

TERMİK SANTRAL UÇUCU KÜLÜ, CÜRUFU VE ARITMA ÇAMURUNDAN AĞIR METALLERİN LIÇLENEBİLİRLİĞİ

Murat TOPAL¹, E.İşıl ARSLAN TOPAL¹, Sibel ASLAN¹, Mehmet KILIÇ¹

¹Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Elazığ
E-posta: mtopal@cumhuriyet.edu.tr

Özet

Termik santrallerde kömürün yanması sonucu ortaya çıkan uçucu kül ve cüruf içerdikleri ağır metallerden dolayı önemli bir çevresel problemdir. Atıksu arıtımının nihai bir ürünü olan arıtma çamuru atıksudan uzaklaştırılan kirletici unsurları içerir ve bu kirleticiler arıtma çamurunun faydalı kullanımını büyük ölçüde etkiler. Bu çalışmanın amacı, termik santral cürufu ve uçucu külünden ve atıksu arıtma çamurundan bazı ağır metallerin liçlenebilmelerini Toksikite Özelliklerini Sızdırma Prosedürü (TCLP) ve Amerikan Test ve Materyaller Topluluğu (ASTM) metotları ile tespit etmektir. TCLP ve ASTM analiz sonuçlarına göre, atıkların liçlenmesi sonrasında çözeltilere geçen ağır metal konsantrasyonlarının yönetmelikte belirtilen sınır değerlerin üzerinde olduğu bulunmuştur. Bu atıkların liçlenmesi sonucu önemli bir kirlilik oluşturabilecekleri belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık, uçucu kül, cüruf, çamur, ağır metal, liçleme

LEACHABILITY OF HEAVY METALS FROM FLY ASH, SLAG OF THERMAL POWER PLANT AND TREATMENT SLUDGE

Abstract

Fly ash and slag that result from combustion of coal in thermal power plants are important environmental problems; because they contain heavy metals. Sewage sludge that is an ultimate product of wastewater treatment contains pollutants removed from wastewater and these pollutants limits its beneficial usage. The aim of this study is to determine the leachability of some heavy metals from fly ash and slag of power plant and wastewater treatment sludge by Toxicity Characteristic Leaching Procedure (TCLP) and American Society of Testing and Materials (ASTM) methods. According to TCLP and ASTM results found that the heavy metal concentrations leached to solutions after leaching of the wastes were higher than the limits given by regulation. It was determined that important pollution can be seen as a result of the leaching of these wastes.

Key words: Waste, fly ash, slag, sludge, heavy metal, leaching

1. GİRİŞ

Türkiye’de özellikle 1970–1980 yılları arasında artan enerji açığının karşılanması amacıyla, peş peşe devreye giren termik santraller nedeniyle kömür talebinde hızlı bir artış olmuştur. 1970 yılında termik santrallerin kömür tüketim miktarı toplamı yaklaşık 880 bin ton iken, bu rakam 1985 yılında 19,5 milyon tona, 1990 yılında 25 milyon tona, 1996

yılında 42 milyon tona [1, 2], 2002 yılında 63,5 milyon tona ve 2007 yılında yaklaşık 97,3 milyon tona ulaşmıştır [3]. Bu artışa bağlı olarak, termik santrallerden kaynaklanan kül ve cüruf miktarları da artmıştır. Ülkemizde ve diğer ülkelerde enerji üretimi amacı ile çalışan termik santraller, çalışmalarında büyük miktarda kül ve kazan altı cürufu adı verilen atıklar açığa çıkarmaktadırlar [4]. Bu uçucu kül ve cürufun santrallerden dışarı atılması sonucu ciddi

boyutlarda ekonomik ve ekolojik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ülkemizde termik santraller tarafından 2003 yılında 11,84 milyon ton, 2004 yılında 13,34 milyon ton, 2006 yılında ise 16,01 milyon ton atık oluşmuştur. 2003-2006 yılları arasında oluşturulan atığın ortalama %10'u tesis dışında geri kazanılmış, %90'ı ise bertaraf edilmiştir. Bertaraf edilen atığın ortalama %79'u kül dağı/kül barajına atılmıştır [5]. 2008 yılında 25,62 milyon ton atık oluşmuş ve oluşan atığın %79'u kül dağı/kül barajına atılmış, %16'sı gömülmüş ya da maden sahasında depolanmış, %3'ü ise satılmış ya da geri kazanım amacı ile başka firmalara verilmiştir. Termik santrallerin atık bileşimindeki en büyük payın, %99,4 ile mineral atıklar (kül, cüruf, uçucu kül ve alçıtaşı) olduğu görülmüştür [6].

