uçucu kül sınıflandırma sistemlerine göre sınıflandırılmaları da gerçekleştirilmiştir.

Uçucu kül numunelerinin suda çözünme davranışlarının belirlenmesi ve küllerdeki suda çözünen içeriklerin “Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”ndeki sınır değerler açısından incelenmeleri amacıyla sıcaklığa ve zamana bağlı suda çözünürlük deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda her iki kül numunesindeki suda çözünebilir içeriklerin çözünürlüğünün de sıcaklık ve zamana bağlı olarak arttığı belirlenmiştir. Her iki termik santrali kül numunesinde de en yüksek çözünme 80 °C sıcaklık ve 6 saat süresince yapılan deneyler sonucunda elde edilmiştir. Bu şartlarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda Yatağan Termik Santrali kül numunesinde 2975,66 mg/lt Ca, 3,448 mg/lt Ni, 2,675 mg/lt Mo, 1,217 mg/lt Zn, 3,256 mg/lt Hg, 2,556 mg/lt Cr, 3,986 mg/lt Ba, 6,912 mg/lt Fe, 1,621 mg/lt Co, 4,677 mg/lt Sr, Soma Termik Santrali kül numunesinde ise 2267,21 mg/lt Ca, 3,021 mg/lt Ni, 2,127 mg/lt Mo, 2,623 mg/lt Hg, 2,125 mg/lt Cr, 1,672 mg/lt Ba, 5,612 mg/lt Fe, 1,679 mg/lt Co, 2,717 mg/lt Sr çözünmesi gözlenmiştir. Suda çözünürlük deneyleri sonuçlarına dayanarak Yatağan ve Soma termik santralleri uçucu küllerindeki 6 saat sürede çözünen ağır metal içeriklerinin 13.02.2008 tarihli “Su Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği”ndeki maden sanayii atık sularının alıcı ortama deşarj standartlarındaki sınır değerler karşılaştırılması sonucunda her iki numunede de çözünen Pb, Fe, Cd içeriklerinin sınır değerleri aştığı görülmektedir.

Kimyasal analizler sonucu elde edilen değerler kullanılarak numunelerin uçucu kül standartlarına göre sınıflandırılmaları yapılmıştır. ASTM C618 standardına göre Yatağan Termik Santrali uçucu kül numunesi; SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının % 72.38 oluşu ile F uçucu kül sınıfında, Soma Termik Santrali uçucu kül numunesi ise SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının % 64.54 oluşu ile C uçucu kül sınıfında yer almaktadır. Aynı zamanda bu küller CaO yüzdeleri % 10’un üstünde olduğu için yüksek kireçli kül sınıfında yer almaktadırlar. Buna göre hem Yatağan TS hem de Soma TS uçucu külleri ASTM 618 standardındaki sınır değerleri karşılamaları dolayısıyla çimento katkısı olarak kullanılabilecek özelliktedirler.

Ancak Yatağan ve Soma TS küllerinin çimento katkısı olarak kullanımlarında ait oldukları uçucu kül sınıfının özelliklerine göre avantaj ve dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır.

Yatağan TS uçucu küllerinin kimyasal bileşiminin uluslararası standard TS 639'da belirtilen limitlere uygun olduğu ve bu standarda göre de çimentoda kullanılabilir özellikte olduğu görülmektedir. Soma TS uçucu külleri ise SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 içerikleri toplamının %70'den az olması nedeniyle standarttaki kriterleri karşılayamamaktadır.

TS EN 197-1 genel çimento sınıflarının bileşimini, özelliklerini ve uygunluk kriterlerini içeren tanımlayıcı bir standarttır. Yatağan ve Soma TS uçucu külleri TS EN 197-1 standardına göre kireç (CaO) oranları %10'dan, SiO_2 oranları ise %25'ten fazla oldukları için W (kalkersi) uçucu kül sınıfına girmektedirler. W sınıfı uçucu küller, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir töz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu standarda göre her iki kül numunesi de çimentoda kullanılabilirlik kriterlerini karşılamaktadır.

