

Ege Bölgesindeki Termik Santrallerden Alınan Uçucu Küllerin Liç Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Mehmet TÜRK MENOĞLU^{*1}, Mesut ANIL², Fatih Şevki ERKUŞ³

¹Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Van

²Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Adana

³Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Biyosistem Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 27.10.2014 Kabul tarihi: 13.11.2014

Özet

Türkiye'deki termik santrallerde, yanma sonucu oluşan atıkların ancak %65 kadarı kül barajlarında depolanmaktadır. Geriye kalan atıklar, insan sağlığı ve çevre (toprak, hava ve su) için potansiyel tehlike oluşturmaktadır. Bu atıkların liç karakteristiklerinin belirlenmesi, bu atıkların depolandıkları alandaki davranışlarının anlaşılması açısından önemlidir. Bu çalışmada, Ege Bölgesi'nde yer alan dört adet termik santralde düşük kalorili linyit kömürünün yakılması sonucu ortaya çıkan uçucu küllerin mineralojik, morfolojik ve kimyasal analizleri yapılarak liç karakteristikleri belirlenmiştir. Uçucu küllerdeki ağır metal (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn) miktarları ve bu metallerin küllerden suya geçiş değerleri tespit edilmiştir. Uçucu küllerin tamamında Cd metali, yer kabuğu üst bölgesi ortalama değerinin (0,2 mg/kg) en az 10 katı oranında zenginleşmiştir. Çalışmada en düşük liç veriminin çinkoda (%0,2-0,6) olduğu, en yüksek liç veriminin ise kadmiyum metalinde (%3,08-16,50) olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ege Bölgesi, Termik santral, Uçucu kül, Liç, Ağır metal

Determination of Leaching Characteristics of Fly Ashes Obtained from Thermal Power Plants in Aegean Region

Abstract

Only up to 65% of the wastes generated by thermal power plants are being disposed of in ash dams in Turkey. Remaining wastes may pose a potential hazard to the human health or the environment (soil, air, water). Determination of the leaching characteristics of thermal power plant wastes is a fundamental property that defines environmental importance of the elements in these wastes. In this study, determination of leaching characteristics of fly ashes generated at four thermal power plants burning low-calorie lignite in the Aegean region was examined by mineralogical, morphological and chemical analyzes. The total heavy metals (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co and Mn) in fly ash and their leaching amounts were determined. Cd metal in all of the fly ashes was at least enriched over the average earth's crust values by 10-fold. It was found that the maximum leach yield achieved by cadmium (3.08-16,50%), whereas the leach yield of zinc (0,2-0,6%) was the minimum.

Keywords: Aegean region, Thermal power plant, Fly Ash, Leach, Heavy metal

* Yazışmaların yapılacağı yazar: Mehmet TÜRK MENOĞLU, YYÜ Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Bölümü, Van. mehmetturkmenoglu77@gmail.com

1. GİRİŞ

MTA'nın 2013 yılı linyit kömürü raporuna göre Türkiye'nin toplam linyit rezervi; 13,8 milyar ton'dur [1]. 2012 yılında üretilen 68,1 milyon ton linyitin %81,7'si elektrik üretim amacıyla termik santrallerde kullanılmıştır [2]. Çünkü, ülkemizdeki linyitlerin kül ve kükürt oranları yüksek, ısı değerleri ise ısınma amaçlı kullanılmayacak kadar düşüktür [3]. Yerli linyitle çalışan termik santraller ülkemizde en çok Ege bölgesinde yer almaktadır. Yerli kömürle çalışan ve 50 MW'tan büyük 20 adet termik santralin 6 tanesi Ege Bölgesi'ndedir.

Termik Santrallerde linyit kömürünün yakılması sonucunda büyük miktarlarda katı yanma ürünleri oluşmaktadır. Bu ürünlerin %80 gibi büyük bir çoğunluğunu, baca tarafından çekilen gazlarla beraber yukarı sürüklenen ve uçucu kül adı verilen çok ince boyutlu (1-150 µm) kül tanecikleri oluşturmaktadır [4]. Uçucu küllerin içindeki tanelerin 11 temel morfolojik yapıda (şekilsiz saydam taneler, opak küresel taneler, vb.) oldukları belirlenmiştir [5]. Uçucu küllerin kimyasal bileşenleri, kullanılan kömürün cinsine ve kömürde bulunan minerallere bağlıdır. Bir çok uçucu külün %85'inden fazlası SiO₂, CaO, Fe₂O₃, MgO, Al₂O₃ ve SO₃'ten oluşmaktadır [6]. Ayrıca, uçucu küllerin bünyesinde; Sb, As, Be, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Se, Ag, Zn, vb. elementler bulunmakta, kömürün yanması esnasında radon, uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementler açığa çıkmaktadır [7].