Termik santrallerde yakıt olarak kullanılan kömürün yanması sonucunda kül, cüruf ve gaz şeklinde atıklar oluşmakta, oluşan atıklar içerisinde kirliliğe sebep olan, As, Cd, Ba, Pb, Cr, Se, Zn ve Hg gibi toksik iz elementler yağmur suları ile yıkanarak yüzey sularına ve yeraltı sularına karışabilmektedir. Bunun bir sonucu olarak toksik iz elementler hem toprakta, hem yüzeysel sularda hem de yeraltı sularında çeşitli çevresel sorunlara neden olabilmektedir.

Uçucu kül bir atık olduğu halde, puzzolanik, alkali ve çimentoya benzeyen özelliklerinden dolayı çeşitli çevresel ve ticari uygulamalar için değerli bir ara üründür [7]. Uçucu külün küçük bir kısmı çimento ve beton üretiminde hammadde olarak kullanılırken, geriye kalan kısım ya direkt olarak uçucu kül havuzlarına veya deponilere boşaltılır [8, 9]. Uçucu kül tarımsal alanlar için faydalı olan alkali oksitler ve bitki nütrientlerini içerdiği için hem toprak asitliğini azaltmak, bitki gelişimini arttırmak, toprak yapısını ve su tutma kapasitesini düzeltmek için toprak katkı maddesi olarak hem de kükürt gübresi olarak kullanılmaktadır [7, 8]. Klasik seramik, cam-seramik ve cam üretimi uçucu külün kullanıldığı diğer sektörlerdir [8, 9, 10, 11].

Atıksu arıtma çamuru, organik maddeler ile organik ve mineral insan kaynaklı kirleticilerden doğal olarak meydana gelen heterojen bir maddeyi tanımlamaktadır. Çamurun organik kısmı, baskın olarak evsel atıklardan ve dışkılarından gelir ve atıksu arıtma tesisinde üretilen biyolojik dönüşüm ürünleri kadar; yağların, proteinlerin, aminoasitlerin, şekerlerin, selülozun, hümitik maddelerin ve mikroorganizmaların kompleks karışımından oluşur. Bu nedenle atıksu arıtma proseslerinin ara ürünlerinden biri olan arıtma çamuru; yüksek arıtım ve bertaraf maliyetlerinden dolayı temel problemdir. Organik madde kaynağı olması, azot ve fosfor yönünden zengin olmasından dolayı tarımsal arazilere uygulandığı zaman toprağın gübre değerini ve üretkenliğini artırabilir. Bu avantajlarına karşılık, arıtma çamurunun tarımsal amaçlı kullanımı

patojen, ağır metal ve organik kirleticilerin varlığı nedeniyle sınırlıdır [12].

Ülkemizde 2008 yılına ait sanayilerden ve belediyelerden alınan verilere istinaden yapılan çalışmalar sonucunda; evsel/kentsel atıksu arıtma tesislerinden yılda 500,000 ton, sanayi tesislerinden ise yılda 575,000 ton olmak üzere yılda toplam 1,075,000 ton (kuru katı madde) arıtma çamurunun olduğu değerlendirilmektedir. Arıtma çamurları, alternatif yakıt olarak, hammadde olarak çimento fabrikalarında kullanılmaktadır. 2009 yılında 16,548 ton endüstriyel arıtma çamuru, 27,207 ton evsel arıtma çamuru olmak üzere 43,755 ton arıtma çamuru çimento fabrikalarında ek yakıt olarak kullanılmıştır [13].

Ülkemizde uçucu kül, cüruf ve arıtma çamuru gibi atıkların çevresel etkilerinin belirlenebilmesi için daha çok laboratuarlarda liçleme çalışmaları yapılmaktadır. Liçleme testleri ile atıklarda bulunan toksik iz elementlerin çevreye sızması [14] ve böylece yüzeysel suları veya yeraltı sularını kirletme potansiyelleri hakkında bilgi edinilebilmektedir. İlave olarak liçleme testleri yönetmelik limitleri içinde arıtımın kullanım fizibilitesini değerlendirmede de önemli rol oynar [14]. İz elementlerin liçleme davranışı spesifik element çözünebilirliği ve mevcudiyeti veya salınma potansiyeli gibi çeşitli kritik faktörlerle ilişkilidir. Liçlemenin ilk aşamaları boyunca iz elementin konsantrasyonu kömür partiküllerinin yüzey kimyası, elementin konsantrasyonu ve ortaya çıkma şekli, çözeltinin pH'ı ve redoks potansiyeli ile kontrol edilir. Bununla birlikte liçleme prosesi devam ederken sızıntıdaki iz elementin konsantrasyonu adsorpsiyon veya diğer fazlarla birlikte çökeltme gibi proseslerden etkilenmeye eğilimli olur [15].