Yatağan ve Soma termik santrallerinden alınan uçucu kül numuneleri kullanılarak gerçekleştirilen liç deneylerinde kül numunelerindeki uranyum ve toryum içeriklerinin yüksek tenör ve yüksek verimle kazanılması amaçlanmıştır. Liç deneylerinde literatürde de uranyum ve toryum içeriklerinin çözeltiye alma konusunda etkinliği ortaya konmuş olan sülfürik asit (H_2SO_4), hidroklorik asit (HCl) ve asetik asit (CH_3COOH) olmak üzere üç farklı asit kullanımı ve bu kullanılan asitlerde pülpte katı oranı, çözündürme süresi, asit miktarı, liç sıcaklığı parametreleri denenerek gerek uranyum gerekse toryum açısından en uygun koşullar belirlenmeye çalışılmıştır.

Sülfürik asit (H_2SO_4) ile gerçekleştirilen liç deneylerinde; %10-15-20-25-30-35 PKO, 30-60-90-120-150-180-220-240-260-320 dakika liç süresi, 20-30-40-60-80-100-120-150-300 g/ton H_2SO_4 miktarı ve 20-40-60 °C liç sıcaklığı parametreleri denenmiş olup her iki kül numunesi için de en iyi sonuçlar %30 PKO, 120 g/ton H_2SO_4 miktarı, 240 dakika liç süresi ve 60 °C liç sıcaklığı koşullarında elde edilmiştir. Belirtilen bu optimum koşullarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda,

Yatağan Termik Santrali kül numunesi için %97,12 uranyum çözünme verimi ve %91,21 toryum çözünme verimi, Soma Termik Santrali kül numunesi için de %94,71 uranyum çözünme verimi ve %93,21 toryum çözünme verimi elde edilmiştir.

Hidrolorik asit (HCl) ile gerçekleştirilen liç deneylerinde; %10-15-20-25-30-35 PKO, 30-60-90-120-150-180-220-240-260-320 dakika liç süresi, 50-100-150-200-250-300 g/ton H_2SO_4 miktarı ve 20-40-60 °C liç sıcaklığı parametreleri denenmiş olup her iki kül numunesi için de en iyi sonuçlar %30 PKO, 200 g/ton HCl miktarı, 240 dakika liç süresi ve 60 °C liç sıcaklığı koşullarında elde edilmiştir. Belirtilen bu optimum koşullarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Yatağan Termik Santrali kül numunesi için %89,92 uranyum çözünme verimi ve %82,77 toryum çözünme verimi, Soma Termik Santrali kül numunesi için de %89,03 uranyum çözünme verimi ve %81,27 toryum çözünme verimi elde edilmiştir.

Asetik asit (CH_3COOH) ile gerçekleştirilen liç deneylerinde; %10-15-20-25-30-35 PKO, 30-60-90-120-150-180-220-240-260-320 dakika liç süresi, 20-30-40-60-80-100-120-150 g/ton CH_3COOH miktarı parametreleri denenmiş olup Yatağan Termik Santrali kül numunesi için en iyi sonuçlar %30 PKO, 120 g/ton CH_3COOH miktarı, 150 dakika liç süresi ve 20 °C liç sıcaklığı koşullarında, Soma Termik Santrali kül numunesi için de en iyi sonuçlar %30 PKO, 100 g/ton CH_3COOH miktarı, 150 dakika liç süresi ve 20 °C liç sıcaklığı koşullarında elde edilmiştir. Belirtilen bu optimum koşullarda gerçekleştirilen deneyler sonucunda, Yatağan Termik Santrali kül numunesi için % 69,77 uranyum çözünme verimi ve %58,99 toryum çözünme verimi, Soma Termik Santrali kül numunesi için de %64,43 uranyum çözünme verimi ve %58,02 toryum çözünme verimi elde edilmiştir.

Liç deneylerinde; üç farklı asit kullanımı ve bu asitlerde denenilen tüm parametreler sonucunda, en iyi sonuç sülfürik asit (H_2SO_4) kullanımında ve %30 PKO, 120 g/ton H_2SO_4 miktarı, 240 dakika liç süresi ve 60 °C liç sıcaklığı koşullarında elde edilmiş olup Yatağan Termik Santrali kül numunesi için %97,12 uranyum çözünme verimi ve %91,21 toryum çözünme verimi, Soma Termik Santrali kül numunesi için de %94,71 uranyum çözünme verimi ve %93,21 toryum çözünme verimi elde edilmiştir.