Bu çalışmada, Ege bölgesinde yer alan dört adet termik santralde düşük kalorili linyit kömürünün yakılması sonucu ortaya çıkan uçucu küllerin liç karakteristikleri belirlenmiştir. Uçucu küllerdeki ağır metal (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn) miktarları ve bu metallerin küllerden suya geçiş oranları belirlenmiştir. Böylece, farklı karakterdeki uçucu küllerin depolandıkları alanın yakın çevresinde toprak ve yeraltı suyuna ağır metaller açısından bir kirlilik etkisinin olup olmayacağı liç işlemi ile belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE METOD

Ege Bölgesi'nde yer alan ve yerli linyitle elektrik

üretimi yapan termik santraller; Seyitömer (1-4 Ünite), Soma A ve B, Tunçbilek A ve B, Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy termik santralleridir. Bu çalışmada, Seyitömer, Soma, Tunçbilek termik santrallerinden uçucu kül örneği alınmıştır. Yatağan, Kemerköy ve Yeniköy termik santrallerinde Güney Ege Linyit işletmelerince çıkartılan linyit kömürü yakıldığı için, sadece Yatağan termik santralinden uçucu kül alınmıştır.

Alınan kül örnekleri Çukurova Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü Kimya Laboratuvarı'ndan kimyasal analizlere [8] ve liç işlemlerine [9] tabi tutulmuştur. Kül örnekleri üzerine 1/1'lik 10 ml HNO₃ ilave edilip kaynama noktasının hemen altına kadar ısıtılmıştır. Çözünme tamamlandıktan sonra çözelti hacmi 5 ml oluncaya kadar kaynatılmadan buharlaştırılmıştır. Çözelti soğutulduktan sonra 2 ml deiyonize su ve 3 ml %30'luk hidrojen peroksit, köpürme bitinceye kadar ilave edilmiştir. Çözelti, çözünmemiş katının alınması için mavi bant süzgeç kağıdından süzülmuştür. Bu işlemlerle, kül örneklerinin içerdikleri tüm ağır metaller çözeltiye alınmıştır.

Kül örneklerinin liç karakteristiklerinin belirlenmesi için ise, atıkların özütlenmesi için kullanılan TS EN 12457-3'te belirtilen işlemler uygulanmıştır. 10 litre/kg oranını sağlayacak şekilde kül tartılmış ve üzerine 100 ml deiyonize su eklenmiştir. Karıştırıcının devri 10 d/dk'ya ayarlanarak 24 saat boyunca karıştırılmıştır. Süre sonunda katı faz mavi bant süzgeç kâğıdından süzülmuştür.

Uçucu küllere uygulanan liç işlemi Çizelge 1'de verilmiştir. Liç işlemleri seri olarak gerçekleştirilmiştir. Birinci günün sonunda süzgeç kâğıdında biriken kalıntı tekrar kapaklı plastik kap içerisine alınmış ve diğer işlemler tekrarlanarak seri liç işlemi 5 kez tekrarlanmıştır.

Küllerin analizi sırasında elde edilen çözeltilerin ve 5 günlük seri liç işlemleri sonrası elde edilen liç çözeltilerinin ağır metal içerikleri (Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Co ve Mn), Atomik Absorbsiyon Spektrometresi'nde analiz edilmiştir [10]. Kullanılan standartların adları ve numaraları Çizelge 2'de verilmiştir. Uçucu külün ve taban

külünün mineralojik yapılarının belirlenmesi için XRD analizleri ve morfolojik özelliklerinin belirlenmesi için de SEM analizleri yapılmıştır. Her iki analiz de TÜBİTAK MAM'da gerçekleştirilmiştir.

Uçucu küller, demir oksitleri (hematit, manyetit) ve kalsiyum oksitleri de içermektedir. Ayrıca, uçucu küllerde amorf madde tespit edilmiş, ancak minerallerin yüzdeleri belirlenirken hesaba katılmamıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Mineralojik Analizler

Uçucu küllerdeki temel (major) mineraller kuvars, anhidrit, illit, mullit ve feldispatlar (albit, anortit) gibi alüminyum silikat mineralleridir.