Liçleme çalışmalarında kullanılan birçok yöntem vardır. TCLP yöntemi (Metot 1311) USEPA (U.S. Environmental Protection Agency) tarafından geliştirilen uçucu kül ekstraksiyon prosedürlerinden biridir. ASTM yöntemi (Metot D-3987) ise US ASTM tarafından geliştirilen bir prosedürdür.

TCLP ve ASTM yöntemi kullanılarak yapılan çeşitli liçleme çalışmaları bulunmaktadır. Baba [16], Muğla'da bulunan Kemerköy Termik Santraline ait uçucu külün liçlenebilme karakteristiğini araştırmıştır. Baba ve Türkman [17] ise yaptıkları çalışmada, Muğla'da bulunan Yeniköy Termik Santraline ait uçucu külün TCLP ve ASTM yöntemiyle liçlenme kapasitelerini araştırmışlardır. Chang vd. [18], elektrokaplama çamurunun ve boyarmadde çamurunun TCLP ve ASTM yöntemi kullanılarak liçlenebilirliğini araştırmışlardır. Singh [19], Batı Hindistan'daki termik santralden elde ettiği uçucu külün TCLP analiz metoduna göre bazı ağır metallerin liçlenme davranışını incelemiştir. Zhang vd. [9], cam-seramik üretiminde kömür uçucu külünün liçlenebilme karakteristiğini belirlemeye

çalışmışlardır. Hsieh vd. [20], ham endüstriyel atıksu çamurunun TCLP testiyle liçlenebilme özelliğini araştırmışlardır (Tablo 1).

Bu çalışmanın amacı, termik santral uçucu külü, cürufu ve arıtma çamurunda bulunan bazı ağır metallerin liçlenebilme davranışlarının TCLP ve ASTM metodu kullanılarak tespit edilmesidir.

2.MATERYAL VE METOT

2.1 Materyal

Deneysel çalışmalarda materyal olarak termik santrale ait uçucu kül ve cüruf ile atıksu arıtma tesisine ait arıtma çamuru kullanılmıştır. Uçucu kül Afşin Elbistan ve Kangal Termik Santralinden, cüruf Afşin Elbistan Termik Santralinden, arıtma çamuru ise Malatya Atıksu Arıtma

Tesisinden temin edilmiştir (Şekil 1). Atıkların kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir. Termik santrallerden gelen uçucu külün kimyasal bileşimi tesisten tesise hatta aynı tesis içinde bile değişiklik gösterir. Bununla birlikte uçucu külde çoğunlukla dört element mevcuttur. Bunlar; silis, alüminyum, demir ve kalsiyumdur.

Orijinal kömüre kıyasla elementlerin çoğu uçucu külde yoğunlaşır [19]. Arıtma çamurlarının kimyasal özellikleri büyük ölçüde atıksu arıtma tesisine giren atıksuyun özelliklerine, atıksu ve çamur arıtımı için uygulanan proseslere bağlıdır. Çamur büyük oranda su içerir. Bunun yanı sıra çamur organik ve inorganik maddelerle birlikte, büyük miktarda atıksudan ayrılan iz elementleri de içerir.

Tablo 1. Bazı atıkların TCLP ve ASTM yöntemine göre liçleme sonrası elde edilen ağır metal miktarları