Sonuç olarak; enerji üretim sektöründe önemli bir yere sahip olan ve geleceğe yönelik yapılan projeksiyon çalışmalarında mevcut konumu daha uzun yıllar boyunca kaybetmeyeceği görülen termik santrallerin çalıştırılması sonucunda dünya ölçeğinde yılda milyarlarca ton kül ortaya çıkmaktadır. Çevresel açıdan olumsuz etkiler yaratabilen, ancak yararlı kullanım açısından da önemli potansiyele sahip uranyum ve toryum gibi birçok elementi kaynağı olan kömürlere nazaran çok daha zenginleşmiş olarak içeren termik santral uçucu küllerinin hem çevresel etkilerinin azaltılması, hem de çimento vb. sektörlerde kullanımı açısından cevher hazırlama ve zenginleştirme yöntemleri ile değerlendirilmesinin önemli bir seçenek olduğu görülmektedir.

Yatağan TS'den her yıl yaklaşık 1,3 milyon ton, Soma TS'den ise her yıl yaklaşık 2,5 milyon ton uçucu kül ortaya çıkmaktadır. Günümüze kadar milyonlarca ton birikmiş olan uçucu küller herhangi bir değerlendirme işlemine tabi tutulmamaktadır. Ayrıca ne kadar yüksek verimle çalışsalar da santrallerin elektrofiltrelerinin devreye alınmaları sırasında bir miktar uçucu kül çevreye deşarj olmaktadır. Bu küllerin hem içerdikleri potansiyel çevre kirleticilerin azaltılması, hem de içerdikleri değerli metallerin kazanılması açısından değerlendirmeleri ise büyük önem taşımaktadır.

Nükleer enerjinin Türkiye'nin enerji üretiminde gelecekte önemli bir yere sahip olacağı artık bir gerçektir. Bu bağlamda özellikle nükleer enerji ile çalışan termik santrallerin yakıtı niteliğindeki uranyum ve toryum hammaddeleri ve bu hammaddelerin alternatif kaynaklardan elde edilmesi stratejik açıdan büyük öneme sahiptir.

Yapılan bu yüksek lisans tezi çalışması kapsamında, termik santral küllerindeki uranyum ve toryum içeriklerinin H_2SO_4 gibi temini kolay ve maliyeti düşük asitlerin, uygulanabilir sınırlardaki kullanımı sonucunda yüksek verimde çözeltiye alınarak kazanılmasının değerlendirilebilir bir alternatif olduğu ortaya konmuştur.

