

Horzum Yaylasındaki Pb-Zn Madeninin Atıkları ve Drenaj Sularındaki Arsenik ve Ağır Metallerin İncelenmesi

Mesut BAŞIBÜYÜK¹, Başak Deniz ERGÜN*¹

¹Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Adana

Geliş tarihi: 08.06.2017

Kabul tarihi: 25.09.2017

Öz

Maden atıkları ve drenaj suları, ağır metal ve arsenik içerikleri dolayısıyla çevre ve halk sağlığı açısından tehlike arz etmektedir. Maden drenaj sularının nehirlerle ulaşması ile yüzey sularında taşınabileceği gibi, sızma ve süzülme ile yeraltı sularına da karışabilir. Adana'nın Kozan ilçesine bağlı Horzum Yaylası'nda mevcut bulunan işletimi durmuş bir Pb-Zn madeni civarında yapılan analizlerde yüksek miktarlarda ağır metal iyonuna rastlanmıştır. Maden atıklarına kireç eklenmesi, ağır metallerin ve özellikle de arseniğin alıcı ortamlara karışmasını engelleyici bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Analiz sonucunda tespit edilen konsantrasyonlar, jeokimyasal olarak mevcut koşullarda bir değişikliğin oluşmaya başladığını dolayısıyla sudaki ağır metal ve arsenik iyonu konsantrasyonlarının artabileceğine yönelik işaretler vermektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır metal ekstraksiyonu, Toprak kirliliği, Kohezyon suyu, Terkedilmiş maden ocağı

Investigation of Arsenic and Heavy Metals in Mine Wastes and Drainage Waters at a Pb-Zn Mine at Horzum Plateau

Abstract

In this Mining is one of the most developed sectors in Turkish industry. Mining wastes and drainage waters are a big concern in terms of environment and public health due to their heavy metals and arsenic content. Mine drainage waters can be transported to surface waters by rivers as well as to groundwater by infiltration and percolation. Mine waste samples and drainage water samples are collected at a currently non-operating Pb-Zn mine at Horzum Plateau in Kozan, Adana. Analysis resulted high concentrations of heavy metal in the vicinity of mining area. Lime addition have been used as a preventative method for metals and arsenic dissolution from the mine wastes at the mine. However, the concentrations determined suggests some sort of geochemical change in the present conditions of the mine wastes and drainage waters which could result in higher metals and arsenic concentrations in receiving waters.

Keywords: Heavy metal extraction, Soil contamination, Pore water, Abandoned mine site

*Sorumlu yazar (Corresponding author): Mesut BAŞIBÜYÜK, basibuyuk@cu.edu.tr

1. GİRİŞ

Türkiye madenler bakımından zengin bir ülkedir, yataklarında pek çok mühim cevheri bulundurmaktadır. Ülkemizde madencilik, sanayinin gelişmiş kollarından birisidir. Madencilikle uğraşan kuruluşların ülke ekonomisine ve bölge insanlarına başlıca iki önemli etkisi bulunmaktadır. Olumlu etkileri arasında, bölgede istihdam yaratması, işsizliği azaltması ve sanayi dallarını geliştirmesi gibi etkiler sayılabilirken; olumsuz etkileri arasında, yer altı ve yer üstü maden işletmelerinin arazi yapısını bozduğu, ekolojik dengeye zarar verdiği (kontrolsüz maden atıkları dolayısıyla tarım alanlarına, akarsulara ve canlılara geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir) ve turistik bölgelerde doğal ve tarihi yapıyı bozduğu söylenebilmektedir.

Madenler, arkalarında bozunmuş bir arazi, kirlenmiş su ve zarar görmüş komüniteler bırakan yapılardır. Madencilikte altın, gümüş ve bakır gibi metallerin çıkarımı, çevreyi inanılmaz bir şekilde etkilemektedir; yüzey ve yeraltı suları, sucul yaşam, vejetasyon, toprak, hava, vahşi yaşam ve insan sağlığı üzerine etkileri bulunmaktadır. Maden faaliyetleri çevreye, cevher çıkarma işlemleri sırasında öğütücüler ve kırıcılar ile kaynaktan kimi zaman yüzlerce kilometre öteye kadar taşınabilen, ağır metal döküntüleri ve toksik bileşenler salmaktadırlar. Madenlerin çevreye uzun vadede pek çok etkisi bulunmaktadır. Madencilik faaliyetleri sonucu açığa çıkan ağır metaller taşınabilir özellikleri ile etrafa yayılmakta ve uzun yıllar boyunca doğada kalabilmektedir. Böylece madenler, ağır metal kirliliğine sebep olmaktadır. Maden şirketleri cevherden hedef minerali ayırmak için siyanür ya da sülfürik asit gibi kimyasalların kullanılmaktadırlar, bu tip kimyasallar da doğa ve vahşi yaşam için oldukça toksiktir. Bir çay kaşığı kadar %2'lik bir siyanür çözeltisi insanı öldürmeye yeterlidir. Kuş ve memeliler litrede miligram (ppm) konsantrasyonlarında ölümle sonuçlanırken, balık ve diğer sucul organizmalar litrede mikrogram seviyesindeki konsantrasyonlarda ölebilmektedirler. Madencilik endüstrisi her yıl 180.000 ton gibi büyük miktarlarda siyanür