Parametre (mg/L)	TCLP						ASTM						Kaynak
	Cu	Fe	Zn	Cr	Co	Mn	Cu	Fe	Zn	Cr	Co	Mn	
Materyaller													
Kemer Köy Termik Santrali uçucu külü	0,50-1,01	6,75-7,50	1,25-4,75	0,98-1,03	-	0,14-0,22	0,04-0,07	0,49-0,67	0,28-0,32	0,11-0,16	-	0,02-0,03	[16]
Yeni Köy Termik Santrali uçucu külü	1,01-1,75	3,15-5,54	1,25-1,95	13,55-17,20	-	0,13-0,15	0,04-0,18	0,76-4,76	0,32-0,48	5,44-9,84	-	0,021-0,032	[17]
Elektrokaplama Çamuru	28,0	-	372,0	0,86	-	-	0,87	-	1,8	0,63	-	-	[18]
Boyar madde çamuru	<0,06	-	37,0	<0,10	-	-	<0,06	-	<0,05	<0,10	-	-	[18]
Termik santral uçucu külü	0,215	0,089	2,140	0,803	-	0,314	-	-	-	-	-	-	[19]
Termik santral uçucu külü	<0,001	-	0,337	-	-	0,018	-	-	-	-	-	-	[9]
Ham endüstriyel atıksu çamuru	445,0	-	3,51	-	-	1,83	-	-	-	-	-	-	[20]
Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külü	0,479	-	-	0,24	0,29	0,267	-	-	-	0,07	-	0,149	Mevcut çalışma
Afşin Elbistan Termik Santrali cürufu	0,572	-	-	0,24	0,29	0,476	-	-	-	-	-	-	Mevcut çalışma
Kangal Termik Santrali uçucu külü	0,528	-	-	-	0,183	0,581	-	-	-	-	-	-	Mevcut çalışma
Malatya Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamuru	3,762	-	0,49	0,075	0,5	2,544	0,877	-	-	-	-	2,335	Mevcut çalışma



Şekil 1. Temin edilen numunelerin coğrafik yeri

Tablo 2. Uçucu kül, cüruf ve arıtma çamurunun kimyasal özellikleri

Parametre	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik	Afşin Elbistan Termik
	Santrali uçucu külü	Santrali cürufu	Santrali cürufu	Santrali cürufu	Santrali cürufu	Santrali cürufu	Santrali cürufu	Santrali cürufu	Santrali cürufu	Santrali cürufu
pH		12,30	12,20							6,91
İletkenlik (mS/cm)		11,90	7,40							0,93
Silis (%)		11,56	12,44							18,17
Al ₂ O ₃ (%)		5,94	6,86							1,09
Fe ₂ O ₃ (%)		3,23	3,20							3,63
CaO (%)		35,50	36,25							20,79
MgO (%)		1,65	0,50							1,42
Cd (mg/kg)		6	4,5							2,05
Zn (mg/kg)		83	105							339
Cu (mg/kg)		38	42							169
Pb (mg/kg)		77	28							25
Cr (mg/kg)		276	193							104
Ni (mg/kg)		117	162							37
Kızdırma Kaybı (%)		5,58	14,24							17,90

T.E: Tespit Edilemedi

2.2 Metot

Deneysel çalışmalarda termik santral uçucu külü ve cürufu ile arıtma çamurunun sızma davranışını belirlemek için TCLP ve ASTM yöntemi kullanılmıştır. TCLP yöntemi en kötü doğal durum şartları altında metal hareketliliğini tespit etmek için kullanılmaktadır [21, 14]. TCLP yöntemine göre sıvı/katı oranı 20/1 olacak şekilde asetik asit çözeltisinden pH'ı $2,88 \pm 0,05$ olan ekstraksiyon sıvısı hazırlanmıştır. Karışım 18 saat 30 ± 2 dev. dak.'da çalkalanmıştır ve 0,7 µm filtreden süzümüştür. ASTM yönteminde ise saf su kullanılmış ve katı/sıvı oranı 1/4 alınarak 48 saat çalkalanmış ve 0,7 µm filtreden süzümüştür. Elde edilen süzüntü sularında Cu, Fe, Zn, Cr, Co ve Mn elementleri Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi (ATI UNICAM Model 929) kullanılarak analiz edilmiştir. Numunelerin ve çözeltilerin pH ölçümü Orion SA 720 pH metre ile