KAYNAKLAR

- ACME, 2013, *Acme Labs*, <http://www.acmelab.com> [Ziyaret Tarihi: 04.07.2013]
- AKBULUT, S., 2005, Türkiye’de Termik Santraller ve Çevresel Etkileri, *Coğrafya Dergisi*, 1 (21), 193-203.
- ARORA, V., KUMAR, S., 2006, Analytical Evaluation of Potential Pollution from Trace Elements in Various of Wahsed Coal of Kedla and Rajrappa Washeries, *Journal of The Institution of Engineers (India)*, 3 (5), 361-365.
- ARUNTAŞ, H. Y., 2006, Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 193-203.
- ATEŞOK, G., 1994, *Cevher Hazırlama El Kitabı*, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul, ISBN-975-7946-00-1.
- ATEŞOK, G., 2004, *Kömür Hazırlama ve Teknolojisi*, Yurt Madenciliğini Geliştirme Vakfı Yayınları, İstanbul, ISBN-975-7946-22-2.
- AYÇIK, G., 2008, *Kömür ve Külü ile Biyomas Külündeki Radyoaktif İzotopların Ortamdan Uzaklaştırılması(Leaching)*, Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, ISBN: 978-796-404-743-5.
- AYTEN, K., 2007, *Çayırhan Termik Santral Emisyonlarının Yöre Topraklarının Bazı Ağır Metal ve Kükürt Kapsamlarına Etkilerinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- BABA, A., 2001, Yatağan (Muğla) Termik Santralı Atık Depolama Sahasının Yeraltı Sularına Etkisi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, İzmir, 25 (2).
- BABA, A., 2005, Çan Termik Santral Uçucu Külünün Seramik Sırlarında Kullanımı, *III.Uluslararası Katılımlı Seramik, Cam, Emaye Sır ve Boya Semineri*, 17-19 Ekim 2005, Eskişehir, 591-598.
- BAI, G.H., 2009, Alkali Desilicated Coal Fly Ash as Substitute of Bauxite in Lime-Soda Sintering Process for Aluminum Production, *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 20 (1), 169-175.
- BUKOVA, E., 2006, *Kömür Yakıtlı Termik Santral Küllerinde Radyoaktif Dengenin Araştırılması ve Radyolojik Açidan İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- CAO, D. Z., 2008, *Carbonation of Coal Fly Ash under Oxy-Fuel Combustion Conditions*, 2nd Oxyfuel Combustion Conference.
- ÇATES-1, 2008, Çatalağzı Termik Santrali İnternet Sayfası, <http://www.catestermik.com/index/teknikbilgi/tersantnedir.html>, [Ziyaret Tarihi: 12.09.2008]
- ÇİL, İ., 2003, *Uçucu Küllerin Beton Yapımında Kullanımı*, Türkiye Jeoloji Kurultayı, Mimarlık Fak. Jeoloji Müh. Böl., Çanakkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DEMİR, İ., 2009, *Kömür Hazırlama Teknikleri Kullanılarak Türkiye'deki Kömürlerin İz Element İçerikleri Açısından Değerlendirme Olanaklarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DOĞAN, Ö., 2007, *Afşin/Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinden Çöktürülmüş Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) Kazanım Koşullarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DOUGLAS, W., 1988, *Effects of Coal Fly-Ash Disposal on Water Chemistry an Intradunal Wetland*, Indiana Dunes, State University of New York.
- DUNXI, Y., 2009, *Carbonation of Coal Fly Ash Under Oxy-Fuel Combustion Conditions*, International Conference on Power Engineering, 16-20 November 2009, Kobe, Japan.
- ETKB, 2012, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı ve İlgili Kuruluşlarının Amaç ve Faaliyetleri*, Mavi Kitabı, Bağlı ve İlgili Kuruluşlar Dairesi Başkanlığı, Ankara, 145-149.
- ERNAZAR, Ç., 2000, *Developments in Uranium Resources, Production, Demand and The Environment*, Proceedings of A Technical Committee Meeting Held in Vienna, 15–18 June 2000, 135-140.
- ERNAZAR, K., 2000, *Çayırhan Termik Santrali Küllerinin Değerlendirilmesi*, Bitirme Çalışması, Dokuz Eylül Üniversitesi Müh. Fak. Maden Müh. Bölümü.
- ETKB, 2012, *Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı*, <http://www.etkb.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 11.05.2012]
- EÜAŞ, 2008, *Elektrik Üretim A.Ş. İnternet Sayfası*, <http://www.euas.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 11.05.2012]
- EÜAŞ, 2011, , *Elektrik Üretim A.Ş. İnternet Sayfası*, <http://euas.gov.tr> [Ziyaret Tarihi: 08.05.2012].

- GÖREN, R., 2005, Solubility of Ca, Mg and Fe From Fly Ash in HCl Solutions, *Dumplinar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9, 48-56.
- GÖRHAN, Z., 2009, *İleri Teknoloji Elementlerinin (Ga-Ge-Se-Te) Bazı Kömür Yataklarındaki Konsantrasyonlarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- GUANG, H., 2010, *Alkali Desilicated Coal Fly as Substitute of Bauxite in Lime-Soda Sintering Process for Aluminum Production*, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 20 (1), 169–175.
- GÜLER, Ç., 2001, *Enerji ve Çevre*, Çevre Sağlığı Temel Kaynak Dizisi, No:31, ISBN 975-8088-44-0, Ankara.
- GÜLER, G., 2005, *Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları*, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, IMCET 2005, 09-12 Haziran 2005, İzmir.
- GÜNİNDİ, İ., 2005, *Yumurtalık Sugözü Uçucu Külü İçeren Betonların Basınç, Eğilme ve Aşınma Dayanımlarının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- HAKTANIR, K., SÖZÜDOĞRU, S., 2007, *Muğla Yatağan Termik Santral Emisyonlarının Etkisinde Kalan Tarım ve Orman Topraklarının Kirlilik Veri Tabanının Oluşturulması*, A.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri, Ankara Üniversitesi.
- HEPŞEN, T., 1976, *Muğla Yatağan Linyitlerinden Uranyum Değerlendirilmesi*, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- HİÇYILMAZ, B., 1990, Afşin-Elbistan Uçucu Külü ve Tekstil Fabrikaları Atık Küllerinin Betonda Puzolanik Katkı Olarak Kullanılması, *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (1), 2009.
- HUI, K., 2006, Synthesis of MCM-41 from Coal Fly Ash by Green Approach: Influence of Syntesis pH, *Journal of Hazard Materials*, 1135-1148.
- IEA, 2005, *Developments in Uranium Resources, Production, Demand and The Environment*, Proceedings of a technical committee meeting held in Vienna, <http://www.iea.org> [Ziyaret Tarihi: 14.01.2013].
- IEA, 2011, *International Energy Agency*, <http://www.iea.org> [Ziyaret Tarihi: 14.01.2013].
- IZQUIERDO, M., QUEROL, X., 2012, Leaching Behaviour of Elements from Coal Combustion Fly Ash an Overview, *International Journal of Coal Geology*, 94, 54-66.