XRD analizleri sonucunda uçucu küllerde belirlenen minerallerin kimyasal formülleri ve % oranları Çizelge 3-6'da verilmiştir. Seyitömer termik santrali uçucu külünde başlıca illit, kuvars ve hematit mineralleri, Tunçbilek termik santrali uçucu külünde ise, kuvars, mullit, hematit ve manyetit minerallerinin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 1. Termik Santrallerden alınan uçucu kül örneklerine uygulanan liç işlemi

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

Çizelge 2. Analizler yapılırken kullanılan standartlar ve adları

No	Örnek	Standart	Yöntem
1	Kül Analizleri	TS 12088 Ekim 1996	Katı atıklar-Ağır metal tayini-Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrik Metot
2	Uçucu Küllerin Liçi	TS EN 12457-3 Ocak 2004	Atıkların nitelendirilmesi-Katıdan özütleme analizi-granül katı atıkların ve çamurların katı özütlemesi deneyi: Bölüm3
3	Liç Çözeltilerinin Analizleri	TS EN ISO 15586 Ocak 2004	Su kalitesi-Grafit fırınlı Atomik Absorbsiyon Spektrometresi kullanılarak eser elementlerin tayini

Çizelge 3. Seyitömer Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

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

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

Çizelge 4. Tunçbilek Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	% Miktarı
1	Kuvars	SiO ₂	43,5
2	Mullit	Al ₆ Si ₂ O ₁₃	29,4
3	Hematit	Fe ₂ O ₃	14,5
4	Manyetit	Fe ₃ O ₄	9,3
5	Anhidrit	CaSO ₄	3,3

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

Çizelge 5. Yatağan Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	% Miktarı
1	Kuvars	SiO ₂	37,6
2	İllit	(K,H ₃ O)Al ₂ Si ₃ AlO ₁₀ (OH) ₂	15,6
3	Feldispat (Anortit)	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	16,3
4	Feldispat (Albit)	NaAlSi ₃ O ₈	12,6
5	Anhidrit	CaSO ₄	12,6
6	Portlandit	Ca(OH) ₂	2,7
7	Kireç	CaO	2,6

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

Çizelge 6. Soma Termik Santrali'nden alınan uçucu kül içerisinde XRD ölçümü sonucunda belirlenen minerallerin yüzde dağılımı*

No	Belirlenen mineraller	Kimyasal Formül	% Miktarı
1	Kuvars	SiO ₂	25,3
2	Mullit	Al ₆ Si ₂ O ₁₃	20,5
3	Feldispat (Anortit)	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	19,8
4	Feldispat (Albit)	NaAlSi ₃ O ₈	11,2
5	Anhidrit	CaSO ₄	13,6
6	Kireç	CaO	5,0
7	Kalsit	CaCO ₃	2,8
8	Portlandit	Ca(OH) ₂	1,8

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

Yatağan termik santrali uçucu külünde en fazla kuvars, illit, feldispatlar (albit ve anortit) ve anhidrit mineralleri bulunurken, Soma termik santrali uçucu külünde ise, kuvars, mullit, feldispatlar (albit ve anortit) ve anhidrit mineralleri belirlenmiştir.

3.2. Morfolojik Analizler

Küllerin partikül boyutu özellikleri, elementlerin liç karakteristikleri hakkında bilgi vermektedir. Gözenekli olmayan kesintisiz dış yüzeye ve yoğun iç yüzeye sahip parçacıklar, ağır metallerin liç edilmesini önleyebilir veya sıkıca alüminyum silikat ağına tutulmasını sağlayabilir [11, 12, 13]. Şekil 1'den Şekil 8'e kadar kül örneklerinin çeşitli kristal yapılarını gösteren SEM fotoğrafları verilmiştir. Uçucu küller, baca gazı akımında maruz kaldıkları yüksek sıcaklıklar nedeniyle düzenli, küresel ve pürüzsüz yüzeylere sahip olabilmektedirler. Ayrıca, düzensiz amorf yapılara sıkça rastlanmaktadır.

Fisher ve Natusch aydınlatmalı ve elektron mikroskoplarla yaptıkları morfolojik çalışmalarla, uçucu küllerin heterojen bir yapıya ve çok farklı tane şekillerine sahip olduklarını belirlemiştirler [5]. Termik santrallerden alınan uçucu kül örneklerinin 1.000 kattan 30.000 kata kadar değişen oranlarda büyütülerek çekilen SEM görüntülerinde, belirlenen 11 temel morfolojik yapıdan hangilerinin gözlemlendiği aşağıda listelenmiştir.

Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin SEM görüntülerinde; şekilsiz saydam taneler, şekilsiz opak taneler, şekilsiz opak ve saydam karışık taneler, opak küresel taneler ile yüzeylerinde veya içinde kristal oluşumlu küresel taneler görülmektedir.

Tunçbilek termik santrali uçucu küllerinin SEM görüntülerinde; şekilsiz saydam taneler, şekilsiz opak taneler, köşeli delikli opak taneler, saydam katı küresel taneler ile yüzeylerinde veya içinde kristal oluşumlu küresel taneler görülmektedir.

Yatağan termik santrali uçucu küllerinin SEM görüntülerinde; şekilsiz opak ve saydam karışık

taneler, plerospheres (içi küresel taneciklerle dolu küresel taneler ile yüzeylerinde veya içinde kristal oluşumlu küresel taneler görülmektedir).

Soma termik santrali uçucu küllerinin SEM görüntülerinde; şekilsiz opak ve saydam karışık taneler, yuvarlak kabarcıklı opak ve saydam karışık taneler ve cenospheres (içi gaz dolu küresel taneciklerle dolu küresel taneler) görülmektedir.

3.3. Kimyasal Analizler

Uçucu kül örneklerinde belirlenen ağır metal konsantrasyonları (mg/kg) Çizelge 7'de, elementlerin yer kabuğu üst bölgesindeki ortalama değerleri [14] ve kömürlerdeki ortalama miktarları [15] ile birlikte verilmiştir.

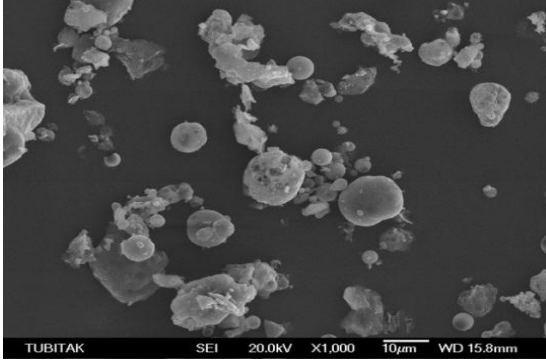
Herhangi bir elementin yer kabuğundaki ortalama değerinin 6 katına ulaşması, o metalin zenginleştiğinin göstergesidir. [15]. Uçucu küllerin ağır metal analiz sonuçları küllerdeki Co, Cu, Cr, Pb ve Zn metallerinin yer kabuğu üst bölgesinden daha fazla olduğu, Mn miktarlarının ise daha az olduğu belirlenmiştir.

Seyitömer ve Tunçbilek termik santrallerinin uçucu külleri, kadmiyum ve nikelce yer kabuğu üst bölgesine göre zenginleşmiştir. Soma termik santrali uçucu külü kadmiyum açısından, Yatağan termik santrali uçucu külü de kadmiyum ve çinko açısından yer kabuğuna göre zenginleşmiştir. Ayrıca, tüm uçucu küllerin kömürlere göre tüm metaller açısından zenginleştiği belirlenmiştir.

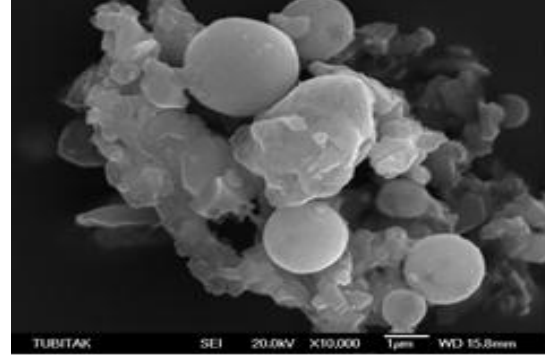
Kömür yakıldığı zaman, içerdiği minerallerin çoğunluğu küle dönüşürken, bu minerallerin bir kısmı parçalanmakta, bir kısmı da olduğu gibi küle geçmektedir. Kömürde 60'tan fazla element bulunabilmektedir. Bu elementlerin genellikle tonda gram olarak ifade edilen konsantrasyonları bir sahadan ötekine, hatta bir damar içinde alttan üste değişebilmektedir [16].