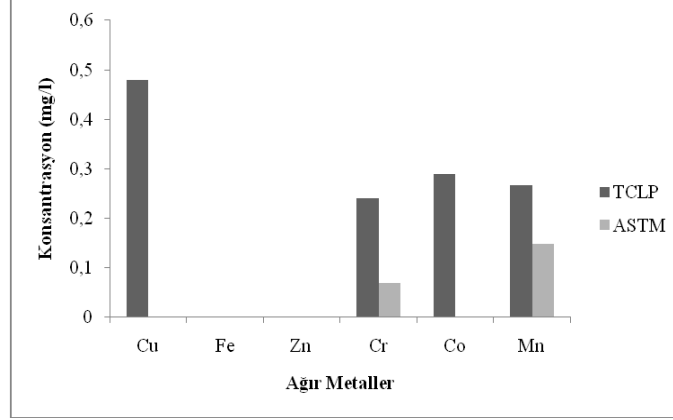
yapılmıştır. Elektriksel iletkenlik ise JENWAY 4075 marka kondüktivimetre-TDS metre ile ölçümüştür. Numunelerin kimyasal ve minerolojik analizleri Siemens D-5000 X-ışını difraktometre kullanılarak yapılmıştır. Standart çözeltiler analitik kimyasallar kullanılarak hazırlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Afşin Elbistan Termik Santraline ait uçucu külün TCLP ve ASTM analiz sonuçları Şekil 2'de verilmiştir. Şekil 2'ye göre TCLP analiz sonuçları değerlendirildiğinde, çözeltiye geçen ağır metal konsantrasyonlarının $Cu > Co > Mn > Cr$ şeklinde olduğu, Fe ve Zn elementlerinin ise liçleme çözeltilerinde mevcut olmadığı gözlenmiştir. ASTM analiz sonuçlarına göre ise saf suya Cr ve Mn elementleri geçmiş olup, Cu, Fe, Zn ve Co elementlerine rastlanmamıştır. Mn elementinin Cr elementine göre daha fazla liçlenebilme

özelliğine sahip olduğu görülmüştür. Her iki yöntem açısından toplam Cr elementinin liçleme davranışları değerlendirildiğinde, TCLP yönteminin ASTM yöntemine göre %70,83 oranında daha fazla Cr liçlediği söylenebilir. Mn elementinde ise Cr elementine benzer olarak TCLP analiz sonucunun ASTM analiz sonucuna göre %44,19 oranında daha yüksek olduğu belirlenmiştir. ASTM

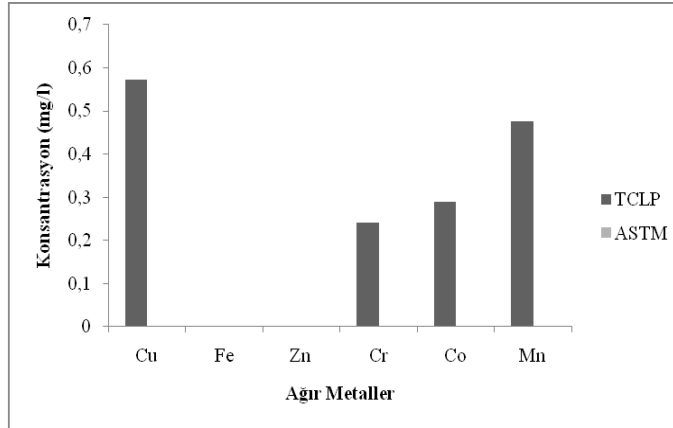
yönteminde TCLP yöntemine kıyasla daha düşük ağır metal konsantrasyonları elde edilmiştir. Bu sonuçlardan pH'ın uçucu külden ağır metallerin liçlenme oranını etkileyen önemli bir parametre olduğu görülmektedir. Düşük pH değerleri uçucu külden inorganik bileşenlerin liçlenme hızını artırır [16].



Şekil 2. Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külünün analiz sonuçları

Şekil 3'de Afşin Elbistan Termik Santralinden elde edilen cürufun TCLP ve ASTM analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 3'de TCLP analiz sonuçları açısından ağır metal konsantrasyonları liçlenme düzeylerine bağlı olarak Cu > Mn > Co > Cr şeklinde sıralanabilir. Afşin Elbistan Termik

Santrali cürufunun liç çözeltisinde Fe ve Zn elementlerine rastlanmamıştır. ASTM yöntemine göre yapılan liçleme deneyinden ise herhangi bir sonuç alınmamıştır. Bu durumun nedeni ASTM yönteminde çözücü olarak kullanılan saf sudan kaynaklanmaktadır.



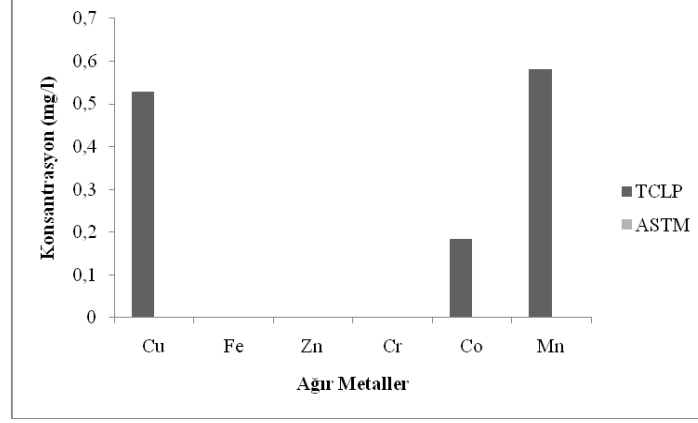
Şekil 3. Afşin Elbistan Termik Santrali cürufunun analiz sonuçları

Şekil 4'de Kangal Termik Santraline ait uçucu külün TCLP ve ASTM analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 4'e göre Kangal Termik Santrali uçucu külünün TCLP analiz sonuçları değerlendirildiğinde, çözeltiliye geçen ağır metallerin derişimi Mn > Cu > Co şeklinde sıralanabilir. TCLP analiz sonucuna göre Kangal Termik Santrali uçucu külünde Fe, Zn ve Cr elementine rastlanmamıştır. ASTM analiz

sonuçlarına göre ise saf suya herhangi bir ağır metal geçmemiştir. Baba [16], Kemerköy Termik Santraline ait uçucu külün TCLP ve ASTM analizleri sonucunda en yüksek Fe elementinin, en düşük ise Mn elementinin liçlenebildiğini tespit etmiştir. Baba ve Türkman [17], Yeniköy Termik Santrali uçucu külü üzerine yaptıkları araştırmada; TCLP ve ASTM testi sonucunda en yüksek Cr

elementinin en düşük ise Mn elementinin liçlendiğini tespit etmişlerdir. Zhang vd. [9], cam-seramik üretiminde kullanılacak olan termik santral uçucu külünde yaptıkları liçleme çalışmasında, en yüksek liçleme kapasitesinin Zn

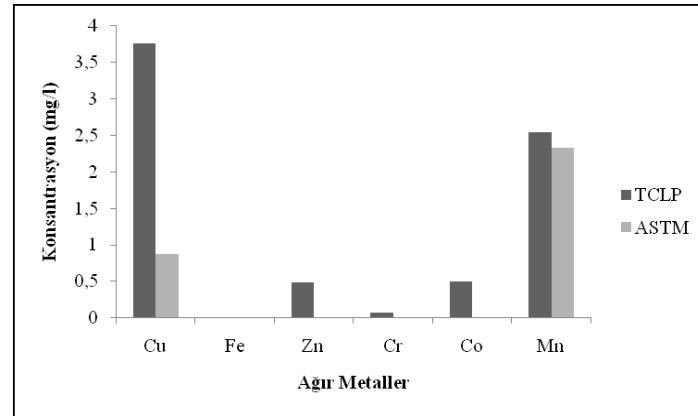
elementinde, en düşük liçleme kapasitesinin ise Cu elementinde gerçekleştiğini tespit etmişlerdir. TCLP analizi sonucunda Fe, Cr ve Co elementlerine rastlamamışlardır (Tablo 1).



Şekil 4. Kagal Termik Santrali uçucu külünün analiz sonuçları

Şekil 5’de Malatya Atıksu Arıtma Tesisinden elde edilen arıtma çamurunun TCLP ve ASTM analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 5’e göre, ağır metallerin TCLP analiz sonuçları göz önüne alındığında en yüksek ağır metal konsantrasyonuna sahip elementin Cu elementi olduğu, en düşük ağır metal konsantrasyonuna sahip elementin ise Cr elementi olduğu tespit edilmiştir. Liçlenme davranışları açısından ağır metaller Cu > Mn > Zn > Co > Cr şeklinde sıralanabilir. Malatya Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurunun TCLP analizi sonucunda çözeltide Fe elementine rastlanmamıştır. ASTM analiz sonucuna göre ise saf suya sadece Cu ve Mn elementlerinin geçtiği ve Mn elementinin Cu elementine göre daha fazla liçlendiği tespit

edilmiştir. Cu açısından TCLP analiz sonucunun ASTM analiz sonucuna göre %76,68 oranında daha yüksek, Mn açısından ise TCLP analiz sonuçlarının ASTM analiz sonucuna göre %8,21 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Chang vd. [18], elektrokaplama endüstrisinden elde ettikleri çamurun liçlenme davranışını belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada en yüksek liçlenme davranışını TCLP yöntemi için Cu elementinin, ASTM yöntemi için ise Zn elementinin gösterdiğini belirlemişlerdir. Aynı şekilde Hsieh vd. [20], ham endüstriyel atıksu çamurunun TCLP analizi sonucunda en yüksek liçlenebilen metalin Cu olduğunu tespit etmişlerdir.



Şekil 5. Malatya Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurunun analiz sonuçları

4. SONUÇLAR

Yapılan çalışmada bazı atıklardan ağır metallerin liçlenebilme davranışları TCLP ve ASTM yöntemi kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Analiz sonuçlarına göre; bazı ağır metallerin liçlenme davranışlarını belirlemek için kullanılan yöntemler mukayese edildiğinde TCLP yönteminin ASTM yönteminden daha fazla liçlenmeye sebep olduğu görülmüştür. Liçleme çözeltilerinin pH'nın ağır metallerin hareketliliğini önemli ölçüde etkilediği tespit edilmiştir. Elementlerin liçlenme davranışları göz önüne alındığında çalışmada kullanılan atıklar kirlilik açısından

Malatya Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru > Afşin Elbistan Termik Santrali Uçucu Külü > Afşin Elbistan Termik Santrali Cürufu > Kangal Termik Santrali Uçucu Külü şeklinde sıralanabilir. Bu atıkların potansiyel çevresel etkilerini ortadan kaldırmak için düzgün depolanmaları ve/veya uygun yöntemler kullanılarak bertaraf edilmeleri gerekmektedir. Oluşan atıkların depolanabilmesi için 26.03.2010 tarih ve 27533 sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren 'Atıkların Düzenli Depolanmasına Dair Yönetmelik' in tehlikeli atıkların düzenli depolanabilme kriterlerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Atıkların liçlenmesiyle açığa çıkan bazı ağır metallerin konsantrasyonlarının tehlikeli atıkların düzenli depolanabilme kriterleri ile karşılaştırılması

Metal	Sınır değer (mg/L)	Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külü		Afşin Elbistan Termik Santrali cürufu		Kangal Elbistan Termik Santrali uçucu külü		Malatya Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamuru	
		TCLP	ASTM	TCLP	ASTM	TCLP	ASTM	TCLP	ASTM
Cu	0,2	0,479	-	0,572	-	0,528	-	3,762	0,877
Cr	0,05	0,240	0,07	0,240	-	-	-	0,075	-
Zn	0,4	-	-	-	-	-	-	0,490	-

Tablo 3'de bazı atıkların liçleme sonrası elde edilen konsantrasyonları ile tehlikeli atıkların düzenli depolanabilmesi için belirlenmiş olan sınır değerlerle karşılaştırılması verilmiştir. Buna göre;

1- Afşin Elbistan Termik Santrali uçucu külünün TCLP analiz sonucuna göre Cu ve Cr açısından; ASTM analiz sonucuna göre ise Cr açısından yönetmelikte belirlenen sınır değer üzerinde olduğu,

2-Afşin Elbistan Termik Santrali cürufunun TCLP analiz sonucuna göre hem Cu hem de Cr elementinin yönetmelikte belirlenen sınır değer üzerinde olduğu, ASTM analiz sonucunda ise herhangi bir veri elde edilemediğinden yönetmelikte belirlenen sınır değerlerle mukayese edilemediği,

3-Kangal Termik Santrali uçucu külünün TCLP analiz sonucuna göre sadece Cu elementinin çözeltide bulunduğu

ve bulunan bu değer de yönetmelikte belirlenen sınır değer üzerinde olduğu, ASTM analiz sonucunda ise herhangi bir veri elde edilemediğinden yönetmelikte belirlenen sınır değerlerle mukayese edilemediği,

4- Malatya Atıksu Arıtma Tesisi arıtma çamurunun TCLP analiz sonucuna göre Cu, Cr ve Zn elementleri açısından yönetmelikte belirlenen sınır değerleri aştığı, ASTM analiz sonucuna göre ise Cu elementinin yönetmelikte belirlenen sınır değer üzerinde olduğu görülmüştür.

Termik santrallerden kaynaklanan uçucu kül ve cüruf ile arıtma tesislerinden kaynaklanan arıtma çamurlarının içerdikleri ağır metaller bu atıklarla ilgili önemli bir çevresel kaygıdır. Çevresel koşullarda bu atıklardan ağır metallerin liçlenmesi sonucunda yeraltı sularının ve yüzeysel suların kirlenmesi riski; bu atıkların depolanmasında ya da bertarafında kısa ve uzun vadede gerekli tedbirlerin alınmasını zorunlu kılar.

5. KAYNAKLAR

- [1] Bozoğlan, M., TKİ Kurumu bünyesindeki çevresel önlemler ve bu önlemlerin maliyet analizleri. Çevre ve Enerji Kongresi, 192, 491, (1997).
- [2] Baba, A., Yatağan (Muğla) Termik Santrali atık depolama sahasının yer altı sularına etkisi. Jeoloji Mühendisliği, 25, 2, (2001).
- [3] TKİKGM., Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Kömür Sektör Raporu (Linyit),

http://www.enerji.gov.tr/yayinlar_raporlar/sektor_Raporu_TKI.pdf (2009).

- [4] Ünal, O. ve Uygunoğlu T., Soma termik santral atığı uçucu külün inşaat sektöründe değerlendirilmesi. Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 02-04 Haziran (2004).
- [5] TUİK., Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr, (2008).
- [6] TUİK., Türkiye İstatistik Kurumu, www.tuik.gov.tr, (2010).

- [7] Yeheyis, M. B., Shang, J. Q. and Yanful, E. K., Chemical and mineralogical transformations of coal fly ash after landfilling. 2009 World of Coal Ash (WOCA) Conference – May 4-7, 2009 in Lexington, KY, USA, (2009).
- [8] Oueralt, I., Ouerol, X., López-Soler, A. and Plana, F., Use of coal fly ash for ceramics: a case study for a large Spanish power station. *Fuel*, Vol, 76, No. 8, pp. 787-791, (1997).
- [9] Zhang, J., Dong, W., Li, Juan., Qiao, L., Zheng, J., Sheng, J., Utilization of coal fly ash in the glass-ceramic production. *Journal of Hazardous Materials*, 149, pp. 523-526, (2007).
- [10] Kim, J.M., Kim, H.S., Processing and properties of a glass-ceramic from coal fly ash from a thermal power plant through an economic process. *Journal of European Ceramic Society*, 24, pp. 2825-2833, (2004).
- [11] Erol, M. M., Küçükbayrak, S., Ersoy-Meriçboyu, A., Endüstriyel atıklardan cam, cam-seramik ve seramik üretimi. *İTÜ Dergisi/d-Mühendislik*, Cilt:6, Sayı:5-6, pp. 106-119, (2007).
- [12] İpek, U., Arslan, E.I., Aslan, S., Aritma çamurlarının kompostlaştırılması. *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 14-17 Mayıs, Kocaeli, s.1351-1358, (2008).
- [13] TİD, Türkiye'nin İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planının Geliştirilmesi Projesi, atık sektörü mevcut durum değerlendirmesi raporu. 110, (2010).
- [14] Saeedi, M. and Amini, H.R., Stabilization of heavy metals in wastewater treatment sludge from power plants air heater washing. *Waste Management & Research*, 27, pp. 274-280, (2009).
- [15] Moyo, S., Mujuru, M., McCrindle, R. I. and Mokgalaka-Matlala, N., Environmental implications of material leached from coal. *Journal of Environmental Monitoring*, DOI:10.1039/c1em10091b, (2011).
- [16] Baba, A., Leaching characteristics of wastes from Kemerköy (Muğla-Turkey) Power Plant. *Global Nest: the Int. J.* Vol 2, No 1, pp. 51-57, (2000).
- [17] Baba, A. ve Türkman, A., Investigation of geochemical and leaching characteristics of solid wastes from Yeniköy (Muğla-Turkey) Power Plant. *Turk J. Engin. Environ. Sci.*, 25, pp. 321-328, (2001).
- [18] Chang, E.E., Chiang, P.C., Lu, P.H., Ko, Y.W., Comparisons of metal leachability for various wastes by extraction and leaching methods. *Chemosphere* 45, pp.91-99, (2001).
- [19] Singh, G., Environmental assessment of fly ash from some thermal power stations for reclamation of mined out areas. *Fly Ash Utilization Programme (FAUP), TIFAC, DST, New Delhi – 110016*, pp. IV 9.1-IV 9.10, (2005).
- [20] Hsieh, C.H., Lo, S.L., Hu, C.Y., Shih, K., Kuan, W.H., Chen, C.L., Thermal detoxification of hazardous metal sludge by applied electromagnetic energy. *Chemosphere* 71 pp. 1693-1700, (2008).
- [21] USEPA., United States Environmental Protection Agency, 'Method 1311 Toxicity Characteristic Leaching Procedure', (1992).