- İAL, 2013, *İÜ İleri Analizler Laboratuvarı*, <http://www.istanbul.edu.tr/merkezler/itl/> [Ziyaret Tarihi: 12.01.2013]
- İÜMM, 2013, *İstanbul Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği SEM*, <http://www.istanbul.edu.tr/eng/metalurji/sem.htm> [Ziyaret Tarihi: 12.01.2013]
- KADIKÖYLÜ, S., 2005, *Bazı Türk Kömürlerinde Mineral Madde Miktarının Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KANTÜRK, E., 2006, *Ege Bölgesi Uçucu Küllerinden Sentetik Zeolit Üretimi Parametrelerinin Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KARACA, A., 2007, *Afsin-Elbistan Termik Santrali Emisyonlarının Çevre Topraklarının Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikleri Üzerine Etkileri*. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KARAYİĞİT, I. A., 2001, Characterisation of fly ash from the Kangal power plant, Eastern Turkey, *International Ash Utilization Symposium*, 22-24 October 2001, Lexington, Kentucky, USA.
- KARAYİĞİT, A. I., GAYER, R. A., QUEROL, X., ONACAK, T., 2000, Contents of Major and Trace Elements in Feed Coals from Turkish Coal-Fired Power Plants, *International Journal of Coal Geology*, 44, 169-184.
- KEATING, M., 2009, The Fate of Trace Elements and Bulk Minerals in Pulverized Coal Combustion in a Power Station, *Fuel Processing Technology*, 47, 79-92.
- KIRDIM, Ö., 2006, *Seyitömer (Kütahya-Türkiye) Termik Santralında Yanan Kömürlerin ve Oluşan Katı Atıkların Mineralojisi ve Petrografisi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KOÇER, Z., 2006, *Kömür Külü Sahalarından Oluşacak Olan Ağır Metal Kirlenmesinin Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- KREKDJIK, D., 2002, Agronomic Controls over Environmental Cycling of Trace Elements, *IEEE Transactions on Magnetics*, 18 (3), 858.
- KSR, 2009, Kömür Sektör Raporu (Linyit) , <http://www.enerji.gov.tr/> [Ziyaret tarihi 02.05.2012].
- KSR, 2011, Kömür Sektör Raporu (Linyit) , <http://www.enerji.gov.tr/> [Ziyaret tarihi 02.05.2012].
- KUULAR, E., 2000, *Çayırhan Termik Santrali Küllerinin Değerlendirilmesi*, Lisans Bitirme Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