3.4 Liç Analizleri

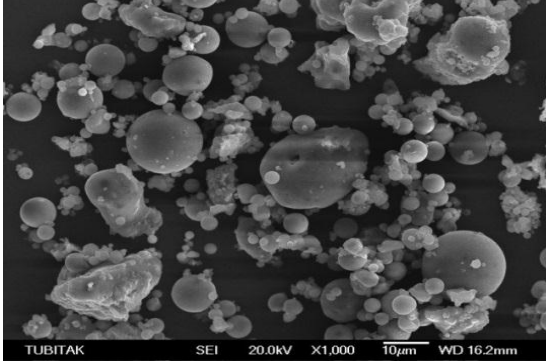
Elementlerin liç çözeltilerindeki konsantrasyonları, hem numunedeki toplam konsantrasyonunun ve hem de liç çözeltisindeki konsantrasyonunun bir



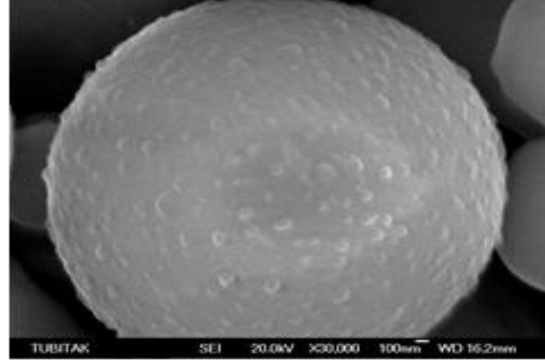
Şekil 1. Seyitömer T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (1.000 kat büyütülmüş)



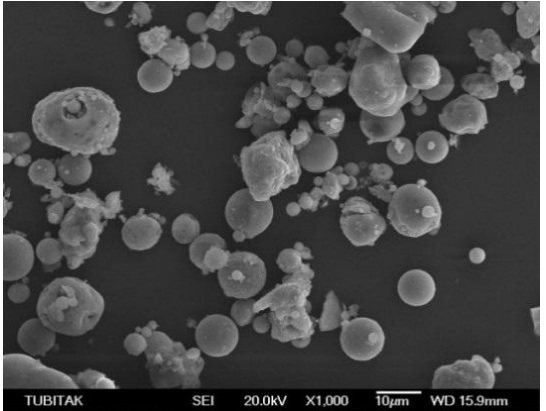
Şekil 2. Seyitömer T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (10.000 kat büyütülmüş)



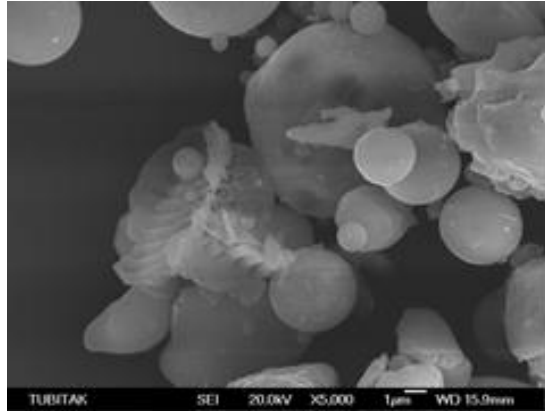
Şekil 3. Tunçbilek T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (1.000 kat büyütülmüş)



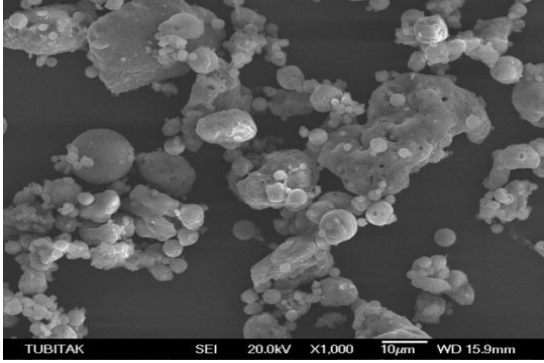
Şekil 4. Tunçbilek T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (30.000 kat büyütülmüş)



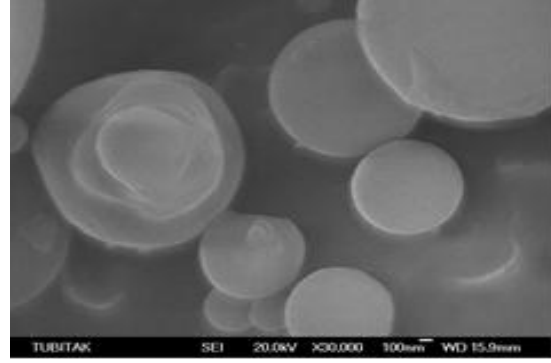
Şekil 5. Yatağan T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (1.000 kat büyütülmüş)