kullanmaktadır ve sorumsuzca kullanımın sonucu olarak pek çok doğa felaketi görülebilmektedir

Madencilik, Türkiye'nin gelişmiş sanayi kollarından birisidir. Aynı zamanda çevre için en önemli ağır metal kaynağıdır. Madencilik faaliyetleriyle, çok geniş toprak alanları kirlenebilmektedir. Topraklardaki kirleticiler, üzerinde yetişen bitkilerin bünyelerine, civardaki yüzey sularına dolayısıyla ortamda yaşayan hayvanlara ve oradan da bu bitki ve hayvanların besin olarak tüketilmesiyle insana geçmektedir. Türkiye kurşun rezervi 140 milyon ton civarındadır. Türkiye'de ise toplamda 3.250.000 ton kurşun rezervi bulunmaktadır. Türkiye'de çinko metali rezervi 5471338 ton olup araştırma alanımız olan Horzum Bölgesi'ndeki madenin çinko-kurşun rezervi görünür 50 bin ton, muhtemel 100 bin ton ve toplam 250 bin tondur. Ortalama metal içeriği ise %15-40 Pb, %30 Zn'dir [1]. Yaklaşık 240 tanesi aktif, çok büyük bir kısmı on yıllardır kapalı şekilde olan çinko-kurşun madenleri dünya genelinde yaygın madenler arasındadır [2].

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Önceki çalışmalar, doğadaki ağır metal kirliliğinin genellikle maden ve metalurjik faaliyetlerden kaynaklandığını göstermektedir [3-8]. Ağır metaller çoğunlukla çevreye rüzgar ya da su yoluyla dağılmışlardır. Son zamanlardaki su kıtlığı, nehirlerde meydana gelen kuraklık ve su kirliliği nedeniyle büyük bir sorun haline gelmiştir. Ağır metallere uzun süreli maruz kalma merkezi ve periferik sinir sistemi ve dolaşımı etkileyen kanserojen olabilir. Yüksek ağır metal konsantrasyonları insanda olumsuz sağlık etkilerine sebep olabilir [9].

Kum, çakıl gibi gevşek sedimentlerden çıkarılan kohezyon sularında yüksek miktarlarda As konsantrasyonuna rastlanmıştır, Widerlund ve Ingri (1995) Kuzey İsveç'de Kalix Nehri'nde 1,3-166 µg/l aralığında As oranı rapor etmişlerdir [10]. Yan ve arkadaşları (2000) Kanada'daki Saskatchewan'daki kil sedimentlerinin kohezyon suyunda 3,2-99 µg/l aralığında As konsantrasyonu bulmuşlardır [11].

Maden etrafındaki toprak ve bitkilerdeki arsenik kirliliği üzerine yapılan çalışmalar mevcuttur.

Bech ve arkadaşları, 1997'de Kuzey Peru'daki bakır madeni çevresindeki bitki örtüsü ve toprağı arsenik ve ağır metal kirliliği yönünden araştırmışlardır. Bitki analizleri sonucunda numune alınan pek çok alanda, yapraklarda alışılmışın dışında yüksek miktarlarda Fe ve Al elementleri saptanmıştır. Maden civarındaki farklı alanlardan toplanan toprak örneklerindeki As, Cd, Zn, Cu, Pb, Mn konsantrasyonları en fazla sırasıyla 7670, 499, 772, 5270, 285, 965 mg/kg olmakla birlikte Fe ve Al konsantrasyonları %5,95 ile 9,14 olarak bulunmuşlardır [12].

Jung ve arkadaşları, Kore'de Au-Ag-Pb-Zn madeni olan Daduk Madeni ve çevresinin ağır metal kirliliğini araştırmışlardır. Toprak örneklerinde de yapmış oldukları ağır metal tayinleri sonucu, Cd, Cu, Pb, Zn kirlenmesi bulunmuş ve bunların konsantrasyonlarının sırasıyla 8,57; 481; 4450 ve 753 mg/kg olduğu tespit edilmiştir [13].