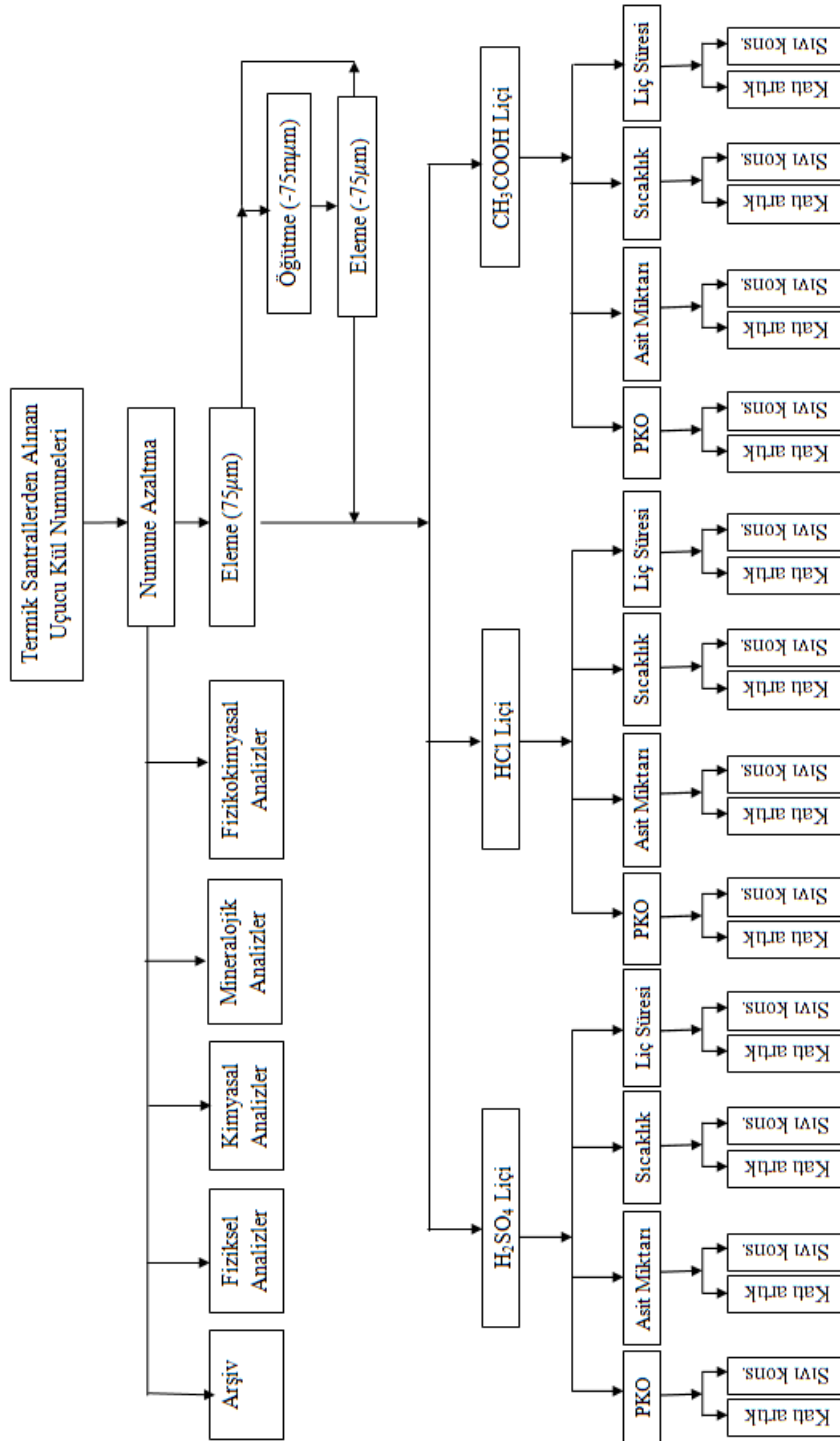
- MARA, H., 2007, *Geochemical Assessment of Environmental Effects of Fly Ash From Seyitömer (Kütahya) Thermal Power Plant*, Msc Thesis.
- MTA, 2008, *Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı 2008 Yılı ve Aylık Faaliyet Raporu*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara.
- OECD, 2012, *Uranium Resources Production and Demand A Joint Report*, Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency, <http://www.oecd-nea.org/ndd/uranium> [Ziyaret tarihi 04.05.2012].
- OSMAN, Ü., 2004, *Soma Termik Santral Atığı Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÖZDEMİR, O., 2001, *Tunçbilek Termik Santrali Uçucu Küllerinin Karakterizasyonu ve Yan Ürünlerinin Eldesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÖZDEMİR, O., ÇELİK, M.S., 2002, Characterization and Recovery of Lignitic Fly Ash Byproducts from the Tuncbilek Power Station, *Canadian Metallurgical Quarterly*, 41 (2), 143-150.
- ÖZLEM , K., 2006, *Seyitömer Termik Santralında Yanan Kömürlerin ve Oluşan Katı Atıkların Mineralojisi ve Petrografisi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- ÖZTÜRK, M., 2012, *Kömürdeki İz Elementler ve Çevre Kirliliği*, Çevre 89 5. Bilimsel ve Teknik Çevre Kongresi Kitabı, 857-868.
- ÖZYURT, Z., 2006, *Termik Santral Atıklarındaki İz Elementlerin Çevresel Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- PAPASTEFANOU, C., 2010, Escaping Radioactivity From Coal Fired Power Plants (CPPs) Due Coal Burning and The Associated Hazards: A Review, *Journal of Environmental Radioactivity*, 101 (3), 191-200.
- PARISARA, 2007, *Trace Element Emissions from Coal and Oil Power Plants in Europe Methodology Of Calculations*, Norwegian Ins. For Air Research, Nilu Supplement Til Technics Raport No:5/82 Ref:24781.
- PERÇİNEL, S., 2000, *Termik Santrallerde Kömür Kullanımının İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri*, Türkiye 12. Kömür Kongresi Bildirileri Kitabı, 23-26 Mayıs 2000, Karadeniz Ereğli-Zonguldak.
- ROBERT, L., 2005, *Nitration of Benzo pyrene Adsorbed on Coal Fly Ash Particles by Nitrogen Dioxide: Role of Thermal Activation*, Environ Sci, Technol.