Şekil 6. Yatağan T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (5.000 kat büyütülmüş)



Şekil 7. Soma T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (1.000 kat büyütülmüş)



Şekil 8. Soma T.S. uçucu külü SEM görüntüsü (5.000 kat büyütülmüş)

Çizelge 7. Ağır metallerin (mg/kg), Uçucu küllerde, yer kabuğu üst bölgesinde ve kömürlerde belirlenen miktarları

Ağır Metal	Seyitömer T.S.	Tunçbilek T.S.	Yatağan T.S.	Soma T.S.	Yerkabuğu (Ortalama)	Kömür (Ortalama)
Pb	49,8	16,4	48,2	49,9	13	6,6
Cd	2,01	1,95	3,86	2,00	0,2	0,2
Cr	417,5	296,7	82,0	64,9	100	15
Cu	99,4	34,8	64,8	45,4	55	15
Ni	1292,3	515,0	98,6	69,5	75	9,0
Zn	524,9	262,2	488,8	405,1	70	18
Co	89,5	46,8	49,3	39,7	25	4,2
Mn	546,7	690,6	320,3	186,2	950	153

fonksiyonudur [17]. Liç karakteristiği bir elementin çevresel önemini tanımlayan temel bir özelliktir [18]. Bu çalışmada 8 farklı ağır metal açısından toplam içerikleri belirlenen, dört adet termik santralin uçucu küllerinden suya geçen ağır metal miktarları Türk standardında verilen seri liç yöntemine göre belirlenmiştir (Çizelge 8). Elde edilen liç çözeltilerin ağır metal içerikleri belirlenmiş ve bu miktarlar küllerde bulunan toplam ağır metal miktarlarına oranlanarak, uçucu küllerden suya ağır metal liç verimi (% olarak) hesaplanmıştır (Çizelge 9). Termik santrallerden alınan küllerin 5 günlük liç işlemleri sonucunda suya geçen ağır metal miktarları incelendiğinde; Seyitömer termik santrali uçucu külünden suya en çok krom ve nikelin geçtiği, Tunçbilek Termik Santrali'nden suya en çok krom ve kobaltın geçtiği, Yatağan termik santrali uçucu küllerinden ve Soma termik santrali uçucu küllerinden suya; bakır, çinko ve mangan hariç diğer metallerin yoğun bir şekilde geçtiği belirlenmiştir.

Uçucu küllere uygulanan saf su ile 5 günlük seri liç işlemi sırasında, tüm ağır metallerin liç işleminin 5. günün sonunda tamamlandığı belirlenmiştir. 5 gün boyunca suya geçen metallerin toplam miktarı, küllerin içerisinde bulunan ağır metallere oranlanarak liç verimi hesaplanmıştır. Kül örneklerinden liç çözeltilerine ağır metal geçiş verimleri incelendiğinde; en düşük geçişin çinkoda olduğu, en yüksek oranların ise kadmiyum metalinde olduğu gözlenmiştir.

Seyitömer termik santrali liç verimlerinde en yüksek değer %4,48 ile kadmiyumda, Tunçbilek termik santrali liç verimlerinde en yüksek değer yine %3,08 ile kadmiyumda görülmüştür. Yatağan termik santrali liç verimlerinde en yüksek değerler %8,03 ile kadmiyumda ve %4,17 ile kurşunda belirlenirken, Soma termik santrali liç verimlerinde en yüksek değerler, %16,50 ile kadmiyumda ve %9,49 ile kromda belirlenmiştir.

3. SONUÇLAR

Dört farklı termik santralden alınan uçucu kül örnekleri üzerinde gerçekleştirilen deneyler

neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir;

* Uçucu küllerin ağır metal analiz sonuçları küllerdeki Co, Cu, Cr, Pb ve Zn metallerinin yer kabuğu üst bölgesinden daha fazla olduğunu, Mn miktarlarının ise daha az olduğunu göstermiştir. Uçucu küllerin tamamı Cd metalince (tüm küllerde yer kabuğu üst bölgesi ortalama değerinin en az 10 katı) zenginleşirken, Seyitömer (1292,3 mg/kg) ve Tunçbilek (515 mg/kg) termik santralleri uçucu külleri nikelce zenginleşmiştir.

* Liç çözeltilerinin ağır metal içerikleri incelendiğinde; Seyitömer termik santrali uçucu külünden suya en çok krom (3,06 mg/l) ve nikelin (1,38 mg/l) geçtiği, Tunçbilek termik santralinden suya en çok kromun (3,51 mg/l) geçtiği, Yatağan termik santrali uçucu küllerinden ve Soma termik santrali uçucu küllerinden suya; bakır, çinko ve mangan hariç diğer metallerin yoğun bir şekilde geçtiği belirlenmiştir.

* Yatağan termik santrali uçucu külünden suya; 8,03 mg/l Cd, 4,17 mg/l Pb, 3,73 mg/l Co, 3,72 mg/l Cr ve 3,05 mg/l Ni liç olmuştur. Soma termik santrali uçucu külünden suya; 16,50 mg/l Cd, 9,49 mg/l Cr, 6,45 mg/l Ni, 6,35 mg/l Pb ve 5,67 mg/l Co liç olmuştur. Bu değerler, izlenen bu ağır metallerin yer altı sularını kirlenme riski olduğunu ve küllerin depolandığı yakın çevredeki topraklarda birikme ihtimali olduğunu göstermektedir.

* Seri liç işlemlerinde tüm ağır metallerin suya geçişi beşinci günün sonunda tamamlanmıştır. Kül örneklerinden liç çözeltilerine ağır metal geçiş verimlerinde en düşük geçişin çinkoda olduğu, en yüksek oranların ise kadmiyum metalinde olduğu gözlenmiştir.

* Küllerin liç verimlerinde en yüksek değerler; Seyitömer termik santrali külü %4,48 ile kadmiyumda, Tunçbilek termik santrali külünde %3,08 ile kadmiyumda, Yatağan termik santrali külünde %8,03 ile kadmiyumda Soma termik santrali külünde %16,50 ile kadmiyumda ve %9,49 ile kromda belirlenmiştir.

Çizelge 8. Uçucu küllerin 5 günlük liç çözeltilerinin toplam ağır metal içerikleri

Termik Santral	Pb (mg/l)	Cd (mg/l)	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	Zn (mg/l)	Co (mg/l)	Mn (mg/l)
Seyitömer	0,51	0,09	3,06	0,05	1,38	0,11	0,59	0,16
Tunçbilek	0,17	0,06	3,51	0,05	1,01	0,05	0,42	0,16
Yatağan	2,01	0,31	3,05	0,33	3,01	0,23	1,84	0,41
Soma	3,17	0,33	6,16	0,36	4,48	0,23	2,25	0,51

Çizelge 9. Uçucu kül örneklerinden suya ağır metal liç verimi (%)

Termik Santral	Pb (%)	Cd (%)	Cr (%)	Cu (%)	Ni (%)	Zn (%)	Co (%)	Mn (%)
Seyitömer	1,02	4,48	0,73	0,05	0,11	0,02	0,66	0,03
Tunçbilek	1,04	3,08	1,18	0,14	0,20	0,02	0,90	0,02
Yatağan	4,17	8,03	3,72	0,51	3,05	0,05	3,73	0,13
Soma	6,35	16,50	9,49	0,79	6,45	0,06	5,67	0,27

* Uçucu küllerde bulunan ağır metal miktarları ve suya geçiş oranları birlikte değerlendirilirse; En yüksek oranda nikel, krom ve bakır içeren Seyitömer Termik Santrali külünden bu metallerin suya geçişleri diğer uçucu küllerden düşük olmuştur. Soma termik santrali külü, Seyitömer ve Tunçbilek Termik Santrali ile yakın oranlarda kadmiyum içermesine rağmen, en yüksek kadmiyum liçi Soma termik santrali uçucu külünde olmuştur. Yine en az miktarda kobalt içeren Soma termik santrali uçucu külünden en yüksek yüzdede (%5,67) kobalt liçi olmuştur. Bu sonuçlar, uçucu küllerin ağır metal içerikleri ile liç karakteristiklerinin birbirinden farklı olduğunu göstermiştir.

* Uçucu küllerden suya liç işlemlerinin beşinci günün sonunda tamamlanması ve gözlenen geçişin en yüksek % 16,50 (Soma-Cd) olması, kötü yönden doğada da ağır metal liçinin çok hızlı

gerçekleşeceğini, iyi yönden uçucu küllerin bünyelerindeki ağır metallerin, küllerin içerisindeki diğer minerallerce bağlanmış olduğunu göstermektedir. Bu ağır metallerin tutulması kirliliğin artmasını önlemekle birlikte, daha düşük pH'larda ağır metal liçinin artma eğiliminde olduğu bilinmektedir.

* XRD analizleri ile belirlenen minerallerin ve SEM görüntüleri ile belirlenen fiziksel özelliklerin, uçucu küllerin bünyesinde bulunan ağır metalleri nasıl tuttukları, tutunmanın fiziksel adsorpsiyon mu yoksa kimyasal adsorpsiyon mu olduğu henüz bilimsel çalışmalarla belirlenmemiştir. Bu konuda daha detaylı çalışmalar yapılabilir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, MMF2006D4 nolu proje olarak, Çukurova Üniversitesi Araştırma Projeleri Birimi

tarafından desteklenmiş olup, Doktora tezinden alınmıştır.

6. KAYNAKLAR

1. TTK (Türkiye Taşkömürü Kurumu), 2014. Taşkömürü Sektör Raporu 2013. Mayıs 2014.
2. TKİ (Türkiye Kömür İşletmeleri), 2014. Kömür Sektör Raporu (Linyit) 2013. Haziran 2014.
3. Öteyaka, B., Uçar, A., Şahbaz, O., Demir, U., Yamık, A., 2006. Seyitömer Linyit Yatağı B1+B2 Damarları Kömürlerinin Yıkanabilirliğinin Araştırılması. Türkiye 15. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 07-09 Haziran, s 371-383, Zonguldak.
4. Watson, J.S., 1985. Potential Resources from Coal Fly Ash. Mat. Res. Soc. Symp. Proc., 43: 151-161.
5. Fischer, G.L., Natusch, D.F.S., 1978. Size Dependence of the Physical and Chemical Properties of Coal Fly Ash. Anal. Mtd. Coal Prod., 3: 489- 541.
6. Burnet, G., 1986. Never Technologies for Resource Recovery from Coal Combustion Solid Wastes, Energy Vol. 11, No 11/12 pp. 1363-1375.
7. Baykan, A.R., 2004. Türkiye Çevre Atlası. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı ÇED ve Planlama Genel Müdürlüğü Çevre Envanteri Dairesi Bşk., Ankara.
8. TS 12088 Ekim 1996. Katı Atıklar-Ağır Metal Tayini-Atomik Absorbsiyon Spektrofotometrik metot.
9. TS EN 12457-3 Ocak 2004. Atıkların Nitelendirilmesi-Katıdan Özütleme Analizi-Granül Katı Atıkların ve Çamurların Katı Özütleme Deneyi: Bölüm 3.
10. TS EN ISO 15586 Ocak 2004. Su kalitesi-Grafit Fırınli Atomik Absorbsiyon Spektrometresi (AAS) Kullanılarak Eser Elementlerin Tayini.
11. Ramesh, A., Kozinski, J.A., 2001. Investigations of Ash Topography/Morphology and Their Relationship with Heavy Metals Leachability. Environmental Pollution 11:255-262.
12. Li, M., Xiang, J., Hu, S., Sun, L.S., Su, S., Li, P.S., Sun, X.X., 2004. Characterisation of Solid Residues from Municipal Solid Waste Incinerator. Fuel 83:1397-1405.
13. Liu, G., Zhang, H., Gao, L., Zheng, L., Peng, Z., 2004. Petrological and Mineralogical Characterisations and Chemical Composition of Coal Ashes From Power Plants in Yanzhou Mining District, China. Fuel Process Technol 85:1635-1646.
14. Seredin, V., Finkelman, R., 2008. Metalliferous coals: A Review of the Main Genetic and Geochemical Types. International Journal of Coal Geology, 76, 253-289.
15. Clarke, L.B., Sloss, L.L., 1992. Trace Elements-Emissions from Coal Combustion and Gasification. London, IEA Coal Research, 111.
16. Ünal, G., 2010. Kömür Jeolojisi, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Eğitim Serisi-41, Ankara.
17. Fotopoulou, M., Siavalas, G., İnaner, H., Katsanou, K., Lambrakis, N., Christanis, K., 2010. Combustion and Leaching Behavior of Trace Elements in Lignite and Combustion by-Products from the Muğla Basin, SW Turkey. Bulletin of the Geological Society of Greece, Proceedings of the 12th International Congress, Patras.
18. Wang, Y., Ren, D., Zhao, F., 1999. Comparative Leaching for Trace Elements in Raw Coal, Laboratory Ash, Fly Ash and Bottom Ash. International Journal of Coal Geology, 40, 103-108.