Rotkittikhun ve arkadaşlarının 2005 yılında Tayland Bo Ngam Madeni'nde yapmış oldukları çalışmada, toprak numuneleri, bitki çevresinden; yüzeyden 0-10 cm ve yüzey altı 10-40 cm olmak üzere toplanmış ve kurşun konsantrasyonları tayin edilmiştir. En yüksek Pb, yüzey toprakta 142400 ve yüzey altı toprakta 120850 mg/kg olmak üzere cevher zenginleştirme tesis alanında tespit edilmiştir. Maden civarında en düşük Pb konsantrasyonu ise yüzey toprak numunesinde 325, yüzey altı numunede 86 mg/kg doğal gölet alanında bulunmuştur [14].

Madzin ve ark, Malezya Selangorda, Betari Jaya bölgesinde terkedilmiş maden alanları civarında ağır metal üzerine çalışma gerçekleştirmişlerdir. Araştırma sonucunda terkedilmiş maden bölgesindeki sulardan alınan örneklerdeki ağır metal miktarlarının, Sağlık Bakanlığı'nın hamsu için bildirmiş olduğu kalite standartlarının altında olduğunu tespit etmişlerdir. pH değişimi metal çözünürlüğünü etkilediğinden su ve sedimentlerdeki ağır metal miktarları arasında pH'a göre ters bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir [9].

Fas, Zaida'da 1972 ila 1985 yılları arasında işletilmiş kurşun madeninde bölgedeki toprakların ağır metal kirlilikleri araştırılmıştır. Çizelge 1'de toprak numunelerinin ortalama ve maksimum ağır metal konsantrasyonları verilmiştir [15].

Çizelge 1. Toprak numunelerinin ağır metal konsantrasyonları (mg/kg)

	Cd	Co	Cr	Cu
Ortalama	0,99	5,42	47,35	15,31
Maksimum	3,00	20,40	777,20	77,2
	Ni	Zn	Pb	
Ortalama	13,12	48,50	94,49	
Maksimum	48,90	206,0	830,95	

Gutierrez ve arkadaşlarının 2016 yılında terkedilmiş Pb-Zn madeninde yaptıkları araştırmada, toprak ve sedimentlerdeki ağır metal konsantrasyonlarının çoğunlukla 1000 mg/kg Zn, 100 mg/kg Pb ve 10 mg/kg Cd sıralamasıyla olduğu ve mobilitelevlerinin ise Cd>Zn>Pb şeklinde olduğu raporlanmıştır [2].

Monterroso ve ekibi, İspanya'da Pb-Zn maden topraklarında ağır metal yayılımını araştırmışlardır. Maden topraklarının yüksek heterojenlikte olduğu ve ana olarak Cd, Hg, Pb ve Zn metal içerdiklerini bulmuşlardır. Toplam ağır metal konsantrasyonları ise 2-95 mg/kg Cd, 0,2-24,8 mg/kg Hg, 46-6100 mg/kg Pb ve 340-52000 mg/kg Zn olarak raporlanmıştır [16].

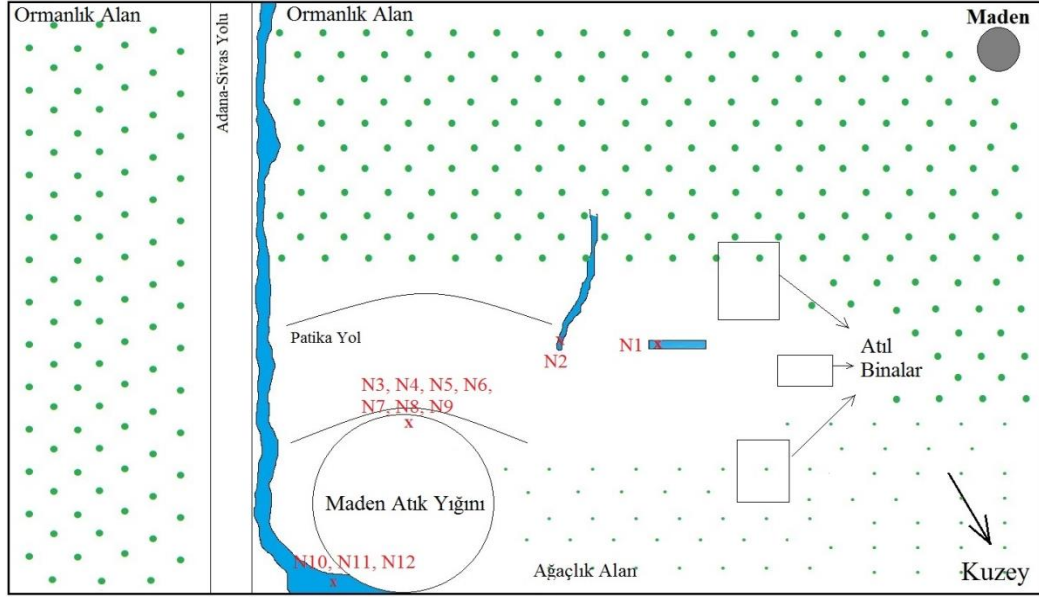
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Araştırma alanı olan işletimi durmuş çinko-kurşun madeni Horzum yaylasında yer alıp, Adana'nın Kozan ilçesine bağlıdır. 35°50'52.66" doğu boylamı ile 37°38'16.53" kuzey enlemi arasında yer almaktadır. Kozan, Adana şehir merkezine yaklaşık 70 km uzaklıkta bulunmaktadır. Maden atık kümeleri hem işletimde olduğu dönemde, hem

de her hangi bir zamanda ihtiyaç duyulduğunda kireç eklenerek nötralize edilmektedir. Bu uygulamayla ağır metallerin hidroksit formunda çöktürülmesi sağlanmakta ve böylece alıcı ortamlara ulaşması engellenmektedir.

Horzum Yaylası bölgesinde işletimi durmuş çinko-kurşun madeninden, Şekil 1’de gösterildiği gibi maden atık kümesinden ve drenaj suyundan seçilen noktalardan toprak, sediment ve su numuneleri toplanmıştır.



Şekil 1. Numune alım noktaları

Çizelge 2. Numune adlandırmaları

Kodu	Numune Uzun Tanımı
N1	Maden drenaj suyu
N2	Maden drenajı sediment numunesi/kohezyon suyu
N3	Maden drenaj atık kümesinden alınan Carex bitkisinin toprağı
N4	Maden drenaj atık kümesinin tepesinden alınan kırmızı toprak
N5	Toprak yığını
N6	Atık kümesinden alınan 1. bitki toprağı
N7	Maden drenaj atık kümesinden alınan ikinci bitki toprağı
N8	Kaya numunesi
N9	Atık kümesinin tepesindeki sert toprak
N10	Atık kümesinin drenaj kanalından alınan toprak
N11	Maden atık drenajının aktığı kanal sedimenti /kohezyon suyu
N12	Maden atık kümesi drenaj suyu

3.1. Metot

Tespit edilen noktalardan numuneler alınırken yüzeydeki taş, çakıl, bitki örtüsü v.s. temizlendikten sonra toprak numuneleri 0-15 cm derinlikten toplanmış [17] ve toprak numune kaplarına koyularak Çukurova Üniversitesi Çevre Mühendisliği Kimya Laboratuvarına getirilmişlerdir. Sediment ve toprak numuneleri oda sıcaklığında kurutulmaya bırakılmış ve 2 mm (10 mesh) boyutlu elekten geçirilerek ekstraksiyona hazır hale getirilmişlerdir. Laboratuvara getirilen sıvı örnekler, saklama koşulları için uygun pH seviyelerine düşürülerek, +4 C°’de muhafaza edilmişlerdir. Kohezyon suyu numuneleri, sediment numunelerinin 5000 rpm devirde 5 dakikalık santrifüj işlemi sonrası elde edilmişlerdir.

Toprak ve sediment numunelerinin ICP-OES’deki ağır metal tayini için yapılan ön hazırlık işlemidir.

Bunun için BERGHOF marka MWS-2 model mikrodalga fırın kullanılmış ve parçalama işlemi EPA 3051A'ya göre yapılmıştır [18].

Mikrodalga haznelerine alınan yaklaşık 0,45 g toprak ve sediment numunelerinin her birinin üzerine EPA 3051A'ya uygun olarak 3 ml %30 HCl ve 9 ml %70 HNO₃ eklenerek mikrodalgaya yerleştirilmiş ve mikrodalgaya önceden yüklenmiş EPA 3051A'ya göre uygun basınç, sıcaklık, güç ve diğer parametre ayarlarının kayıtlı olduğu program (P2), teknik föy yardımıyla seçilmiştir [19]. Parçalama işlemlerinden çıkan çözelti ise Whatman GF/C filtre kağıdı ile filtre edilerek 100 ml'ye saf su ile tamamlanmış ve ICP-OES'de ağır metal analiz tarihine kadar 4 °C'de HDPL-plastik şişelerde saklanmışlardır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

US EPA Sediment Kalite Kılavuzu sedimentlerde arsenik, krom, bakır, nikel, kurşun ve çinko konsantrasyonları sırasıyla 8, 75, 50, 50, 60 ve 200 mg/kg'in üzerinde olan sınıfı "çok kirli" olarak tanımlamıştır [19]. Araştırma alanındaki sediment ve toprak numuneleri arsenik konsantrasyonu 30-3320 mg/kg arasında değişmekte olup alınan numunelerin ortalama arsenik konsantrasyonu 630 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Fas, Zaida'da 1972 ila 1985 yılları arasında işletilmiş kurşun madeninde bölgedeki toprakların ağır metal kirlilikleri araştırılmıştır. Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn ve Pb konsantrasyonları belirlenen araştırmada sırasıyla 0,99; 5,42; 47,35; 15,31; 13,12; 48,50; 94,49 mg/kg ortalama değerler bulunmuştur (Çizelge 1) [15].

Çizelge 3. Topraktaki ağır metal sınır değerleri [20].

Metal	Birim	pH 5-6 fırın kuru toprak	pH>6 fırın kuru toprak
Kadmiyum	mg/kg	1	3
Krom	mg/kg	100	100
Bakır	mg/kg	50	140
Kurşun	mg/kg	50	300
Civa	mg/kg	1	1,5
Çinko	mg/kg	150	300
Nikel	mg/kg	30	75

Çizelge 4. U.S. EPA sediment kalite kılavuzu (mg/kg kuru ağırlık) [19]

U.S. EPA Toksikite Sınıflandırması	Kirli Olmayan	Kısmen Kirilenmiş	Çok Kirli
Pb	<40	40-60	>60
As	<3	3-8	>8
Cd	-	-	>6
Cr	<25	25-75	>75
Cu	<25	25-50	>50
Ni	<20	20-50	>50
Zn	<90	90-120	>200

Maden atık kümesi ve maden çevresinden toplanan toprak ve sediment örneklerinin içeriğinde yer alan ağır metal konsantrasyonları Çizelge 5'de; maden ve maden atık kümesi drenaj suları ile sediment numunelerinin santrifüjlenmesi sonucu elde edilen kohezyon suyu ağır metal konsantrasyonları Çizelge 6'da verilmektedir.

Çizelge 5. Toprak ve sediment numunelerinin ağır metal konsantrasyonları

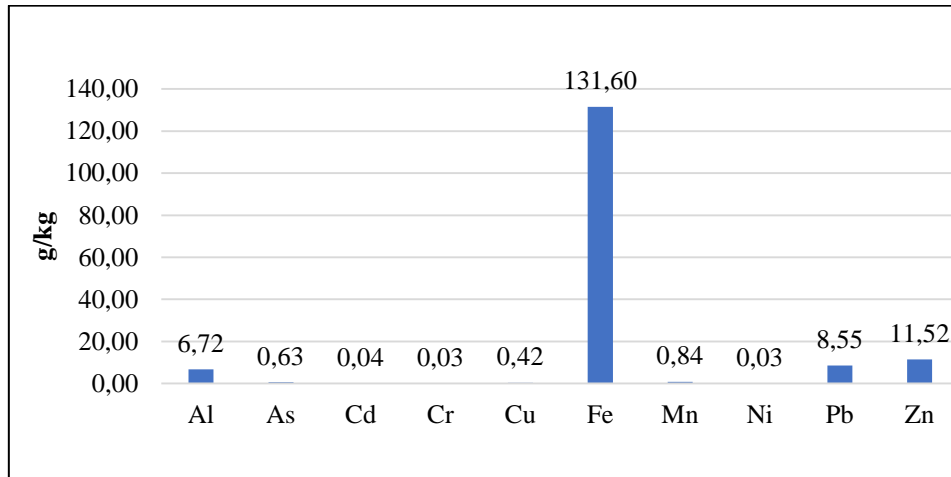
Numune (g/kg)	Al	As	Cd	Cr	Cu
N2	24,38	0,024	0,013	0,032	0,1
N3	18,5	0,03	0,008	0,024	0,095
N4	5,86	3,32	0,079	0,099	0,545
N5	0,1	0,17	0,005	0,007	0,108
N6	0,19	0,14	0,0014	0,021	0,09
N7	0,6	0,25	0,015	0,027	0,221
N8	3,233	1,524	0,193	0,042	2,6
N9	0,22	0,17	ND	0,027	0,091
N10	ND	0,24	ND	0,024	0,122
N11	7,39	0,45	0,01	0,034	0,205
Ortalama	6,72	0,63	0,04	0,03	0,42
Numune (g/kg)	Fe	Ni	Mn	Pb	Zn
N2	41,35	0,043	0,665	0,032	5,48
N3	31,15	0,03	0,641	0,34	3,73
N4	297,89	0,045	0,175	79,67	32,12
N5	52,43	ND*	1,97	0,36	2,91
N6	51,5	ND	1,443	1,15	2,18
N7	63,97	0,003	1,85	0,7	9,01
N8	309,33	ND*	0,8	0,313	45,04
N9	70,55	ND*	0,19	0,74	2,34
N10	277,02	ND	0,119	0,56	2,57
N11	120,76	0,01	0,562	1,63	9,84
Ortalama	131,60	0,03	0,84	8,55	11,52

*ND=Cihaz, ölçüm değerinin altında sonuçlar elde edilmiştir.

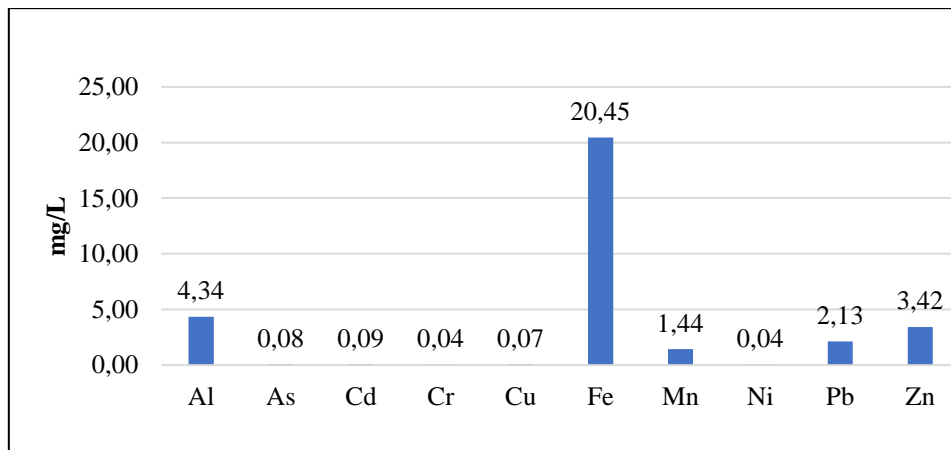
Çizelge 6. Su ve kohezyon suyu numuneleri ağır metal konsantrasyonları

Numune (mg/L)	Al	As	Cd	Cr	Cu
N1	ND	ND	0,006	0,009	ND
N2	7,05	ND	0,34	0,12	0,08
N11	1,62	0,075	0,011	0,019	0,061
N12	ND	ND	0,002	0,009	ND
Ortalama	4,34	0,08	0,09	0,04	0,07
Numune (mg/L)	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
N1	0,07	0,01	ND	ND	1,75
N2	2,73	1,01	0,08	3,43	7,2
N11	71,87	2,71	0,008	0,83	3,54
N12	7,12	2,023	ND	ND	1,18
Ortalama	20,45	1,44	0,04	2,13	3,42

*ND=Cihaz, ölçüm değerinin altında sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 2. Toprak ve sediment numunelerinin ortalama metal içerikleri



Şekil 3. Su ve kohezyon suyu numunelerinin ortalama metal içerikleri

Çizelge 7. 1993 WHO, 1998 AB, 2005 TSE 266 Standartları karşılaştırılması

Metal	Birim	WHO	AB	TSE
Antimon	µg/L	5	5	5
Arsenik	µg/L	10	10	10
Benzen	µg/L	-	1	1
Bor	µg/L	0,3	1	1
Bromat	µg/L	-	10	10
Kadmiyum	µg/L	3	5	5
Krom	µg/L	50	50	50
Bakır	µg/L	2000	2000	2000
Siyanür	µg/L	70	50	50
Florür	µg/L	1,5	1,5	1,5
Kurşun	µg/L	10	10	10
Civa	µg/L	1	1	1
Nikel	µg/L	20	20	20
Nitrat	µg/L	50	50	50

Maden civarından toplanan toprak ve sediment numuneleri incelendiği zaman bazı numunelerde US EPA sediment kirlilik sınıflandırmasında ve Toprak Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen topraktaki ağır metal sınır değerlerine göre yüksek konsantrasyonlarda), çinko (2.180- 45.040 mg/kg), bakır (90-2.600 mg/kg), kadmiyum (1,4-193 mg/kg), kurşun (32-79.670 mg/kg) mevcut olduğu belirlenmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde ortamdan alınan su numunelerinde Fe, Zn, Pb ve Al içerikleri göze çarparken; kohezyon su numunelerinde özellikle Mn içeriği dikkat çekmektedir.

Araştırma bölgesinden alınan toprak ve sediment numunelerinin Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Mn, Pb ve Zn içerikleri sırasıyla 6,72; 0,63; 0,04; 0,03; 0,42; 131,6; 0,03; 0,84; 8,55 ve 11,52 g/kg'dır. Su ve kohezyon suyu numuneleri ağır metal konsantrasyonları ise sırasıyla 4,34; 0,08; 0,09; 0,04; 0,07; 20,45; 0,04; 1,44; 2,13 ve 3,42 mg/lt'dir.

Söz konusu çalışma alanındaki maden drenaj atıkları yerleştirilirken ve yerleştirildikten sonra üzerlerine kireç eklenmesi ile ortam pHı nötral düzeylere yükseltilmekte dolayısıyla ağır metallerin ortamda çökelmiş veya adsorblanmış halde bulunması ve suya karışmaması sağlanmaktadır [21,22].

Alınan toprak ve sediment numunelerinde tespit edilen arsenik konsantrasyonları, maden atıklarında yüksek miktarda arsenik bulunduğunu zaten ortaya koymaktadır. Ancak atıklara kireç eklenmesi ile pH'ın nötral düzeyde tutulması ve dolayısıyla oluşan demir hidroksit ve mangan oksit (minerallerinin arseniği adsorplanmış halde bulunduracağı düşünüldüğünden, maden atık drenajı kohezyon suyunda ölçülen bu arsenik değeri ortamda farklı bir jeokimyasal aktivitenin gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Arseniğin suda çözünmesi ancak bu demir hidroksit ve/veya mangan oksitlerin çözünmesi ile gerçekleşebilir. Kohezyon suyu demir konsantrasyonlarına baktığımız zaman 71,87 mg/L görülmektedir. Bu değer yine maden atık kümesi drenaj suyundaki demir (7,12 mg/L) değerleri ile karşılaştırıldığında yaklaşık on katı bir değere sahiptir. Bu değerler, sediment kohezyon sularındaki demir (hidr)oksitlerin bir jeokimyasal değişiklik sonucu çözünüp suya karıştığını göstermektedir. Nitekim, maden atık kümesinde ölçülen demir konsantrasyonları da, bu elementlerin oksitlerinin çözünmekte olduğunu doğrulamaktadır. Maden atık kümesi drenaj kanalında yoğun miktarda yaprak ve bitki kalıntıları gözlemlenmiş ve bu kalıntıların çürümesi dolayısıyla sedimentlerdeki organik karbon miktarının yükseldiği ve bir indirgeyici ortam oluştuğu düşünülmektedir. Demir ve mangan oksitlerin bu koşullarda indirgenmesi ve çözünmesi dolayısıyla arseniğin de suya, kohezyon suyuna karışması muhtemeldir.

Adana'nın Horzum Yaylası civarında bulunan işletimi durmuş bir çinko-kurşun madeni, maden drenaj ve maden atık kümesi drenaj bölgesinden alınan toprak, su, sediment ve bitki toprağı numunelerinde yapılan ağır metal ve arsenik analizleri sonucuna göre gerek maden drenaj suyu ve gerekse maden atık kümesi drenaj suyunda alıcı ortamlara ulaşacak yükseklikte bir kirlilik yüküne

rastlanmamıştır. Maden atık kümesi üzerine eklenen kireç ilavesi ile pH yükseltilerek metallerin hidroksit formunda çöktürülmesi veya çöken metal hidroksitlerin üzerine adsorplanması sağlanmıştır.

4. KAYNAKLAR

1. MTA, Adana İli Maden ve Enerji Kaynakları, 2001.
2. Gutierrez M., Mickus K., 2016. Abandoned Pb- Zn Mine Mining Wastes and Their Mobility As Proxy to Toxicity : A Review, Science of the Total Environment 565, 392-400.
3. Kusin, F.M., Jarvis, A.P., Gandy, C.J., 2012. Hydraulic Performance Assessment of Passive Coal Mine Water Treatment Systems in the UK, Ecological Engineering; 49: 233-243.
4. Kusin, F.M., Jarvis, A.P., Gandy, C.J., 2014. Hydraulic Performance and Iron Removal in Wetlands and Lagoons Treating Ferruginous Coal Mine Waters, Wetlands; 34: 555-564.
5. Benvenuti, M., Mascaro, I., Lattanzi, P., Parrini P., Tanelli, G., 1997. Mine Waste Dumps and Heavy Metal Pollution in Abandoned Mining District of Boccheggiano Southern Tuscany, Italy, Environmental Geology, 30: 238-24.
6. Wang, S., Mulligan, C.N., 2005. Occurrence of Arsenic contamination in Canada: Sources Behavior and Distribution. Science of the total Environment, 366: 701-721.
7. Navarro, M.C., Perez-Sirvent, C., Martinez-Sainchez, M.J ., 2007. Abandoned Mine Sites as a Source of Contamination by Heavy Metals: A Casestudy in a Semi-Arid Zone. Journal of Geochemical Exploration, 96: 183-193.
8. Schwab, P., Zhu, D., 2007. Heavy Metal Leaching from Mine Tailings as Affected by Organic Amendments, 98: 2935-2941.
9. Madzin, Z., Shai-In M., Kusin, F., 2015. Comparing Heavy Metal Mobility in Active and Abandoned Mining Sites at Bestari Jaya, Selangor, Procedia Environmental Sciences, 30: 232-237.
10. Widerlung, A., Ingri, J., 1995. Early Diagnosis of Arsenic in Sediments of the Kalix River Estuary, Northern Sweden, Chemical Geology, Vol. 125, 3-4,185-196.
11. Yan, X.P., Kerrich, R., Hendry, M.J., 2000. Distribution of Arsenic (III), Arsenic (IV) and Total Inorganic Arsenic in Porewaters from a Thick Till and Clay-Rich Aquitard Sequence, Saskatchewan, Canada, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol 62, No 15, 2637-2648.
12. Bech, J., Poschenrieder, C., Llugany, M., Barcelo, J., Tuma, P., Tobias, F.J., Barranzuela, J.L., Vasquez, E.R., 1997. Arsenic and Heavy Metal Contamination of Soil and Vegetation Around a Copper Mine in Northern Peru, The Science of the Total Environment 203, 83-91.
13. Lee, C.G., Chon, H.T., Jung, M.J. 2001. Heavy Metal Contamination in the Vicinity of the Daduk Au-Ag-Pb-Zn Mine in Korea. Applied Geochemistry, 16;1377-1386.
14. Rotkittikhun, P., Kruatrachue, M., Chaiyarat, R., Ngernsarsaruay, C., Pokethitiyook, P., Pajitprapaporn, A., Baker, A.J.M., 2006. Uptake and Accumulation of Lead by Plants from the Bo Ngam Lead Mine Area in Thailand, Environmental Pollution, 144, 681-688.
15. Laghlimi, M., Baghdad, B., 2015. Characterization of Soil Heavy Metal Contamination in the Abandoned Mine of Zaida (High Moulouya, Morocco), International Research Journal of Earth Sciences, Vol 3(3), 1-3.
16. Monterroso, C., Rodriguez, F., 2014. Heavy Metal Distribution in Mine-Soils and Plants Growing in a Pb/Zn Mining Area in NW Spain, Applied Geochemistry , 44, 3-11.
17. Liu, Y.G., Zhang, H.Z., Zeng, G.M., Huang, B.R., Li, X., 2006. Heavy Metal Accumulation in Plants on Mn Mine Tailings, Soil Science Society of China, 16(1), 131-136.
18. Environmental Protection Agency (EPA), Method 3051A. 2007. Microwave Assisted Acid Digestion Of Sediments, Sludges, Soils and Oils.
19. Perin, G., Bonardi, M., Fabris, R., Simoncini, B., Manente, S., Tosi, L., Scotto, S., 1997. Heavy Metal Pollution in Central Venice Lagoon Bottom Sediments: Evaluation of

- Metal Bioavailability by Geochemical Speciation Procedure. *Environmental Technology* 18; 593-604.
20. Çevre ve Orman Bakanlığı. 2005. Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği, Resmi Gazete (25831).
21. De Andrade, R.P., Figueiredo, B.R., De Mello, J.W.V., Santos, J.C.Z., Zandonadi, L.U., 2008. Control of Geochemical Mobility of Arsenic by Liming in Materials Subjected to Acid Mine Drainage. *Journal of Soils and Sediments*. 8, 2; 123-129.
22. Perez-Lopez, R., Quispe, D., Castillo, J., Nieto, J.M., 2011. Acid Neutralization by Dissolution of Alkaline Paper Mill Wastes and Implications for Treatment of Sulfide-Mine Drainage. *American Mineralogist*. 96; 5-6, 781-791.