- SCHWANDORF, H., 2001, *Avrupa'da Uranyum Tenörlü Kömürler*, Glückauf dergisi <http://www.getbookee.com> [Ziyaret Tarihi 02.05.2012].
- SEAR, K.A., 2001, *Properties and Use of Coal Fly Ash*, Thomas Telford, 126, ISBN:0727730150.
- SEAŞ, 2012, Soma Elektrik Üretim ve A.Ş., <http://www.seas.gov.tr/> [Ziyaret Tarihi: 12.04.2012].
- SOLOMON, S., 2012 Fly Ash Stabilized with Coal Ash for Geotechnical Application, *Journal of Hazardous Materials*, 76 (2-3), 265-283.
- ŞENGÜL, Ü., 2005, *Çayırhan Linyitlerinden Kostik Yıkama Yöntemiyle Mineral Maddenin Giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TALİP, Z., 2007, *Toryumun Sulu Çözeltilerden Perlit Üzerine Adsorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TANKUT, İ., 2003, *Hava Kirliliğinin Muğla-Yatağan Yöresinde Orman Toprağı ve Ağaçları Üzerine Etkisi*, Ormancılık Araştırma Ens. Teknik Bülten, No:217-248.
- TOPÇU, B.İ., 2001, Uçucu Kül Kullanım Betondaki Etkileri, *Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 14 (2).
- TÜLAY, Y., 2002, *Soma Termik Santrali Uçucu Kül ve Polipropilen Atıklarının Yeni Bir Malzeme Üretiminde Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- TÜRKMENOĞLU, M., 2010, Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin ve Çevreye Etkilerinin Araştırılması, *Çukurova Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 24 (2), 30-39.
- VOLKAN, S., 2006, *Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinden Yanmamış Karbonun Geri Kazanımı*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü.
- WITEG, 2013, Wise Labortechnik GmbH, <http://www.witeg.de/> [Ziyaret tarihi 20.05.2013].
- YAZICI, H., 2005, Yüksek Hacimde C Sınıfı Uçucu Kül İçeren Betonların Mekanik Özellikleri ve Sülfürik Asit Dayanıklılığı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11 (3), 443-448.
- YEAŞ-1, 2008, Yeniköy Elektrik Üretim ve Ticaret A.Ş. *İnternet Sayfası*, http://www.yeas.gov.tr/yataganinfo_00.asp [Ziyaret Tarihi: 12.04.2012].

YILDIRIM, T., ÇİÇEK, F., 1997, Ergiyik Kostik Liç Yöntem İle Kömürlerin
Kükürtsüzleştirilmesi, *Madencilik Dergisi*, 36 (4)

EKLER

Ek 1. Deneysel çalışmalara ait akım şeması



ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Moğolistan'ın Ulan Batur şehrinde doğan Naranbaatar Enkhtaivan 2004 yılında Moğol Devlet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü'nde lisans öğrenimine başlamıştır.

2008 yılında eğitimini tamamlayarak Maden Mühendisi olan Naranbaatar Enkhtaivan, 2008 – 2010 yılları arasında Mongolian Alt şirketinde Maden Mühendisi olarak çalışmıştır.

2010 yılında İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır.